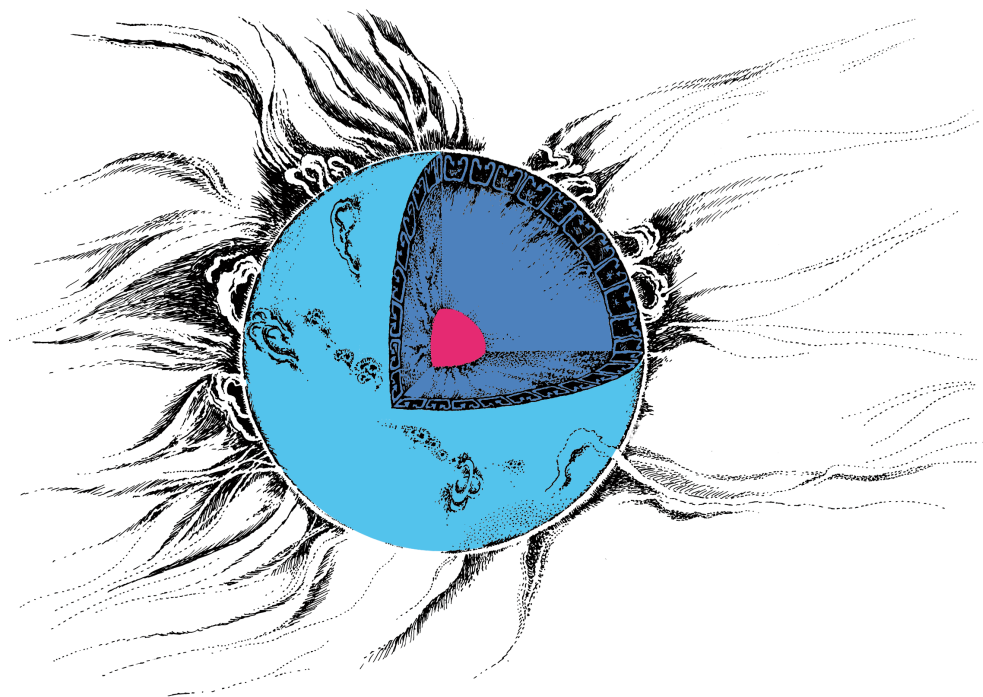


TOULKY VESMÍREM
Josip Kleczek
2013

TOULKY

VESMÍREM



Josip Kleczek
2013

Text © Josip Kleczek
Obálka a grafika: Ivan Havlíček
Sazba: Martin Batelka
ISBN: 978-80-904582-4-6

Obsah

Slovo úvodem..... 20

Předmluva 20

Má cesta k astronomii 22

Se Sluncem člověk nevystačí..... 23

Jak používat Toulky 24

1. Obloha..... 27

1.1 Úvod 28

1.2 Žijeme na planetě Zemi..... 28

1.3 Atmosféra Země z raketoplánu 28

1.4 Východ Slunce z Mezinárodní kosmické stanice 29

1.5 Atmosféra z Mezinárodní kosmické stanice 30

1.6 Rayleighův rozptyl 31

1.7 Denní obloha 32

1.8 Obloha a spektrum 33

1.9 Otáčení Země..... 33

1.10 Oblaka 34

1.11 Ozonová díra..... 35

1.12 Soumrak 36

1.13 Blízko i daleko..... 36

1.14 Sluneční soustava 37

1.15 Sluneční soustava „zvenku“ 38

1.16 Sluneční rodina 38

1.17 Bolid nad Šardicemi 40

1.18 Drakonidy 40

1.19 Polární záře..... 41

1.20 Polární záře z Mezinárodní kosmické stanice..... 43

1.21 Měsíc..... 43

1.22 Zimní souhvězdí Orion..... 44

1.23	Otáčení oblohy kolem Polárky	45
1.24	Pohledy do minulosti	46
1.25	Mléčná dráha	47
1.26	Mléčná dráha z Evropské jižní observatoře	48
1.27	Velká galaxie v Andromedě	49
1.28	Hubbleovo hluboké pole (HDF)	50
1.29	Hubbleovo velmi hluboké pole (HUDF)	51
1.30	Hubbleovo velmi hluboké pole	52
1.31	První hvězdy zobrazené gravitační čočkou	52
1.32	Reliktní záření	53
1.33	Průhlednost atmosféry	54
1.34	Různé pohledy na oblohu	54
	Zdroje k první prezentaci	55

2. Země59

2.1	Úvod	60
2.2	Země z Vesmíru	60
2.3	Země – náš kosmický domov	61
2.4	Země – naše kosmická loď'	62
2.5	Země – kde se nacházíme ve Vesmíru?	63
2.6	Země v dějinách Vesmíru	64
2.7	Zrození sluneční rodiny	65
2.8	Vznik planet z protoplanetárního disku	65
2.9	Vývoj Země	66
2.10	Otáčení Země I	66
2.11	Otáčení oblohy	67
2.12	Otáčení Země II	67
2.13	Země nad měsíční krajinou (Apollo 8)	68
2.14	Nitro Země	69
2.15	Pohyby tektonických desek	69
2.16	Pohledy na naši planetu	70

2.17	Voda – obdivuhodná látka, bez níž by život nebyl možný	70
2.18	Energie Země	71
2.19	Energie budoucnosti	73
2.20	Slunce a Země	73
2.21	Obloha a spektrum	74
2.22	Roční období	74
2.23	Země od Saturnu	75
2.24	Mléčná dráha pozorovaná z Galaxie v Andromedě	75
2.25	Země – kosmický domov našich předků	76
2.26	Tvar země – geoid	78
2.27	Družice ERS	78
	Zdroje ke druhé prezentaci	79

3. Náš Měsíc 83

3.1	Úvod	85
3.2	Měsíc – syn a průvodce Země	85
3.3	Měsíc na eliptické dráze	86
3.4	Země a Měsíc ze sondy Galileo	86
3.5	Sonda LRO	87
3.6	Odvrácená strana Měsíce I	88
3.7	Odvrácená strana Měsíce II	88
3.8	Výšková mapa Měsíce	88
3.9	Nitro Měsíce	89
3.10	GRAIL	90
3.11	Měsíční moře I	90
3.12	Měsíční moře II	91
3.13	Rücklova mapa Měsíce	91
3.14	Krátery	92
3.15	Mladé krátery I	93
3.16	Mladé krátery II	93
3.17	Voda v polárních kráterech I	94

3.18	Voda v polárních kráterech II.....	94
3.19	Měsíční jámy.....	94
3.20	Fáze Měsíce I	95
3.21	Fáze Měsíce II.....	95
3.22	Popelavý svit Měsíce	96
3.23	Srpek Měsíce z Mezinárodní kosmické stanice	96
3.24	Zatmění Měsíce	97
3.25	Zatmění Slunce I	97
3.26	Zatmění Slunce II	98
3.27	Úplné zatmění Slunce	99
3.28	Měsíc a slapy.....	99
3.29	Měsíc a precesní pohyb zemské osy	100
3.30	Vznik Měsíce.....	100
3.31	Vývoj Měsíce	101
3.32	Apollo 17 – měsíční krajina I.....	101
3.33	Apollo 17 – měsíční krajina II	101
3.34	Posádka Apolla 17.....	102
3.35	Měsíc v dějinách I	102
3.36	Měsíc v dějinách II	103
	Zdroje ke třetí prezentaci.....	103

4. Naše hvězda Slunce 107

4.1	Úvod	108
4.2	Srovnání velikosti Slunce a nejbližších tří hvězd.....	108
4.3	Uctívání Slunce	109
4.4	Slunce v umění	109
4.5	Mnoho otázek.....	110
4.6	Poloha Slunce v Mléčné dráze.....	110
4.7	Vznik Slunce.....	111
4.8	Sluneční observatoře	113
4.9	Sluneční observatoř SOHO	114

4.10	Různé pohledy	115
4.11	Anatomie Boha Slunce	116
4.12	Fúze vodíku v jádře.....	117
4.13	Pohled do středu Slunce.....	119
4.14	Cesta světla	121
4.15	Jak opouští energie sluneční povrch?.....	122
4.16	Fotosféra.....	123
4.17	Granulace fotosféry	124
4.18	Sluneční skvrny	124
4.19	Chromosféra	125
4.20	Chromosféra – spikule	126
4.21	Spektrální čáry v chromosféře a koróně	126
4.22	Koróna z HAO a SOHO	127
4.23	Stavba koróny	128
4.24	Smyčkové protuberance	129
4.25	Vztah Slunce a Země.....	130
4.26	Polární záře.....	131
4.27	Země a sluneční energie.....	131
4.28	Země jako transformátor slunečního záření	132
4.29	Osudy slunečního záření na Zemi	132
4.30	Využití sluneční energie	133
4.31	Sluneční energie v biosféře	133
4.32	Fotosyntéza.....	134
4.33	Koloběh vody.....	135
4.34	To nejlepší z SDO	136
	Zdroje ke čtvrté prezentaci.....	137

5. Naše planety..... 141

5.1	Úvod	143
5.2	Sluneční soustava dnes	144
5.3	Vnitřní část Sluneční soustavy.....	145

5.4	Planety zdálky.....	146
5.5	Planety zblízka	146
5.6	Pohyb ve Sluneční soustavě	147
5.7	Slovníček pojmů.....	148
5.8	Kamenné (terestrické planety)	148
5.9	Merkur – Hermes.....	149
5.10	Merkur ze sondy Messenger.....	149
5.11	Venuše – Afrodita	150
5.12	Boticelli – Zrození Venuše	151
5.13	Venuše	151
5.14	Venušin povrch.....	152
5.15	Země – Gaia.....	152
5.16	Země	152
5.17	Mars – Ares	153
5.18	Mars	153
5.19	Mars – výzkum vozítka	153
5.20	Mars – zajímavosti	154
5.21	Obří plynné planety.....	155
5.22	Jupiter – Zeus	156
5.23	Jupiter.....	157
5.24	Saturn – Chronos	159
5.25	Saturn	159
5.26	Ve stínu Saturnu.....	161
5.27	Uranus.....	161
5.28	Uran.....	162
5.29	Neptun – Poseidon.....	163
5.30	Neptun	163
5.31	Měsíce a prstence ve Sluneční soustavě	165
5.32	Největší měsíce v porovnání s jinými objekty.....	166
5.33	Měsíce Země	166
5.34	Měsíce Marsu	168
5.35	Galileovské Měsíce Jupiteru.....	168

5.36	Titan – největší Saturnův Měsíc	171
5.37	Prstence.....	171
5.38	Prstence – ostatní obří planety	172
	Zdroje k páté prezentaci	172

6. Sluneční soustava..... 177

6.1	Úvod	178
6.2	Stavba Sluneční soustavy.....	178
6.3	Poloha Sluneční soustavy v Mléčné dráze	179
6.4	Kam se pohybuje Slunce vzhledem k okolním hvězdám?	179
6.5	Kam se pohybuje Slunce v rámci Galaxie?	180
6.6	Kam se pohybuje Slunce s Galaxií?	181
6.7	Přímé poznávání Sluneční soustavy.....	182
6.8	Pás planetek.....	183
6.9	Planetky.....	183
6.10	Planetky – Vesta	184
6.11	Srážky planetek.....	184
6.12	Meteority.....	185
6.13	Meteority na Zemi.....	186
6.14	Zodiakální světlo.....	186
6.15	Trpasličí planety	187
6.16	Pluto	187
6.17	Komety.....	188
6.18	Halleyova kometa	189
6.19	Jádro Halleyovy komety.....	190
6.20	Jádra komet – různé tvary	190
6.21	Model jádra komety Hale-Bopp	191
6.22	Udělejte si svou kometu	191
6.23	Vznik Slunce.....	192
6.24	Gravitační diferenciace	194
6.25	Meteority a prach – svědkové dávných časů.....	195

6.26	Voda u rodícího se Slunce	196
6.27	Zánik Slunce.....	197
6.28	Zánik Slunce a Země.....	198
6.29	Věnce slunečních soustav	198
6.30	M 4 – hřbitov 40 000 hvězd a jejich planet	199
6.31	Exoplanety u cizích sluncí	200
	Zdroje k šesté prezentaci.....	202

7. Hvězdy 207

7.1	Úvod	209
7.2	Orion.....	210
7.3	Představa Orionu dříve a nyní	211
7.4	Veleobr Betelgeuze	212
7.5	Rozměry a hmotnosti hvězd.....	212
7.6	Porovnání velikosti hvězd.....	213
7.7	Hnědí trpaslíci	213
7.8	Hnědý trpaslík Gliese 229 B	214
7.9	Nejchladnější hnědý trpaslík – trpaslík Y	214
7.10	Gravitační mikročochy	215
7.11	Jasnost zdroje.....	215
7.12	Fotony a spektrum	216
7.13	Záření hvězd	217
7.14	Spektrální třída I.....	217
7.15	Spektrální třída II	218
7.16	Hertzsprungův–Russelův diagram	218
7.17	Cefeidy.....	220
7.18	Cefeidy, hvězda V1.....	220
7.19	Superoko GAIA	221
7.20	Vznik hvězdy.....	222
7.21	Hvězdná porodnice 30 Doradus	222
7.22	Hvězdná porodnice NGC 604 v galaxii M 33.....	223

7.23	Zobrazení vzdálených hvězd a galaxií gravitační čočkou.....	223
7.24	Údolí stability.....	224
7.25	Mapa lehkých atomových jader.....	224
7.26	Fúze a štěpení	225
7.27	Fúze ve hvězdách.....	225
7.28	Vlastní pohyb hvězd	226
7.29	Hvězdný vývoj.....	226
7.30	Vnitřní stavba veleobra před explozí.....	227
7.31	Planetární mlhoviny.....	229
7.32	Supernovy.....	230
7.33	Rovnováha hvězdných zbytků	231
7.34	Černé díry	231
7.35	Výtrysk z černé díry	233
7.36	Cyg X1 – první černá díra.....	234
7.37	Vznik černé díry	235
	Zdroje k sedmé prezentaci.....	235

8. Hvězdná společenství..... 239

8.1	Úvod	240
8.2	Gravitace – Newtonovo pojetí.....	240
8.3	Gravitace – obecná relativita.....	241
8.4	Ohyb světla gravitací.....	242
8.5	Gravitace – zobrazení gravitační čočkou.....	243
8.6	Sírius B.....	243
8.7	Otevřené hvězdokupy a asociace.....	244
8.8	Kulové hvězdokupy.....	246
8.9	Mléčná dráha.....	247
8.10	Mléčná dráha – naše Galaxie	247
8.11	Oblaka kolem Mléčné dráhy	248
8.12	Gama bubliny kolem Mléčné dráhy	249
8.13	Střed Mléčné dráhy.....	249

8.14	Hubbleova klasifikace galaxií	250
8.15	Nepravidelné galaxie	250
8.16	Spirální galaxie	251
8.17	Doutníková galaxie M 82	252
8.18	Obří eliptické galaxie	252
8.19	Interakce galaxií – Vírová galaxie M 51	253
8.20	Stephanův kvintet	254
8.21	Tykadla	254
8.22	Rádiová galaxie Centaurus A	255
8.23	Místní skupina galaxií	256
8.24	Kupa galaxií v Panně	257
8.25	Kupa galaxií Cl 0024+17	258
8.26	Kupa galaxií MACS 1206	259
8.27	Srážka galaktických kup Abell 2744	259
8.28	Místní nadkupa galaxií (Supergalaxie)	260
8.29	Hubbleovo velmi hluboké pole	260
8.30	Obří černá díra v eliptické galaxii NGC 4261	260
8.31	Výtrysk z M 87	262
8.32	Černá díra v centru galaxie	262
8.33	Aktivní galaktická jádra	263
8.34	Černá díra v centru Mléčné dráhy I	263
8.35	Černá díra v centru Mléčné dráhy II	264
	Zdroje k osmé prezentaci	265

9. Kosmický prostor 269

9.1	Úvod	270
9.2	① Měření	270
9.3	Měříme polohu na Zemi	270
9.4	Měříme na obloze – souřadnice	271
9.5	Měření vzdálenosti – triangulace	272
9.6	Měření vzdálenosti – paralaxa	273

9.7	Měření vzdálenosti – cefeidy	273
9.8	Měření vzdálenosti – supernovy typu Ia	274
9.9	② Meziplanetární prostor	274
9.10	Meteoroidy	275
9.11	Subkosmické a kosmické záření	275
9.12	Kosmické počasí a podnebí	276
9.13	Sluneční aktivita	277
9.14	Sluneční vítr	278
9.15	Heliosféra	278
9.16	Parkerova plocha	279
9.17	③ Mezihvězdný prostor	279
9.18	Herbigovy-Harovy objekty	280
9.19	Hvězdné vichřice	281
9.20	Řasová mlhovina v Labuti	282
9.21	Mlhoviny – zdroje prachu	283
9.22	Mlhoviny – zdroje obřích molekul	284
9.23	Koňská hlava	285
9.24	Globule B 68	285
9.25	ESO 510 – 13: zkroucená galaxie s prachem	286
9.26	Mezihvězdná magnetická pole	286
9.27	M 101: Mezihvězdný prach a zrod hvězd	287
9.28	④ Mezigalaktický prostor	287
9.29	Reliktní záření	287
9.30	Kosmické záření	288
9.31	Oblaka vodíku kolem Mléčné dráhy	289
9.32	Oblaka ve světle kvazarů	289
9.33	Obří dutina v Eridanu	290
9.34	Temná hmota	290
9.35	Rozpínání Vesmíru	291
9.36	Temná energie	292
9.37	Budoucnost Vesmíru	293
	Zdroje k deváté prezentaci	293

10. Pohledy na Vesmír.....297

10.1	Úvod	300
10.2	① Materiál.....	301
10.3	Materiál a pojivo	301
10.4	Antihmota.....	301
10.5	Změny energie a hmoty	302
10.6	Údolí stabilních jader	303
10.7	Předávání energie mezi hmotou a zářením	303
10.8	Elektromagnetické spektrum	304
10.9	Záření ve Vesmíru	305
10.10	Základní složky Vesmíru	305
10.11	Temná hmota	306
10.12	Temná hmota v kupě galaxií.....	306
10.13	Temná energie a expanze Vesmíru	306
10.14	② Pojivo	307
10.15	Interakce	307
10.16	Nosiče sil	308
10.17	Oddělování interakcí.....	308
10.18	③ Systémy.....	309
10.19	Materiál a pojiva	309
10.20	Jak vznikal Vesmír.....	310
10.21	Stavy látky	310
10.22	Plazma.....	311
10.23	Vodík.....	311
10.24	Atom.....	313
10.25	Molekula vody.....	313
10.26	Planety, hvězdy, hvězdokupy, galaxie.....	314
10.27	Složité systémy.....	314
10.28	Člověk a Vesmír	315
10.29	Osud Vesmíru.....	315
10.30	④ Účel a smysl světa.....	316

10.31	Antropický princip.....	316
10.32	Vývoj Vesmíru k životu.....	316
10.33	Proč jsme?.....	317
	Zdroje k desáté prezentaci.....	318

11. Vesmír a člověk..... 323

11.1	Úvod	325
11.2	① Jak poznáváme Vesmír?	326
11.3	Elektromagnetické vlny – zdroj informací	327
11.4	Ze Země – dalekohledy.....	328
11.5	Ze Země – dalšími přístroji	329
11.6	Z oběžné dráhy – Hubbleův dalekohled	331
11.7	Voyager	332
11.8	Současné sondy – Sluneční soustava	332
11.9	Současné sondy – vzdálený Vesmír	333
11.10	② Co jsme?.....	334
11.11	Ve stavebninách Vesmíru	335
11.12	Člověk je složitý systém.....	336
11.13	Antropický princip.....	336
11.14	③ Kdo jsme?.....	337
11.15	Místo spojení těla a ducha v mozku.....	337
11.16	④ Kde jsme ve Vesmíru?	338
11.17	Země	338
11.18	Kosmická měřítka	339
11.19	Naše Supergalaxie.....	339
11.20	Temná hmota	340
11.21	⑤ Kdy jsme v dějinách Vesmíru?	341
11.22	Jak vznikl Vesmír.....	341
11.23	Protoplanetární disk Slunce	342
11.24	Organizmy	342
11.25	Zánik Slunce.....	343

11.26	⑥ Jak jsme?.....	343
11.27	Člověk a Vesmír	344
11.28	Sluneční energie	344
11.29	⑦ Proč jsme?.....	345
11.30	Proč jsme?.....	345
11.31	⑧ Hmotná malost a duchovní velikost člověka	345
11.32	Hmotná malost a duchovní velikost člověka	346
11.33	⑨ Kosmopolité – obyvatelé vesmíru	346
11.34	Discovery	346
11.35	Jak (asi) bude vypadat trvalé sídliště na Měsíci.....	347
11.36	Vesmírná základna na Marsu	347
	Zdroje k jedenácté prezentaci	348

12. Život ve Vesmíru 353

12.1	Úvod	357
12.2	① Příprava vesmíru pro život.....	358
12.3	Vývoj Vesmíru k životu.....	358
12.4	Mezihvězdná látka	359
12.5	Organické látky v meteoritech.....	359
12.6	② Život se Sluncem	360
12.7	Vývoj života na planetě Zemi.....	360
12.8	Příznaky života.....	361
12.9	③ Extremofilní organizmy	361
12.10	Kde je najdeme?	361
12.11	Ukázky extremofilních organizmů.....	362
12.12	Želvuška – vodní medvěd (Tardigrada)	362
12.13	④ Život beze Slunce	363
12.14	Díry v Marsu	363
12.15	Svět kolem Jupiteru	364
12.16	⑤ Životodárné hvězdy a vhodné planety	364
12.17	Hledání života na Marsu.....	365
12.18	Curiosity	365

12.19 Mars – může zde být život?	366
12.20 Extrasolární planety.....	366
12.21 Kepler a Corot.....	367
12.22 ⑥ Voda ve Vesmíru.....	368
12.23 Voda u rodícího se Slunce	368
12.24 Velká mlhovina v Orionu	369
12.25 Složení kometárního jádra	369
12.26 Vodní planeta – rozdělení zásob vody na Zemi	370
12.27 ⑦ Přenos života ve Vesmíru.....	370
12.28 Aminokyseliny v meteoritu.....	371
12.29 ⑧ Styk s jinými galaktickými společenstvími.....	371
12.30 Poselství mimozemšťanům na sondách Pioneer	371
12.31 Poselství na Voyagerech	372
12.32 Rádiový teleskop v Arecibo, projekt SETI.....	372
12.33 Hvězdokupa M 13 – první adresát.....	373
12.34 Drakeova rovnice.....	374
Zdroje k dvanácté prezentaci.....	374

Tabulky 377

Základní třídy Harvardské klasifikace	377
Vlastnosti terestrických planet	377
Vlastnosti Země	378
Významnější noční meteoritické roje	379
Seznam souhvězdí	380
Vlastnosti Měsíce	383
Názvy měsíčních moří.....	384
Vlastnosti naší Galaxie.....	385
Mise Apollo s lidskou posádkou	385
Jednotky vzdálenosti v astronomii.....	386

Rejstřík 387

Slovo úvodem

Předmluva

Už dlouhá léta sleduji s potěšením i nelíčeným zájmem, jak autor Toulek umí popularizovat vědu, a to nejenom astronomii, ale prostě Vědu s velkým V. Zvláště mi utkvěla v paměti přednáška, kterou měl doc. Josip Kleczek na hvězdárně v Ondřejově pro účastníky spanilé jízdy Ebicykl v červenci 2010. Měli jsme za sebou docela chladnou a dlouhou úvodní etapu, takže jsem se trochu obával, zda těch padesát účastníků nejrůznějšího věku a povolání bude ještě schopno vnímat jeho přednášku, kterou jsem uváděl. Protože jsem na ebicyklisty ze svého místa dobře viděl, tak jsem nestačil žasnout. Všichni viseli doc. Kleczkovi na rtech; jeho výklad byl strhující a přitom plný moudrého humoru. Dotazy po dlouhé bravurní přednášce nebraly konce.

Právě tehdy mne Jožka Kleczek oslovil, zda bych byl ochoten zrecenzovat jeho nejnovější rukopis *Život se Sluncem a ve vesmíru*. Taková nabídka se těžko odmítá, protože autor patří k nestorům české astronomie, když na začátku letošního roku oslavil devadesátku. Sám už více než půlstoletí mám to potěšení žasnout nad šíří jeho záběru, který sahá od jeho celoživotní lásky Slunce až po hluboké filosofické problémy vyplývající z nových přírodovědeckých poznatků.

Vzápětí jsem tedy dostal rukopis a k tomu náhledy tisícovky obrázků, grafů a fotografií, takže jsem nechtěl věřit, že to vše je dílo jediného člověka. Prokousával jsem se tím rukopisem dlouho, až na mne hartusili z nakladatelství, proč se tak loudám, ale ono to jinak nešlo. Brzy jsem si uvědomil, že mám před sebou mistrovské dílo autora, který už čtenými předešlými spisy nastavil laťku úrovně české popularizace vědy hodně vysoko – a teď tu laťku ještě přeskočil.

Když pak tato kniha vyšla, měla velký úspěch jak u čtenářů, tak i mezi odborníky. Doc. Kleczek za ni obdržel cenu *Littera astronomica*, což je o to víc výmluvným oceněním kvality jeho nového spisu, protože stejnou cenu dostal už za své celoživotní dílo v roce 2002, kdy byla tato cena udělena vůbec poprvé.

Přesto jsem znovu nechtěl věřit svým očím, když jsem počátkem letošního roku dostal elektronickou poštou dotaz prof. Petra Kulhánka, zda bych byl ochoten přečíst a napsat komentář k dalšímu dílu Josipa Kleczka Toulky. Myslel jsem, že snad půjde o nějaké autobiografické vyprávění, v němž autor popíše, jak se toulal světem během

těch 90 let, které letos uplynuly od jeho narození, a které by jistě stálo za to. Jenže chyba lávky; postupně mi Jožka i prof. Kulhánek posílali první verze obsáhlých dvánácti kapitol, představující toulky nejenom po astronomii, ale také po astrofyzice, kosmologii, částicové fyzice, chemii, biologii, geologii, filosofii a etice.

Přímo před očima jsem pak viděl, jak autor v průběhu vytváření tohoto pozoruhodného díla, které vyjde na elektronickém mediu DVD, stále stíhá sledovat vývoj poznatků ve všech těchto oborech přírodních věd a svůj rukopis podle toho příslušně upravuje a aktualizuje. Měl přitom přirozeně velmi cennou podporu v editorovi díla prof. Kulhánkovi, který je rovněž nositelem ceny Littera astronomica (2010), čímž názorně dokládá, jak se dají popularizační geny přenášet mezi generacemi.

Toulky tak plně využívají možnosti nového typu publikace, v níž se text snoubí s nádhernými snímky a mluveným slovem. Proto si myslím, že může zaujmout především mladou generaci žáků a studentů středních škol, ale i všechny vážné zájemce o solidní vědecké poznatky, předkládané v širších společenských souvislostech, které si často ani sám specialista pracující ve svém oboru jen tak neuvědomí.

Kromě toho je toto výjimečné dílo dalším důkazem pro tvrzení, které jsem vyslovil už před několika lety, totiž že doc. RNDr. Josip Klezcek, DrSc. je vzácný přírodní úkaz. Ostatně, přesvědčte se sami.

Jiří Grygar,
Praha, duben 2013

Má cesta k astronomii

Můj zájem o astronomii vzbudila voda. Malá vesnice v hlubokém údolí pod zříceninou hradu Zubrštejna neměla v mém dětství elektrické osvětlení (učil jsem se při petrolejce v kozím chlívku – tam bylo navíc teplo). Obloha v naší dědině tehdy byla tmavá – sametové černá. Hvězdy se odrážely na hladině řeky Svratky a utvzovaly mne v přesvědčení, že mají blízký příbuzenský vztah s vodou. Asi si řeknete pošetilá myšlenka.

O vodě jsem toho věděl dost od profesora chemie. Ale o jejím stáří a zrodu nevěděl tehdy nic ani pan profesor. A o životě hvězd a jejich vztahu k vodě nebylo známo takměř nic. Bydlil jsem pár metrů od Svratky a denně po jejím břehu chodil do školy. Původ a stáří její vody pro mne proto zůstávaly palčivými otázkami.

Odpovědi dává astronomie. Přesněji řečeno poznání, že zrod hvězd je provázen spojením vodíku s kyslíkem v jejich mezihvězdném okolí. Hvězda k tomu spojení dodává potřebnou energii. A tak voda, kterou máme na Zemi, pochází z doby tvoření planetární soustavy kolem Slunce. To je přibližně před pěti miliardami roků. Na Zem ji přinesly komety po vzniku naší planety – to je před čtyřmi a půl miliardami roků. Dnes můžeme například pozorovat vznik vody současně kolem 153 rodících se hvězd ve Velké mlhovině v Orionu.

Já jsem zůstal u Sluníčka – naší nejbližší, ale zcela obyčejné hvězdy. Na hvězdárně v Ondřejově jsem mu zůstal věrný po celý dlouhý život.

Josip Kleczek,
Ondřejov, květen 2013

Se Sluncem člověk nevystačí

První noc mimo domov jsem strávil v šesté třídě.

Rodiče museli pochopit, že se Sluncem si člověk nevystačí a že hvězdy se dají vážně pozorovat jen přes noc. To se prostě nedá nic dělat. Objasněním rozdílu mezi občanským a astronomickým soumrakem jsem získal dalších pár hodin navíc, vlastně až do rána. Srovnávací pozorování proměnných hvězd také trvá, a že je na pozorovatelně zima, zjistili rodiče naštěstí až v mé dospělosti. Zima se totiž nejlépe zažene panákem slivovice. Jako ostatně na Moravě cokoliv.

Díky nocím na zlínské hvězdárně jsem byl do reálného života připraven dřív a lépe než mí vrstevníci. Astronomie přitahuje chytré lidi, takže z mých spolupozorovatelů jsou dnes uznávaní odborníci v mnoha oborech, lékaři, soudci, vědci, právníci, programátoři či úspěšní manažeři.

To nejcennější jsem totiž tehdy netušil: v době, kdy jsem si utvářel názor na svět, jsem byl obklopen mimořádně kvalitními lidmi. A byla to navíc vždy úžasná zábava.

Řečeno finanční terminologií: časová investice do astronomie má vysoce nadprůměrný výnos při malém riziku. Nejen v její kráse a tajuplnosti, ale i v širším kontextu, který ji nerozlučně doprovází.

Je mi ctí, že můžeme podporovat dílo Josipa Kleczka.

Vítejte ve světě vyvolených;

Vítejte ve světě astronomie.

Petr Stuchlík,
malý astronom,
zakladatel a generální ředitel
skupiny společností Fincentrum

Jak používat Toulky

Milí čtenáři,

dostáváte do rukou publikaci, která se skládá z DVD s dvanácti prezentacemi a doprovodné knížky. Toulky jsou určeny především středoškolským studentům a všem zájemcům o astronomii. Mnoho užitečných informací v nich nalezne každý, koho zajímá Vesmír, jehož jsme nedílnou součástí. V Toulkách se budete obdivovat blízce i vzdálenému Vesmíru – prohlédnete si nejbližší vesmírné sousedy v naší Sluneční soustavě i nejvzdálenější objekty, z nichž k nám světlo letělo přes deset miliard roků. To vše z pera doc. RNDr. Josipa Kleczka, DrSc., nestora české astronomie.

Tato knížka je jen doprovodnou publikací k prezentacím na DVD, přesto má leckdy charakter samostatné publikace. Pro snadnou orientaci čtenáře je modrou barvou vtištěn text čtený v prezentacích vypravěči – Lenkou Soumarovou a Petrem Kulhánkem. Černou barvou je tištěn rozšiřující text. Obsahuje mnoho zajímavostí a dalších informací a většinou ho lze číst samostatně. Každá prezentace je uzavřeným celkem a na ostatní prezentace navazuje jen velmi volně. Tím je dáno, že některé snímky se opakují ve více prezentacích. Příkladem může být snímek věnovaný vzniku Sluneční soustavy, který samozřejmě patří jak do prezentace o Slunci, tak do prezentace o Sluneční soustavě. Pro posluchače a čtenáře to může být i výhodou. Opakování je matkou moudrosti a v každé prezentaci tak lze nalézt vedle zcela nových informací i něco málo opakování důležitých pojmů z předchozích prezentací. Rozšiřující texty se ale v doprovodné knížce neopakují, jsou uvedeny jen jednou a v dalších místech jsou na ně již jen odkazy.

V českém jazyce bývá zvykem označovat jména těles a útvarů ve Vesmíru velkými písmeny. Nikdo se nepozastaví nad Sluncem, Měsícem, Sírím atd. Mezi všemi galaxiemi je jen ta naše psána s velkým písmenem G na počátku, tedy Galaxie. Nakladatelství se rozhodlo souhlasit s názorem autora a psát ve stejném duchu i Sluneční soustava (přestože by podle pravidel českého pravopisu měla být poněkud nelogicky s malým „s“). Stejně tak je v knížce psán Vesmír s velkým písmenem na počátku. Svým způsobem jde i o vyjádření úcty k místu, ve kterém žijeme. Tam, kde se diskutuje o možnosti existence různých vesmírů (například v pasážích k antropickému principu), je použito písmeno malé.

V Toulkách Vesmírem naleznete většinu údajů aktualizovaných k březnu 2013. Dne 22. března byly zveřejněny výsledky analýzy fluktuací reliktního záření evropskou sondou Planck, které zpřesnily údaje o Hubbleově konstantě, o stáří Vesmíru a o procentuálním zastoupení atomární látky, temné hmoty a temné energie ve

Vesmíru. Veškeré údaje v knížce i mluvených textech byly proto na poslední chvíli aktualizovány dle dostupných dat. Týká se to také počtu extrasolárních planet, počtu měsíců u obřích planet a dalších údajů. K březnu 2013 také platí údaje o družicích a sondách, u kterých se hranice mezi těmi minulými a budoucími dynamicky posouvá. Astronomie je bouřlivě se rozvíjející obor a je vždy třeba mít na paměti, ke kterému okamžiku byly údaje aktuální.

V Toulkách se nejprve zadíváte na hvězdnou oblohu a poté se vydáte do našeho nejbližšího okolí – Sluneční soustavy. V úvodních prezentacích se seznámíte se Zemí, Měsícem, Sluncem, terestrickými i obřimi planetami. Poté navštívíte hvězdná společenství a vydáte se do nejvzdálenějších hlubin Vesmíru. Jenže Toulky nejsou jen pouhou přehlídkou astronomických objektů. Pozorný posluchač a čtenář se dozví mnohé o stavebních kamenech látky, interakcích, které je pojí dohromady, o eleganci a řádu panujícím ve Vesmíru. Závěrečné kapitoly jsou věnovány životu ve Vesmíru a jedinečnosti člověka, který je schopen poznávat a postupně chápat svět kolem sebe. Z každé prezentace je znát podmanivé kouzlo, zkušenost a mistrovství autora této výjimečné publikace.

Přejeme čtenářům a posluchačům mnoho hezkých chvil s Toulkami Vesmírem. Zastavte se na chvíli v tomto uspěchaném světě a nechte se uchvátit zdánlivě cizími světy, které jsou ve skutečnosti i vaším domovem.

Petr Kulhánek,
Nakladatelství Aldebaran
(AGA, Aldebaran Group for Astrophysics),
Praha, duben 2013



1. Obloha

Vzhled denní oblohy je určen rozptylem slunečního světla na molekulách atmosféry (dusíku, kyslíku, vodní páry). Na bezoblačné obloze září Slunce. V noci je atmosféra ve slunečním stínu a nezáří. Z povrchu Země máme možnost skrze atmosféru pozorovat blízký i daleký Vesmír.

Velkou část života prožíváme pod oblohou. Ve dne pod modrou, ozářenou Sluncem, v noci pod klenbou hvězdného nebe. Obloha je horější polovina toho, co vidíme kolem sebe, vše co je nad zemí nebo nad vodou. Spodní polovinu tvoří povrch Země. Denní činností a myšlením jsme vázáni dolů, k Zemi a pro oblohu – pro tu horní polovinu našeho světa – už zbývá v naší mysli jen málo času.

Občas máme příležitost být pod oblohou posetou velkým množstvím hvězd. To když jsme daleko od umělého osvětlení, zbaveni všedního shonu a přeje-li nám navíc počasí a nesvítí Měsíc. Hvězd můžeme napočítat asi šest tisíc. Jsou jich tam však miliardy, příliš slabých, abychom viděli každou zvlášť. Splývají nám v stříbřitý pás Mléčné dráhy, která se klene vysoko od obzoru k obzoru.

Napadají nás základní otázky našeho bytí ve Vesmíru. Jsme částčkou Vesmíru, článkem v jeho vývoji, a pod hvězdnatou oblohou si to plně uvědomujeme. Těžiště hodnot se přesouvá od pomíjícího hmotného světa k trvalým hodnotám duchovním. Na každého (bez rozdílu vzdělání, historické doby či geografických souřadnic) působí hluboká, sametově černá a hvězdami posetá obloha – ten odvěký mlčenlivý svědek veškerého dění na Zemi, všeho lidského snažení, velikosti i marnosti, hrdinství i podlosti, lásky i nenávisti, věrnosti i zrady, smutku i radosti, něhy i brutality, ctnosti i zločinu, tvoření i ničení, bolestivého zrodu života i jeho barbarského ubíjení. Hvězdnatá obloha však patřila odjakživa především básníkům a hvězdářům. Ti první hledají v tichu noci metaforu pro krásu oblohy, ti druhí u dalekohledů a s pomocí počítačů se snaží porozumět hvězdám a dění v nekonečném Vesmíru:

*Omračujícím tichem se o nás opírá
nekonečný mramor hvězdné oblohy,
ustavičně opracovávaný lidskou myšlenkou,
je nekonečný, a přece
je uzavřen celý pod naším čelem.*

(František Hrubín)

1.1 Úvod

*Denní a noční oblohu vnímáme odmalíčka jako součást našeho okolí, které má dvě části. Spodní část zorného pole, do které směřuje přitažlivost zemská, nazýváme **obzor**. Nad obzorem se klene **obloha**. Obloha je jiná ve dne a jiná v noci. Čára mezi obzorem a oblohou se nazývá **obzorník**.*

1.2 Žijeme na planetě Zemi

Žijeme na planetě Zemi. Spodní část obzoru tvoří krajina, tedy samotný povrch Země. Nad ní, v horní části, se klene obloha neboli nebe. Modř oblohy je způsobena rozptýleným slunečním světlem v atmosféře. Nedovoluje nám vidět černotu kosmu, ani hvězdy, které září příliš slabě.

Část zemského povrchu, kterou lze přehlédnout z jednoho místa, se nazývá obzor nebo horizont. Největší obzor vůbec měla posádka Apolla hledící z povrchu Měsíce, neboť spatřila celou polovinu zemského povrchu.

1.3 Atmosféra Země z raketoplánu

Zemská atmosféra neboli ovzduší je plynný obal, který si Země drží svou gravitací. Atmosféra má hmotnost pouhou miliontinu hmotnosti Země. Přibližně čtyři pětiny atmosféry tvoří dusík, jednu pětinu kyslík. Atmosféra je naprosto nepostradatelná pro život. Chrání biosféru před kosmickým okolím a kyslík v ní obsažený umožňuje dýchání. Na snímku vidíte atmosféru Země tak, jak ji vnímají astronauti na palubě raketoplánu.

Atmosféra Země (ovzduší) je plynný obal, který si Země drží svou gravitací. Celková hmotnost zemské atmosféry je 5×10^{18} kg, což je přibližně miliontina hmotnosti Země. Zhruba čtyři pětiny atmosféry tvoří dusík, jednu pětinu kyslík. Vzácné plyny, oxid uhličitý, vodní pára a jiné plyny jsou jen ve zlomcích procenta, navíc atmosféra obsahuje také pevné a kapalné částice. Většina atmosférických plynů je při povrchu Země (10^{19} molekul v 1 cm^3) a hustota atmosféry rychle ubývá s výškou. Horní hranice je značně neurčitá; vrcholy polárních září byly pozorovány ve výšce přes tisíce kilometrů. Počítáme-li do atmosféry i geokorónu, pak její výška dosahuje 10 až 15 poloměrů Země.

Atmosféra je součástí složitého systému Země. Probíhají v ní procesy zářivé, chemické, elektrické, meteorologické, biologické, geologické. Její vlastnosti se mění s výškou a lze ji rozdělit na vrstvy podle různých hledisek:

1. podle teploty (termosféra, mezosféra, stratosféra, troposféra);
2. podle chemických vlastností (mezosféra, ionosféra, ozonosféra, chemosféra, stratosféra, troposféra, ekosféra);
3. podle elektrických vlastností (ionosféra, neutrosféra);
4. podle pohybů (stratosféra, troposféra);
5. podle stejnorodosti (homosféra, heterosféra).

Zemská atmosféra je naprosto nepostradatelná pro život. Chrání biosféru před mrazivým kosmickým okolím, kyslík v ní obsažený umožňuje dýchání. Pohlcuje škodlivé elektromagnetické záření – rentgenové, gama a ultrafialové. Zachytává korpuskulární záření, pokud proniklo magnetosférou. Meteoroidy zachycuje atmosféra ve výškách kolem 100 km, kde se vypaří a září jako meteory.

Zemská atmosféra negativně ovlivňuje astronomická pozorování, neboť světlo přicházející z Vesmíru je pozměňováno jak co do směru (atmosférická refrakce, scintilace), tak co do intenzity (atmosférická extinkce) a spektrálního složení (selektivní absorpce, telurické čáry). Pro záření gama až ultrafialové a delší rádiové vlny je zemská atmosféra nepropustná. Zemská atmosféra se vyvíjí. Po 4 miliardy let od jejího vzniku ubývalo oxidu uhličitého a přibývalo kyslíku a ozonu. Díky ochranné ozonové vrstvě se mohl před 500 milion lety dostat život z moří na pevninu. V posledních desetiletích však přibývá oxidu uhličitého a ubývá ozonu ve stratosféře.

1.4 Východ Slunce z Mezinárodní kosmické stanice

Snímek, na který se díváte, byl pořízen dne 27. srpna 2011 na Mezinárodní kosmické stanici. Takový pohled se astronautům opakuje šestnáctkrát každý den. Na snímku je dole vidět zemský povrch ještě ponořený do noční tmy. Nad atmosférou je černota kosmického prostoru. Modrá barva atmosféry je způsobena rozptylem slunečního světla: molekuly rozptylují modrou složku slunečního světla šestnáctkrát více než část červenou.

Mezinárodní kosmická stanice (ISS, z anglického *International Space Station*) je trvale obydlená velká laboratoř obíhající Zemi. Představuje největší společné dílo vědecké a technické spolupráce vůbec. Do roku 2011 uskutečnily americké raketoplány a dva druhy ruských raket přes 50 letů, při kterých vynesly na oběžnou dráhu více než 100 součástí, z nichž je stanice sestavena. První stavební díly byly na oběžnou dráhu vyneseny v roce 1998. Stanice má rozpětí 110 metrů, délku téměř 90 metrů a výšku 27 metrů. Hmotnost stanice je 417 tun, objem téměř 1 000 m³. Doba oběhu stanice kolem Země trvá 91 minut. Výkon, který má stanice k dispozici je 110 kW. V některých modulech je udržován atmosférický tlak.

Na vybudování a provozu stanice se podílí celkem 16 států: USA, Rusko, Japonsko, Kanada, Brazílie, Belgie, Dánsko, Francie, Německo, Itálie, Holandsko, Norsko, Španělsko, Švédsko, Švýcarsko a Velká Británie. Na programu se přímo podílí přes 100 000 pracovníků kosmických agentur a stovky dodavatelů, subdodavatelů, továren a laboratoří po celém světě.

Mezinárodní kosmická stanice je určena pro pobyt až sedmi lidí. Obíhá ve výšce 352 až 355 km a její dráha je skloněna 52° k rovině rovníku. Umožňuje pozorování povrchu Země z 85 % a létá nad 95 % jejích obyvatel. Vědecké týmy na stanici mají k dispozici laboratoře, které poskytují možnosti nedosažitelné na povrchu Země. Tíže, teplota a tlak jsou regulovatelné podle potřeb pro výzkum materiálů (například polymerů, polovodičů pro nejrychlejší počítače a elektroniku, vysokoteplotních super vodičů aj.), růst bílkovinných krystalů důležitých pro výzkum léků, lékařských výzkumů (například funkcí různých orgánů, léčení různých chorob aj.). Elektrický proud je dodáván velkými panely slunečních článků.

V roce 2008 byl na stanici instalován evropský výzkumný modul Kolumbus, v roce 2009 japonský modul Kibō a při posledních letech raketoplánů byly v roce 2011 instalovány italsko-americký přetlakový nákladní modul Leonardo a detektor částic AMS. Po ukončení letů raketoplánů v roce 2011 zajišťují dopravu kosmonautů pilotované kosmické lodě Sojuz. O zásobování stanice se starají automatické nákladní kosmické lodě – ruské Progresy, evropské ATV a japonské HTV. V květnu 2012 se k Mezinárodní stanici připojil komerční dopravní modul Dragon společnosti SpaceX.

1.5 Atmosféra z Mezinárodní kosmické stanice

Takto vidí Zemi astronauti z Mezinárodní kosmické stanice z výšky přibližně 350 km nad Indickým oceánem. Označeny jsou základní vrstvy zemské atmosféry. Troposféra je nejnižší vrstva, ve které se odehrává počasí. Sáhá až do výšky 17 kilometrů. Stratosféra se nachází nad troposférou a sahá až do výšky 50 kilometrů. Její vzduch je velmi suchý a bez oblak, teplota se vzdáleností od Země roste. Snímek byl pořízen dne 14. června 2010.

Troposféra (z řeckého *tropos* = obrat, *sfaira* = koule) je nejnižší vrstva zemské atmosféry, ve které probíhá počasí. Na rovníku sahá do výšek kolem 17 km, na pólech dosahuje pouze 8 km. V troposféře se nachází kolem 80 % plynů atmosféry. Hustota a teplota klesají s výškou. Ve středních šířkách klesá teplota na -50°C a na rovníku na hodnotu kolem -80°C . Troposféra je zahřívána zespodu, a to jednak od povrchu, který pohlcuje sluneční záření, a jednak přítomností skleníkových plynů. Ohřátý vzduch stoupá nahoru, a tím celou troposféru promíchává. Proto je její chemické složení – až na vodní páru – homogenní.

V troposféře se odehrávají proměny atmosféry, které nazýváme počasím. Téměř všechna voda v atmosféře, ať ve stavu plynném, kapalném či pevném, je v troposféře. V ní je také značná koncentrace aerosolu (prachu, mořské soli, kouřových částic), který je tam vynášen větrem a vzestupnými proudy. Shora je troposféra zakončena tropopauzou – přechodem ke stratosféře.

Stratosféra je vrstva *zemské atmosféry* nad *troposférou*. Její vzduch je velmi suchý a bez oblak. Jen v polárních oblastech byla pozorována velmi jemná oblaka, která působí jako katalyzátor při rozkladu ozonosféry antropogenními *chlorofluorovanými uhlovladiny*. Tím se vysvětluje vznik *ozonové díry* nad Antarktidou (a patrně i nad Arktidou). Vzduch ve stratosféře je velmi řídký, takže stratosféra obsahuje pouze 15 % plynů zemské atmosféry. Se vzrůstající výškou teplota zpočátku zůstává konstantní, ale pak roste až k 0 °C ve výšce kolem 50 km, kde je maximum a stratosféra končí (tzv. stratopauza). Protože teplota neklesá, ale roste (tzv. teplotní inverze), neprobíhá zde konvekce jako ve troposféře. Stratosféra je z nemísících se vrstev (z latinského *stratum* = vrstva, řeckého *sphaira* = koule). Vzrůst teploty s výškou je způsoben *ozonem*, který pohlcuje sluneční *ultrafialové záření*. Protože kyslík je produktem fotosyntézy, je též *ozonosféra* (a tedy i vznik stratosféry) typická pro Zemi. Na obřích planetách roli ozonu přebírá metan, který na nich absorpcí slunečního záření stratosféru vytváří. Na *Venuši* troposféra s výškou přechází ve vrstvu s konstantní teplotou.

Vysoká atmosféra není přesně definovaný pojem. Obvykle se tak označuje celá vrstva atmosféry nad *tropopauzou* až do výše kolem tisíce kilometrů (kde lze pozorovat nejvyšší vrcholy polárních září). Do vysoké atmosféry by tedy patřila *ozonosféra* a *ionosféra*. Studium vysoké atmosféry dříve využívalo ionosférické sondáže, šíření rádiových vln na velké vzdálenosti, *světlo noční oblohy*, *soumrakové jevy*, *zatmění Měsíce*, *polární záře* a *meteory*. Dnes se používají balony, výškové rakety a umělé družice.

1.6 Rayleighův rozptyl

Nalevo si můžete povšimnout, že část slunečních paprsků projde atmosférou Země přímo až na její povrch. To je přímé sluneční záření, takové, které před osmi minutami opustilo povrch Slunce. Některé paprsky jsou však zachyceny molekulami dusíku a kyslíku a poslány jiným směrem. Čili jsou rozptýleny. Tento tzv. Rayleighův rozptyl postihuje modrou složku slunečních paprsků asi desetkrát více než červenou. Proto je obloha modrá a zapadající Slunce při obzoru červené.

Rayleighův rozptyl (Tyndallův jev) je označení pro rozptyl světelného svazku z původního směru do různých směrů. Nastává na molekulách plynů nebo na prachových částicích, které jsou mnohem menší než vlnová délka světla. Velikost rozptylu

závisí na vlnové délce. Původně tento rozptyl vysvětlil John Tyndall (v roce 1859) a podrobněji se jím zabýval baron Rayleigh.

Krátké vlny (modré světlo) jsou rozptylovány více než dlouhé vlny světla červeného. Ztráty světla z původního svazku způsobené Rayleighovým rozptylem jsou nepřímo úměrné čtvrté mocnině vlnové délky. Fialové světlo je rozptylováno osmkrát více než světlo červené. Rayleighův rozptyl slunečního záření na molekulách dusíku a kyslíku v zemské atmosféře způsobuje modř oblohy a červené Slunce u obzoru. Zde při východu či západu Slunce procházejí jeho paprsky třicetkrát větším množstvím molekul než je nad námi v zenitu.

Proč však není obloha fialová, když je fialové záření více rozptylováno než modré? Důvodem je jednak fakt, že fialového záření je ve slunečním spektru méně než modrého, a dále pak to, že je naše sítnice na fialové záření méně citlivá než na modré.

1.7 Denní obloha

Rozptyl slunečního světla na molekulách vzduchu postihuje především modrou složku slunečního světla. Proto je obloha ve dne modrá. Rozptýlené světlo oblohy nás oslňuje natolik, že ve dne nevidíme hvězdy. Můžeme je vidět jen výjimečně při úplném zatmění Slunce nebo pomocí dalekohledů umístěných nad zemskou atmosférou. Naopak v noci, kdy atmosféra nad námi nerozptyluje sluneční světlo, neboť je ve stínu Země, je obloha tmavá, posetá hvězdami.

Baron Rayleigh (1842–1919). Rozptyl světla byl pojmenován podle barona Rayleigha, jehož plné jméno zní John William Strutt Rayleigh. Rayleigh byl anglický fyzik zabývající se akustikou a optikou, zejména šířením vln v tekutinách. Jeho špatný zdravotní stav mu znemožnil dokončit studia na dvou školách (Eton, Harrow). V roce 1857 započal soukromé čtyřleté studium pod vedením vlastního učitele. V roce 1861 vstoupil na Kolej Trinity v Cambridgi. Studia ukončil v roce 1865. Intenzivně se zabýval Maxwellovou teorií elektromagnetizmu, a to jak experimentálně, tak teoreticky. V roce 1878 vydal dvoudílný spis *The Theory of Sound* (Teorie zvuku), který se stal základem akustické literatury. Odvodil rovnici popisující závislost rozptylu světla v atmosféře na vlnové délce a vysvětlil tak jako první modrou barvu oblohy. Pokoušel se také, jako mnozí, odvodit zákon záření absolutně černého tělesa. Jeho vztah (Rayleighův zákon) popisuje správně závislost intenzity záření na vlnové délce pro dlouhé vlnové délky. Pro krátké vlnové délky intenzita diverguje (tzv. UV katastrofa) a zákon neplatí. Pro celé spektrum se podařilo zákon odvodit až Maxu Planckovi v roce 1901. V roce 1904 získal Nobelovu cenu za fyziku za izolování inertního plynu argonu. O prvenství tohoto objevu soupeřil s Williamem Ramsayem, který ale započal své

práce prokazatelně až po publikování Rayleighových výsledků. Ramsay získal Nobelovu cenu za chemii za dlouholetý výzkum vlastností argonu v témže roce.

1.8 Obloha a spektrum

Sluneční světlo se skládá z mnoha vlnových délek. Za pomoci specializovaných přístrojů můžeme jednotlivé vlnové délky ze světla oddělit a vytvořit tak sluneční spektrum. Už víme, že molekuly vzduchu rozptylují ze slunečního záření především jeho modrou, tj. krátkovlnnou část. Na horním snímku spektra ji vidíme nalevo. Při pohledu na oblohu vidíme zejména rozptýlené světlo, proto je obloha modrá. Pokud je Slunce u obzoru, uletí jeho paprsky delší vzdálenost, než když je v nadhlavníku. Modrá složka se rozptýlí a při přímém pohledu na Slunce dominuje červená složka. Proto je zapadající Slunce u obzoru červené.

Spektrum rozumíme záření rozložené na jednotlivé barvy (vlnové délky). Nejjednodušším slunečním spektrem je duha. Ve spektru se nacházejí spektrální čáry představující téměř monochromatický (jednobarevný) úsek spektra. Vznikají různými způsoby, většinou přechodem mezi dvěma hladinami energie, a to

1. přeskokem elektronu v atomu nebo v molekule,
2. vibračními, rotačními, rotačně vibračními přechody v molekulách,
3. mezi energetickými stavy jádra atomu.

Spektrální čáry. Absorpční čáry jsou tmavé na světlém spojitém spektru, *emisní čáry* jsou světlé na tmavém pozadí, nebo se překládají přes spojité spektrum. U plynu o dostatečně vysoké teplotě nebo při fluorescenci dochází k přechodům z vyšší hladiny na nižší a ve spektru se objeví emisní čáry plynu. Prochází-li však chladnějším plynem spojité záření ze zdroje teplejšího, objeví se ve spektru tmavé absorpční čáry plynu. Nejznámějším příkladem absorpčních čar jsou *Fraunhoferovy čáry* ve slunečním spektru. Kmitočet vyzářené (nebo pohlcené) čáry odpovídá přesně rozdílu obou hladin energie. Každá spektrální čára patří jednoznačně k jedinému prvku nebo molekule. Tato skutečnost dovoluje stanovit chemické složení kosmických objektů a je základem *kosmochemie*.

1.9 Otáčení Země

Otáčení Země kolem osy se nám ve dne jeví jako pohyb Slunce po obloze od východu k západu. V noci se nám otáčení Země jeví jako oběh hvězd kolem pólu. Slunce se ale na obloze nepohybuje stejně rychle jako hvězdy. Vzhledem ke hvězdám se za den Slunce posune jen o svůj průměr, a to od západu k východu. Tento pohyb je způsoben oběhem Země kolem Slunce.

Na fotografii je spojena řada snímků Slunce pořízených v den zimního slunovratu v pravidelných intervalech po sobě. Tehdy Slunce zůstává nejbliže k jižnímu obzoru. Zemská osa je v tu dobu nejvíce odkloněna od Slunce – o 113 stupňů.

Zemská osa je osa rotace Země. Nemá pevnou polohu vzhledem k zemskému tělesu. V důsledku toho se póly po povrchu pomalu pohybují. Jejich dráha, zvaná *polhodie*, je uvnitř kružnice o poloměru asi 18 m. Pohyb pólů má dvě složky: roční po úzké elipse, jejíž tvar se stále mění, a čtrnáctiměsíční s průměrem asi 8 m (tzv. *Chandlerova perioda*).

S pohybem osy se mění i rovina rovníku (rovina kolmá na osu a procházející středem Země) a poledníků na povrchu Země. Ty jsou základem pro určování geografických souřadnic. Změny šířky sledovala dříve po dlouhou dobu Mezinárodní šířková služba, nověji pak Mezinárodní služba rotace Země.

Orientace Země jako celku se v prostoru mění *precesí* a *nutací*. Precese je krouživý pohyb osy rotujícího tělesa způsobený momentem síly, v případě Země jsou to momenty sil Měsíce a Slunce. Zemská osa se pohybuje po kuželové ploše a opíše ji jednou za 25 800 let (tzv. *platónský rok*). Na precesní kružnici se překládá malé, téměř periodické kolísání rotační osy způsobené oběhem Měsíce kolem Země. Vzniká změnami měsíční složky precese, jež jsou způsobeny stáčením měsíční dráhy. Od precesní kružnice se světový pól odchyluje až o $\pm 9,21''$, a to s periodou 18,6 roku.

Tento složitý pohyb si lze představit pomocí pomeranče (Země) propíchnutého pleťacím drátem (rotační osa). Sestava se pohybuje po dráze kolem „Slunce“, drát (osa) se pomalu natáčí v prostoru po kuželových plochách (precese a nutace), pomeranč (Země) se na drátu (ose) pomalu kývá a zároveň se otáčí.

1.10 Oblaka

V atmosféře se volně vznášejí mezi molekulami dusíku a kyslíku také molekuly vody. Jejich množství (čili vlhkost vzduchu) závisí na teplotě. Je-li jich pro danou teplotu příliš mnoho, molekuly se spojují do kapiček nebo krystalků a tvoří oblaka. Na poštovních známkách USA si prohlédněte různé druhy oblaků s jejich odbornými názvy.

Spojování molekul vody je důsledkem jejich elektrické přitažlivosti. Vodíková část je nabitá kladně, kyslíková záporně. Molekuly vody se proto chovají jako elektrické dipóly. Z dálky se jeví elektricky neutrální, ale zblízka je patrné nesymetrické rozložení elektrického náboje. Síla, kterou na sebe působí dva elektrické dipóly, ubývá se třetí mocninou vzdálenosti, tedy rychleji než síla působící na bodové náboje (ta podle Coulombova zákona ubývá s druhou mocninou vzdálenosti objektů).

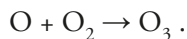
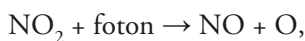
Poštovní arch vyobrazený v prezentaci vydala americká pošta ve spolupráci s Americkou federální organizací pro sledování oceánů a atmosféry (NOAA) v roce 2004. Obsahuje 15 různých známek s nominální hodnotou 37 centů. Na zadní části aršíku jsou v místě jednotlivých známek umístěny popisy vlastností zobrazených oblaků.

1.11 Ozonová díra

Uprostřed měsíce března roku 2011 došlo k překvapivému poklesu ozonu nad Arktidou, severní polární oblastí Země. Na levém snímku jsou izofoty měřené pomocí mikrovlnného přístroje na družici Aura. Na pravém snímku je tmavěmodrou barvou zobrazeno rozložení oxidu chlornatého ve výšce kolem 20 km ve stejném období. Příčinný vztah je dobře patrný. Bílá křivka ohraničuje oblast, v níž se ničení ozonu odehrávalo.

Ozon je forma kyslíku, jehož molekula obsahuje tři kyslíkové atomy, tedy O_3 . Je to namodralý plyn. Vzniká při silných elektrických výbojích, například při blesku. Přibližně 90 % O_3 v zemské atmosféře je obsaženo ve stratosféře ve výškách 15–40 km nad povrchem Země, s maximem kolem 20–25 km. Tato vrstva se proto nazývá ozonosféra. Ozon silně pohlcuje zejména ultrafialové záření s vlnovou délkou 290–320 nm (nazývané UVB záření), které je velmi škodlivé pro živé organizmy. Zvyšuje výskyt rakoviny kůže, šedého zákalu očí, poškozuje rostliny a některé mořské organizmy. Stratosférický ozon tak ochraňuje život na Zemi před škodlivým ultrafialovým zářením z Vesmíru, především ze Slunce. Je velmi reaktivní, a právě tím je jeho výskyt u povrchu Země škodlivý (například při vdechování poškozuje plíce).

Stratosférický ozon je přirozeným cyklem stále tvořen a rozkládán. Pro život na Zemi je ozon zcela nepostradatelný. Protože člověk narušuje přirozenou rovnováhu tím, že posiluje rozkladné procesy, ozonu ve stratosféře ubývá (působením chlorofluorovaných uhlovodíků, například freonů z ledniček a sprejů). Spalováním fosilních paliv vzniká oxid dusičitý (NO_2) a ten se světlem rozkládá:



Přízemní ozon vzniká především v letní slunečné dny a to škodí lidem, zvířatům i rostlinám. Podílí se na kyselých deštích, neboť napomáhá vzniku kyseliny dusičné z oxidu dusičného a kyseliny sírové z oxidu siřičitého. Ozon je skleníkovým plynem a v místech se silným automobilovým provozem přispívá k tvoření fotochemického smogu. Celkovým množstvím ozonu se rozumí všechno ozon ve sloupci vzduchu sahajícím od povrchu Země až k horní mezi atmosféry. Mění se s geografickou polohou a roční dobou. Měří se v *Dobsonových jednotkách*.

Oxid chlornatý je sloučenina vznikající při rozkladu ozonu chlorem. Pokud narazí ultrafialový paprsek na freon, uvolní se atom chloru, který reaguje s molekulou ozonu, a vytváří se kyslík a oxid chlornatý (ClO). Pokud molekula oxidu chlornatého narazí na atom volného kyslíku, dojde k reakci a vytvoří se molekula kyslíku a atom chloru. Tento volný atom chloru může zničit další molekulu ozonu. Odhaduje se, že tato řetězová reakce se může opakovat až stotisíckrát.

Aura (EOS CH-1) je vědecká výzkumná družice NASA, která studuje ozonovou vrstvu, kvalitu ovzduší a změny klimatu. Jde o třetí složku sledovacího systému, jenž tvoří družice Terra z roku 1999, Aqua z roku 2002 a Aura z roku 2004. Družice Aura byla dopravena na oběžnou dráhu dne 15. července 2004 na palubě nosné rakety Delta II 7920-10L. Aura létá ve formaci tzv. *vláčku* (tvoří ho družice Aqua, CALIPSO, CloudSat, PARASOL a Aura). Družice jsou na synchronní dráze se Sluncem, rovník přelétávají v odpoledních hodinách.

1.12 Soumrak

Při soumraku je atmosféra při obzoru osvětlená Sluncem. Na snímku je nad kopulí observatoře atmosféra už ve stínu Země. Jas atmosféry neoslňuje, takže vidíme do kosmu.

Ve dne nemůžeme z povrchu Země vidět do kosmu, protože nás oslňuje sluneční světlo rozptýlené atmosférou. Družice SOHO je ale vysoko nad atmosférou, takže nám ukazuje Slunce na pozadí hvězdné oblohy.

Observatoř ORM (španělsky *Observatorio del Roque de los Muchachos*) je astronomická observatoř na ostrově La Palma na Kanárských ostrovech. Observatoř je součástí Evropské jižní observatoře. Vrchol hory Roque de los Muchachos je považován za druhé nejkvalitnější místo k pozorování na severní polokouli (na prvním místě je havajská hora Mauna Kea). V observatoři je umístěn dalekohled GTC (*Gran Telescopio Canarias*) o průměru zrcadla 10,4 metru, který je od roku 2009 největším samostatným dalekohledem na světě. V blízkosti je také Švédský sluneční dalekohled o průměru zrcadla 1 metr.

1.13 Blízko i daleko

Na unikátním snímku, který pořídil pan Josef Klepešta na Ondřejovské hvězdárně v roce 1923, vidíte objekty ve třech různých vzdálenostech. Nejblíže je stopa bolidu v levé části snímku. Nachází se v zemské atmosféře a je vzdálená tisícinu světelné sekundy. Jednotlivé světlé body jsou hvězdy naší Mléčné dráhy. Jsou vzdálené desítky až tisíce světelných roků.

Nejdále je Galaxie v Andromedě, kterou vidíte v pravé části snímku. Je vzdálená 2,9 milionů světelných roků. V daleké budoucnosti Andromeda splyne s naší Galaxií.

Bolid je velmi jasný meteor. Jeho zdánlivá jasnost je větší než maximální jasnost Venuše ($-4,0$ mag). Může převýšit jasnost měsíčního úplňku a výjimečně dosáhnout jasnosti Slunce. Rozhraní mezi meteorom a bolidem není pevně stanoveno. Bolid se jeví jako plošný útvar, jehož průměr je zlomkem průměru měsíčního (který je $0,5^\circ$). Za soumraku lze za bolidem vidět sloupec prachu. U bolidu lze rozlišit jádro, obal, hlavu, ohon a jiskry. Asi 5–10 % bolidů proletí atmosférou a dopadne na zem jako meteorit. Menší meteorit padá k zemi volným pádem, působením zemské přitažlivosti, aniž by vysílal světlo, tj. tzv. temným letem. Temný let je silně ovlivněn větry ve stratosféře a tvarem meteoritu. Obvykle trvá 3 až 4 minuty (tj. doba mezi okamžikem zhasnutí bolidu a dopadem meteoritu). Dopad meteoritu na zem je provázen zvukem. Systematickým pozorováním a výzkumem bolidů se zabývá Evropská bolidová síť.

Galaxie je obrovský systém hvězd, mezihvězdného prachu, mezihvězdného plynu a nezářící hmoty. Systém je vázaný vzájemnou gravitací složek. Naše Mléčná dráha je jedna z galaxií (nazývaná Galaxie), viděná z vnitřku – od Slunce. Ostatní galaxie se nám jeví na obloze jako mlhavé obláčky. Proto byly dlouho považovány za mlhoviny (ještě Edwin Hubble svou monografií o galaxiích nazval Říše mlhovin – *The Realm of Nebulae*). Hrubý odhad ukazuje, že v pozorovaném Vesmíru (do vzdálenosti 10 miliard světelných roků) je 10^{12} , tj. bilion galaxií.

Velká galaxie v Andromedě je velká spirální galaxie v souhvězdí Andromedy, v Messierově katalogu má označení také M 31. Dříve se jí říkalo Velká mlhovina v Andromedě, teprve Edwin Hubble zjistil v roce 1923, že jde o galaxii složenou z hvězd. Od nás je vzdálená přibližně 2,9 milionů světelných roků. Spolu s Mléčnou dráhou, Galaxií v Trojúhelníku a více než šedesáti menšími galaxiemi, tvoří Místní skupinu galaxií. Další zajímavosti o této galaxii najdete v komentářích ke snímkům 1.27 a 8.16.

1.14 Sluneční soustava

Díváte se na Sluneční soustavu až po Saturn, který je napravo dole. Parabola, táhnoucí se napříč obrázkem, je dráha Halleyovy komety, která se pohybuje na kresbě směrem nahoru. Její ohon směřuje od Slunce.

Sluneční soustava je seskupení mnoha těles (planet, planetek, komet a nespočetné množství meteoroidů) vázaných gravitací ke Slunci. Obíhají kolem něj, a to (s výjimkou komet) po téměř kruhových drahách ve směru jeho otáčení. Z pohledu

od souhvězdí Draka (tj. severního pólu ekliptiky) je to přímý pohyb proti směru hodinových ručiček. Stejným směrem se otáčí kolem své osy Slunce a většina planet. Také většina měsíců obíhá své planety v přímém směru. Přímý pohyb většiny těles ve Sluneční soustavě je dědictvím po otáčivém pohybu sluneční mlhoviny, ze které Sluneční soustava vznikala. Sluneční soustavě jsou věnovány prezentace 5 a 6.

1.15 Sluneční soustava „zvenku“

Unikátní záběry Sluneční soustavy, na které se díváte, byly pořízeny dne 14. února 1990 kamerou na sondě Voyager 1 ze vzdálenosti 6,5 miliardy kilometrů z výšky 32 stupně nad rovinou ekliptiky. Země byla v tu dobu pro Voyager 1 srpečkem v blízkosti Slunce, a je proto v pruhu rozptýleného světla. Merkur a Mars chybí, neboť byly v záři Slunce.

Voyager je dvojice sond americké NASA, jejichž cílem bylo zblízka zkoumat obří planety, jejich měsíce a prstence. Název Voyager znamená *cestovatel po moři*. Sonden byly vypuštěny v roce 1977, a to 5. září (Voyager 1) a 20. srpna (Voyager 2). V březnu a červnu 1979 minuly Jupiter, přičemž pořídily snímky Jupiteru i jeho měsíců a objevily Jupiterovy prstence. Kolem Saturnu prolétal Voyager 1 v listopadu 1980 a Voyager 2 v srpnu 1981. Snímal obrázky nejen samotné planety, ale také Saturnových prstenců a Saturnových měsíců. Voyager 2 pokračoval dále k Uranu, k němuž se dostal v červenci 1986, a pak k Neptunu, kam dospěl v srpnu 1989.

Obě sondy směřují ven z planetární soustavy směrem do *Oortova oblaku* komet a dále do mezihvězdného prostoru. Jejich posledním úkolem je zjistit, kde je hranice *heliosféry*, tzv. *heliopauza*. K tomu, aby se dostaly ven z vnitřních oblastí gravitačního pole Slunce, musel být na jejich dráze použit efekt gravitačního praku způsobený Jupiterem a Saturnem. Rádiové spojení se Zemí je udržováno anténou o průměru 3,7 m. V roce 2004 Voyager 1 prolétl terminační vlnou. Je to oblast ve vzdálenosti 90 až 95 AU (1 AU je střední vzdálenost Země od Slunce), ve které klesá rychlost částic slunečního větru na podzvukovou rychlost. Voyager 2 prolétnul touto oblastí v roce 2007. Podle všeho se zdá, že Voyager 1 v současnosti (2013) prolétá heliopauzou (hranicí vlivu magnetického pole Slunce). Na samé hranici Sluneční soustavy objevil zajímavou magnetickou pěnu složenou z bublin o velikosti přibližně 1 AU.

1.16 Sluneční rodina

Hlavním členem naší sluneční rodiny je Slunce. Kolem něho obíhá osm planet, planety, komety a drobný materiál. Kolem některých planet obíhají měsíce. Někdy jim říkáme přirozené družice. Základní silou, která drží Sluneční soustavu pohromadě, je gravitace.

Gravitace je nejslabší ze čtyř interakcí mezi elementárními částicemi. V laboratořích, kde se studují částice a jejich interakce, je gravitace obvykle zcela zanedbatelná, jak je vidět z jejího porovnání s elektromagnetickou interakcí. Coulombův zákon elektrické přitažlivosti mezi protonem a elektronem ve vodíkovém atomu se podobá gravitačnímu zákonu (síly ubývají se čtvercem vzdálenosti). Podíl elektrické přitažlivé síly a gravitační přitažlivé síly mezi protonem a elektronem je 10^{38} . Proto je význam gravitace pro stavbu atomů téměř nulový.

Naopak pro stavbu a vývoj Vesmíru a pro jeho populaci (měsíce, planety, hvězdy, hvězdokupy, galaxie, supergalaxie) má gravitace zdaleka největší význam. Její dosah není ničím omezen. Gravitační přitažlivost dvou částic nemůže být odstíněna, jak je tomu v případě elektrických sil. Mezi teoriemi gravitace jsou nejznámější *klasická teorie* Isaaca Newtona a *obecná teorie relativity* Alberta Einsteina.

Newtonova teorie (uvedená v díle *Principia*) popisuje gravitaci jako sílu tělesa působící ve všech směrech do nesmírné vzdálenosti, jejíž velikost závisí na hmotnosti tělesa a ubývá se čtvercem vzdálenosti. Nejasná představa o ubývání gravitační přitažlivosti se vzdáleností se vyskytla již v 9. století a o jejím poklesu se čtvercem vzdálenosti se psalo v polovině 17. století (Bullialdus). Avšak Newton byl první, kdo odvodil pokles se čtvercem vzdálenosti z pozorování – z Keplerových zákonů, které byly vyvozeny z pozorování Tychona Brahe. Newtonův gravitační zákon vysvětlil mnoho pozorovaných jevů, například volný pád těles, oběh Měsíce kolem Země, oběh měsíců kolem planet a oběh všech těles planetární soustavy kolem Slunce, jakož i umožnil spočítat hmotnost těles Sluneční soustavy, hvězd ve dvojhvězdách, kulových hvězdokup a galaxií. Přes mnohé úspěchy však některé jevy nedovedl klasický gravitační zákon vysvětlit.

Obecná teorie relativity je jednou z geometrických teorií gravitace, které vysvětlují gravitaci jako zakřivení prostoročasu. Hmota a energie zakřivují prostoročas a zakřivený prostoročas určuje hmotě, jak se pohybovat. Obecná teorie relativity vysvětluje nejen všechny jevy, vysvětlené Newtonovou teorií, ale navíc i další pozorované jevy, které klasická teorie vysvětlit nedokáže (stáčení perihélia, ohyb světla v gravitačním poli a gravitační čočky, gravitační posuv spektrálních čar a další).

Kvantová teorie gravitace se pokouší vysvětlit gravitaci pomocí podstatně odlišných pojmů. Podle ní má i gravitační pole své částice pole (svá gravitační kvanta), nazývané *gravitony*. Podobně, jako jsou ostatní tři interakce způsobeny výměnou gluonů, fotonů a těžkých bosonů, je gravitace mezi dvěma částicemi (a tedy i tělesy) způsobena výměnou gravitonů. Důsledná kvantová teorie gravitace, která by spojila představu kvantové mechaniky a obecné teorie relativity a byla potvrzena pozorováním, však zatím neexistuje a její vytvoření zůstává pro fyziky velkým úkolem.

1.17 Bolid nad Šardicemi

Ve výškách kolem 100 km na obloze občas zazáří meteor neboli létavice či padající hvězda. Je-li jasný, nazýváme ho bolidem. Je to optický jev v zemské atmosféře, trvající zlomek sekundy až několik minut. Drobná částice, zrnko prachu či ledu nebo velký kámen vletí do atmosféry rychlostí 11 až 70 kilometrů za sekundu. Ve výškách kolem 100 kilometrů nad zemí se třením o vzduch rozžhává a vypaří se. Srážky s molekulami vzduchu vybudí ke svitu částice i samotný vzduch.

Bolid zachycený na fotografii patří k meteorickému roji Leonidy, který má maximum každý rok kolem 17. až 18. listopadu. Roj vznikl z materiálu mateřské komety Tempel-Tuttle. To, že se tělesa roje pohybují po stejné dráze jako kometa Tempel-Tuttle, vypočítali nezávisle na sobě italský astronom Giovanni Schiaparelli, Francouz Le Verrier a Němec Teodor von Oppolzer. Radiant roje (místo, ze kterého tělesa zdánlivě na obloze vylétají) leží v souhvězdí Lva. Rozlišujte *meteor* (světelný úkaz v atmosféře), *meteorit* (zbytek dopadlý na zem) a *meteoroid* (tělísko, které vletlo do atmosféry).

Bolid – viz snímek 1.13.

1.18 Drakonidy

Některé meteory se vyskytují v rojích, které se pravidelně opakují. Všechna tělesa meteorického roje se pohybují po společné dráze a nejčastěji vznikly z materiálu rozpadající se komety. Při střetu se zemskou atmosférou se díky perspektivě zdá, jakoby stopy meteorů vycházely ze stejného místa na obloze. Tomuto místu říkáme radiant. Na obrázku vidíte stopy meteorického roje Drakonidy, který vzniknul rozpadem komety 21P/Giacobini-Zinner a jehož radiant je v souhvězdí Draka.

Meteorickým rojem nazýváme krátkodobé zvýšení frekvence meteorů, které zdánlivě vylétují z jednoho místa na obloze. Místo, z něhož meteory roje zdánlivě vylétují, se nazývá *radiant*. Ve skutečnosti jsou dráhy meteorů přibližně rovnoběžné a jejich sbíhavost v úběžníku (radiantu) je jen důsledkem perspektivy. (Připomeňme zdánlivou sbíhavost kolejí nebo slunečních paprsků pronikajících skulinami v oblacích.)

Souhvězdí, ve kterém se radiant nachází, určuje název meteorického roje: *Perseidy* mají radiant v souhvězdí Persea, *Orionidy* v souhvězdí Orionu, *Leonidy* v souhvězdí Lva. Je-li v jednom souhvězdí více radiantů, pak se označují podle blízké hvězdy, například *Éta Aquaridy* mají radiant u hvězdy Éta v souhvězdí Aquarius, *Tau Aquaridy* u hvězdy Tau v témž souhvězdí. Některé meteorické roje mají název podle mateřské komety: *Giacobinidy* jsou pozůstatky komety Giacobini-Zinner.

Meteorický roj, jehož radiant je nad obzorem jen v denní době, se nazývá *denní meteorický roj*. Lze jej pozorovat pouze meteorickým radarem. K neaktivnějším denním rojům patří *Arietidy*, *Beta Tauridy*, *Sagittaridy* a *Zéta Perseidy*. Nejznámější *noční meteorické roje* jsou uvedeny v tabulce *Významnější noční meteorické roje*. Hodinová frekvence meteorů je u některých rojů stálá, u jiných rok od roku silně kolísá – například Leonidy v roce 1966 měly mimořádnou frekvenci asi 150 000 meteorů za hodinu. Dochovaly se záznamy o významných meteorických rojích v minulosti. Nejstarší dosud známý záznam o roji (*Lyrid*) je z roku 687 př. n. l. Zmínka o *Perseidách* pochází z roku 36 našeho letopočtu a zpráva o *Leonidách* pochází z roku 902.

Vědecký výzkum však začal až v 18. stol. V roce 1886 G. Schiaparelli dokázal, že dráhy Perseid se shodují s dráhou komety 1862 III. Tím byl vysvětlen původ meteorického roje: je to proud meteoroidů, které opustily kometu a pohybují se dál v blízkosti její dráhy. Meteorický roj je optický jev v zemské atmosféře, který pozorujeme, kdykoliv Země prolétá proudem meteoroidů, které za sebou zanechává mateřská kometa. Celkové množství meteoroidů obíhajících v prstenci podél dráhy komety může svou hmotností několikrát převyšovat současnou hmotnost samotné komety. Výpočty například ukazují, že hmotnost proudu meteoroidů, který za sebou zanechala Halleyova kometa, a jímž Země prochází kolem 21. října (Orionidy) a začátkem května (Éta Aquaridy), je několikrát větší než hmotnost jejího nynějšího jádra.

Rozložení meteoroidů podél dráhy může být rovnoměrné a pozorovaný roj se nazývá *permanentní roj*: jeho činnost se rok od roku nemění. Takovým rojem jsou Perseidy. Naopak u *periodických rojů* je hustota proudu nerovnoměrně rozložena podél dráhy a vysoká činnost se opakuje po určité periodě, kdy Země prolétá zvláště hustou oblastí. Takovým rojem jsou Leonidy. Jsou ještě dočasné roje (například Andromedidy), u nichž se činnost postupně zmenšuje, až po řadě let zcela ustává.

1.19 Polární záře

Na snímcích jsou polární záře, které vznikají interakcí slunečního větru s magnetosférou Země. Při zvýšené sluneční aktivitě pronikají nabitě částice (zejména elektrony) až do horních vrstev atmosféry, kde excitují atomy a molekuly. Ty potom září především v zelené nebo červené barvě. Polární záře se vyskytují zejména v polárních oblastech, jejich dolní okraj je kolem 100 kilometrů a horní okraj dosahuje do výšky až 1 000 kilometrů, výjimečně výše.

Po velké sluneční bouři doletí za 20 až 30 hodin odezva do naší atmosféry. Dopad oblaku žhavých plynů vyvržených ze Slunce je (naštěstí pro nás) zachycen magnetosférou a ve výškách nad 80 km vyvolá polární záři.

Polární záře (aurora) je světelný úkaz ve vysoké atmosféře Země a jiných planet, které mají atmosféru. Vyskytují se nejčastěji kolem severního a jižního magnetického pólu v pásu nazývaném *aurorální ovál*. Někdy zasahují do nižších geografických šířek a výjimečně až do tropických oblastí (tzv. *tropická záře*). Jejich spodní hranice je kolem 100 km (což je oblast, kde se vyskytuje jiný atmosférický jev – meteory). Jen zřídka sestoupí polární záře až do 60 km (což je spodní mez ionosféry). Výjimečně byly její svítící záclony detekovány ve výškách přes 1 000 km.

V minulosti si lidé vykládali polární záře porůznu. Inuitové kolem Hudsonova zálivu je pokládali za pochodně, jimiž předkové osvětlují úzký most do nebeské říše, aby duše zemřelých našly cestu. Ve středověké Evropě byly dechem hrdinných válečníků, kteří položili život za svého krále a zemi. Jako odměnu za svou statečnost směli pokračovat v bojích i po smrti. V severním Norsku k nim chovali posvátnou úctu. V mnoha zemích byly předzvěsti moru, války či smrti. Červená barva, která je u polárních září v nižších šířkách obvyklá, byla znamením, že brzy vypukne válka.

Příčinou polárních září na Zemi (ale i na Jupiteru, Saturnu a Uranu) je korpuskulární záření Slunce: neustále proudící sluneční vítr a občasné erupce na Slunci, po nichž následuje meziplanetární bouře. Sluneční vítr kolísá co do hustoty (několik až 100 částic v cm^3) i co do rychlosti (350 až 700 km s^{-1}). Podle toho se mění i rozsah aurorálního oválu, v němž se polární záře v tu dobu vyskytuje. Polární záře vyvolané sluneční erupcí jsou mnohem intenzivnější, aktivnější a aurorální ovál se značně rozšíří. Plazmoid uvolněný ze Slunce unáší mnohem více iontů a elektronů, silnější magnetické pole, šíří se rychleji, a proto má značně větší hustotu energie, než je ve slunečním větru.

Částice slunečního větru jsou zachyceny magnetosférou a podél siločar padají dolů do polárních oblastí. Tam, v úzkém aurorálním oválu, budí atmosféru (atomy kyslíku a dusíku a nejnižše molekuly dusíku) k záření (podobně jako elektrony v neonových reklamách). Elektrická energie, kterou typická polární záře (trvajících 3 hodiny a na rozloze 1 milion km^2) předá do atmosféry, je přibližně 100 milionů kWh. To je pro srovnání týdenní spotřeba energie čtvrtmilionového města.

Polární záře se vyskytují současně u severního a jižního pólu. Fotografie z letadel ukazují, že i tvary a průběhy jsou symetrické. Prvním náznakem příchodu polární záře je slabé žhnutí při obzoru. Po chvíli se rozžehne svítící oblouk, který někdy překlene celou oblohu.

Při pohledu z kosmického prostoru (například z kosmické stanice nebo z raketoplánu) se polární záře jeví jako koberec nebo jako drapérie vlající ve větru. Horní okraj je červený, spodní fialový až modrý a uprostřed zelený. Spektrum polární záře je

čárové. Červená barva je vysílána atomy kyslíku z atmosféry nad 200 km. V rozmezí 100–200 km září modře atomy dusíku a sekundární elektrony budí v těchto výškách atomy kyslíku, které vyzařují intenzivní zelenou aurorální čáru (557,7 nm). V nejnižších částech (pod 100 km) září molekuly dusíku karmínově. Bledě zelené záření kyslíku bývá tak intenzivní, že může přehlušit všechny ostatní barvy.

Tvary polárních září, jejich změny a pohyby jsou rozmanité. Tato pestrost je způsobena složitou interakcí zemské magnetosféry s nabitými částicemi ze Slunce i s magnetickým polem, které s sebou přinášejí. Výskyt polárních září kolísá se sluneční činností. V době vyšší činnosti je zvýšené i korpuskulární záření Slunce, častější jsou i erupce a sluneční výbuchy. Polární záře jsou proto aktivnější, výraznější, častější a ovály výskytu jsou širší. Křivka výskytu polárních září má shodný průběh s křivkou sluneční činnosti.

1.20 Polární záře z Mezinárodní kosmické stanice

Video, na které se právě díváte, bylo pořízeno z Mezinárodní kosmické stanice. Vidíme na něm záclony polárních září, které vytvářejí aurorální ovál kolem zemského pólu. Zelená barva je způsobena přechody v atomárním obalu atmosférického kyslíku.

1.21 Měsíc

*Nejbližším naším kosmickým tělesem je Měsíc. Z povrchu Země je viditelná téměř polovina Měsíce. Měsíc je „syn Země“, neboť jeho materiál z ní byl vyražen dopadem tělesa velkého jako planeta Mars. Tmavé prohloubené oblasti na povrchu Měsíce se nazývají **moře**. Je to láva roztekla z měsíčního rozžhaveného nitra do pánví vyhloubených impaktem planetky. Světlé vyvýšené oblasti se nazývají **pevniny**. Je to původní nejstarší povrch Měsíce, do kterého pozdější impakty vyhloubily mnoho kráterů.*

Moře jsou mladší (3,8 miliardy – 3,2 miliardy roků) a kráterů je na nich proto mnohem méně než na pevnině. Doba „kosmického bombardování“ totiž skončila asi před 4 miliardami let.

Voda na Měsíci sice je – ale rozhodně ne v jeho mořích, jak se domnívali astronomové dříve. Je jí však mnoho v hlubokých kráterech u obou pólů, kam nedopadnou sluneční paprsky. Jsou to zbytky komet, které tam kdysi dopadly. Proto se na Měsíci mohou už plánovat trvalá sídliště.

O Měsíci se podrobněji dozvíme ve třetí prezentaci, která je mu věnována.

1.22 Zimní souhvězdí Orion

Obloha je rozdělena na 88 souhvězdí. Jejich hranice určila Mezinárodní astronomická unie a jsou neměnitelné. Ta pokrývají celou oblohu. Pro další souhvězdí už na obloze místo není. Jasně hvězdy mají své názvy. Nahoře je snímek zimního souhvězdí Orionu. Načervenalá hvězda nahoře je chladný veleobr Betelgeuze. Jasná modrá hvězda dole je žhavý obr Rigel, jehož zářivost je stotisíckrát větší než zářivost našeho Slunce. Názvy jasných hvězd jsou pozůstatkem z dob rozkvětu řecké, římské a arabské astronomie. Asi bychom nenašli nikoho, kdo je zná všechny z paměti – vždyť se jich dochovalo přes osm set.

Souhvězdí je seskupení hvězd na obloze, které dostalo v dávné době název podle tvaru (osoby, zvířata nebo věci). Na základě návrhu Henryho Russela rozdělila Mezinárodní astronomická unie v roce 1930 oblohu beze zbytku na 88 oblastí, jejichž hranice kopírují konstantní deklinaci nebo rektascenzi. Každá oblast dostala název podle starého názvu souhvězdí. Z těchto „nových“ souhvězdí jich 36 dominantně zasahuje do severní oblohy a 52 do jižní oblohy. Astronomové po celém světě užívají latinské názvy, například *Leo* je Lev, *Pisces* jsou Ryby, *Cygnus* je česky Labuť atd.

Nejjasnější hvězdy v souhvězdí se obvykle označují písmeny řecké abecedy. Tento způsob pojmenování hvězd zavedl astronom Johan Bayer. Sled písmen odpovídá klesající jasnosti v daném souhvězdí. Jinou možností je značení hvězd pořadovými čísly podle rostoucí rektascenze a někdy též (zejména na jižní obloze) latinskými písmeny. Hvězdy jsou označeny těmito písmeny a třípísmennou zkratkou latinského názvu souhvězdí. Každé souhvězdí má své latinské jméno, schválené Mezinárodní astronomickou unií a užívané po celém světě (například *Canis Major*, *Leo*, *Gemini*).

Při označení hvězd se užívá latinského jména souhvězdí ve 2. pádě (například *Canis Majoris*, *Leonis*, *Geminorum*). Tak má nejjasnější hvězda naší oblohy (Síríus) název *Alfa Canis Majoris* a v textu se označuje zkratkou α CMa. Čeština (stejně jako i jiné jazyky) má pro každé souhvězdí svůj název, který je zpravidla (ale ne vždy) překladem latinského názvu.

Viditelnost souhvězdí závisí na geografické šířce pozorovatele, na deklinaci souhvězdí a na roční době. Souhvězdí – podobně jako Slunce – vycházejí a zapadají, takže jejich poloha na obloze závisí na hodině pozorování. *Cirkumpolární souhvězdí* jsou blízko pólu a lze je vidět po celý rok. Naopak souhvězdí blízko jižního pólu u nás vidět vůbec nemůžeme, zůstávají stále pod obzorem.

Seznam všech souhvězdí naleznete v kapitole Tabulky.

Rektascenze a deklinace – viz snímek 9.4.

1.23 Otáčení oblohy kolem Polárky

Nejznámějším obrazcem hvězd na obloze je Velký Vůz. Je součástí souhvězdí Velké medvědice. Prodloužením zadních kol Velkého vozu najdeme Polárku – hvězdu, v jejíž blízkosti se nachází severní pól oblohy. Severní pól oblohy je přesně nad severním pólem Země. Polárka nám přibližně ukazuje směr k severu. V noci se hvězdy zdánlivě otáčejí kolem severního pólu, tedy přibližně kolem Polárky. Ve skutečnosti je obloha v klidu a otáčí se s námi Země.

Polárka (*Polaris*, Severka, arabsky *Ahrucaba*, latinsky *Cynosura*; *Alfa Ursae Minoris*, α UMi) je nejjasnější hvězda v souhvězdí Malého medvěda (*Ursa Minor*). Je to nažloutlý veleobr s poloměrem padesátkrát větším, než je sluneční poloměr. Je ve vzdálenosti 432 ly a přibližuje se k nám rychlostí 17 km s^{-1} . Lze ji snadno najít pomocí zadních kol Velkého vozu, nazývaných „Ukazatelé“, a to tak, že prodloužíme pětkrát jejich vzdálenost. Polárka je důležitý orientační bod na obloze.

Polárka je vícenásobná hvězda. Její hlavní složka (Polárka A) má přibližně milionkrát větší objem než Slunce a září jako 5 000 Sluncí. Je to pulzující proměnná hvězda (cefeida). Jasnost slabě kolísá s periodou 3,97 dne. Amplituda pulzů se v posledních letech stále zmenšovala a bylo možno ji zjistit jen fotometrem. Kolem cefeidy obíhá v těsné blízkosti slabý průvodce s oběžnou dobou 30 let. Nelze ho v dalekohledu uvidět odděleně, ale projevuje se posuvem čar ve spektru Polárky. Hlavní složka (označená A) je tedy spektroskopická dvojhvězda, složená z cefeidy a spektroskopického průvodce.

Ve velké vzdálenosti obíhají hlavní složku další tři průvodci B, C, D, kteří jsou dostatečně vzdálení, aby je pozemské dalekohledy rozlišily. Složka B je hvězda hlavní posloupnosti spektrální třídy F3 V a jasnosti 8,8 mag. Lze ji spatřit pomocí menšího amatérského dalekohledu ve vzdálenosti $18''$ od hlavní složky. Silným dalekohledem lze uvidět dvě slabší složky, C (13 mag, vzdálenou $43''$) a D (12 mag, vzdálenou $83''$). Polárka je tedy pětínásobná hvězda.

Polárka obíhá severní světový pól ve vzdálenosti $58'$. Oběhne pól jednou za den. Opisuje kolem pólu jen malý kroužek, takže stále ukazuje přibližně k severu. Její výška se rovná zeměpisné šířce, což byla velmi důležitá informace pro námořníky minulých století.

Thuban (*Alfa Draconis*) je nejjasnější hvězda v souhvězdí Draka, která byla před 5 000 lety v blízkosti severního světového pólu (ve vzdálenosti $10'$, tj. třetiny průměru měsíčního disku) a zastávala tehdy úlohu Polárky. Od té doby se v důsledku precese pól posunul k dnešní Polárce v Malém medvědu (*Ursa Minor*).

1.24 Pohledy do minulosti

Pohled do vzdáleného Vesmíru nám ukazuje minulost. Kdybychom na nějaké planetě vzdálené sto světelných roků objevili staříka, kterému je 102 let – viděli bychom ho v dalekohledu jako batole. Pokud by inteligentní bytosti ve Velké mlhovině v Orionu (vzdálené 1 500 sv. roků) pozorovali naši Sluneční soustavu, viděli by na Zemi právě teď praotce Čecha, jak vystupuje na horu Říp. To vše je důsledek rychlosti světla 300 000 kilometrů za sekundu, obrovské a nepředstavitelné. Kosmické vzdálenosti měřené světelným časem neboli světelnými roky nám ukazují enormní vzdálenosti ve Vesmíru.

Astronomická jednotka (a. j., angl. *Astronomical Unit*, zkratka AU nebo au) je ve-dlejší jednotka délky soustavy SI, používaná v astronomii. Užívá se především pro vzdálenosti ve Sluneční soustavě. Původně byla definována jako střední vzdálenost Země od Slunce nebo délka velké poloosy zemské dráhy. Země se ale pomalu vzdaluje od Slunce, a tak byla astronomická jednotka definována pomocí třetího Keplerova zákona pro pohyb planet:

Astronomická jednotka je poloměr kruhové dráhy infinitesimálně malého tělesa, které se kolem Slunce pohybuje úhlovou rychlostí 0,017 202 098 95 radiánu za den.

Roku 2012 byla na Valném shromáždění IAU v Pekingu astronomická jednotka nově definována přesným převodním vztahem k metru: $1 \text{ AU} = 149\,597\,870\,700 \text{ m}$ (přesně). Odpadly tak diskuze spojené s uvažováním relativistických efektů a úbytku hmotnosti Slunce. Astronomická jednotka je přibližně 500 světelných sekund. Užívá se též u dvojhvězd pro měření vzdálenosti jejich složek. Například vzdálenost Síría B od hlavní složky (tj. Síría A) je 20 AU.

Světelný rok (sv. r., angl. *light year*, zkratka ly) je jednotka vzdálenosti ve Vesmíru. Rovná se 63 240 astronomickým jednotkám a $9,46 \times 10^{12} \text{ km}$. Je to dráha, kterou urazí světlo (rychlostí $299\,792 \text{ km s}^{-1}$) za jeden rok (31 557 600 s). Údaj vzdálenosti ve světelných rocích udává dobu, kterou potřebuje světelný paprsek, aby k nám z hvězdy či jiného vesmírného objektu doletěl. Pro svou názornost se tato jednotka užívá běžně v populární literatuře a často i v odborné.

Obdobnými jednotkami menších vzdáleností či rozměrů, které jsou vyjádřeny pomocí rychlosti světla a času, jsou: *světelný měsíc*, *světelný týden*, *světelný den*, *světelná hodina* a *světelná sekunda*.

Parsek (pc) je jednotka vzdálenosti ve Vesmíru. Slovo vzniklo spojením slov paralaxa a sekunda. Ze vzdálenosti jednoho parseku se jeví velká poloosa zemské dráhy pod úhlem jedné úhlové vteřiny. Jeden parsek je 3,262 světelného roku, tj. $3,086 \times 10^{12} \text{ km}$.

1.25 Mléčná dráha

Na tomto snímku vidíte celooblohový obraz naší Galaxie. Uprostřed je obří černá díra. Naše Galaxie je na snímku viděná „zevnitř“, tj. od jedné z jejích 200 miliard hvězd, od našeho Slunce. Tento pohled nazýváme Mléčná dráha. Snímek je pořízen ze vzdálenosti 30 tisíc světelných roků od středu. Střed Galaxie je ve středu obrázku. V opačném směru, u levého a pravého okraje, je méně hvězd. Vzdálenost od nás k okraji Galaxie je jen 20 tisíc světelných roků a hustota hvězd je značně menší.

Galaxie (systém Mléčné dráhy) je obrovský systém 200 miliard hvězd, v němž je spolu se Sluncem i Země a celá planetární soustava. Patří k ní všechny hvězdy, které na obloze vidíme, galaktické mlhoviny, otevřené hvězdokupy, kulové hvězdokupy a rozsáhlé oblasti mezihvězdné hmoty. Většina členů Galaxie je uspořádána do plochého galaktického disku, v jehož středu je galaktická výduť ve tvaru zploštělého rotačního elipsoidu. Ve středové výduti je hustota hvězd a mezihvězdné hmoty podstatně vyšší než je v okrajových částech Galaxie.

V samotném středu Galaxie je galaktické jádro, které se nachází daleko za hvězdami souhvězdí Střelce (*Sagittarius*). Je od nás vzdáleno 28 000 ly. Ve světle nelze galaktické jádro pozorovat, neboť je zastíněno oblaky mezihvězdného prachu. Jeho výzkum se provádí v rentgenovém, infračerveném a rádiovém záření. Ve středu Galaxie je též silný rádiový zdroj *Sagittarius A*. Mohutné toky relativistických elektronů krouží v silných magnetických polích a vysílají synchrotronové záření. Z oblasti menší než 3 ly kolem středu je emitováno silné rentgenové záření. Z jádra byl vyvržen nad plochý disk Galaxie obrovský oblak antihmoty (pozitronů), které anihilací s elektrony vysílají silné gama záření. Zdrojem mohutné energie pro všechny bouřlivé projevy ve středu Galaxie je obří černá díra, jejíž hmotnost je 4 miliony hmotnosti Slunce. Existenci centrální černé díry dokazují i rychlé pohyby hvězd i mezihvězdné hmoty kolem středu. Centrální černá díra vznikla fúzí živých i odumřelých hvězd.

Galaktický disk není homogenní, ale hvězdy a mezihvězdná hmota jsou nahuštěny do spirálních ramen, stejně jako je tomu u ostatních spirálních galaxií. Ramena se odvíjejí od galaktické výduti a jejich strukturu lze studovat ve vodíkové čáře 21 cm mezihvězdného vodíku. Sluneční soustava se nachází na vnitřním okraji jednoho ze spirálních ramen, nazývaném Orionovo rameno. Mezihvězdná hmota je soustředěna do ramen, kde z ní vznikají hvězdy. Horké mladé hvězdy spektrálních tříd O a B a oblasti ionizovaného vodíku (H II oblasti) zřetelně vytyčují spektrální ramena. Mezi rameny jsou jen hvězdy slabé. Pokud jde o tvar, naše Galaxie je typu Sb nebo Sc v Hubbleově klasifikaci galaxií. V její středové oblasti je náznak galaktické příčky, takže je možné, že bude zařazena do typu SB.

Galaktický disk je obklopen sférickým galaktickým haló, pozůstatkem z prvotního vývojového období, kdy gravitace z rotujícího obrovského kulového oblaku začala vytvářet prvé hvězdy, tj. zhruba před 10 miliardami let. V galaktickém haló jsou nejstarší objekty Galaxie – populace II (například kulové hvězdokupy, hvězdy typu RR Lyrae). Jsou to hvězdy o malé hmotnosti, menší než je sluneční hmotnost (menší než 0,8 hmotnosti Slunce). Ty hmotné už dávno vymřely, neboť jejich životní doba je poměrně krátká. Galaktický disk i s kulovým haló, které ho obklopuje, je vsazen do galaktické koróny o průměru přibližně 200 000 ly. Křivka rotace Galaxie dokazuje, že v obrovské galaktické koróně je mnoho nezářivé hmoty, zhruba desetkrát víc než té, kterou můžeme přímo pozorovat.

Parametry naší Galaxie naleznete v kapitole Tabulky.

Synchrotronové záření – viz snímek 8.22.

1.26 Mléčná dráha z Evropské jižní observatoře

V horní části vidíte širokoúhlý snímek Mléčné dráhy nad Evropskou jižní observatoří na chilské hoře Paranal. Je zde umístěn dalekohled Very Large Telescope, což v překladu znamená Velmi velký dalekohled. Tvoří ho čtveřice obřích přístrojů se zrcadly o průměru 8 metrů. Observatoř je postavena na nejsušším místě na světě, v jihoamerické poušti Atacama. Snímek oblohy byl pořízen při zatmění Měsíce, který vidíte jako malou červenou skvrnku docela vpravo v Mléčné dráze, nad dalekohledem UT2. Nakloněný pruh světla vlevo je zvířetníkové (zodiakální) světlo. Je to sluneční světlo odražené od jemného prachu v meziplanetárním prostoru. Jasná skvrnka v něm je planeta Venuše. Nad levým teleskopem UT1 je Malý a Velký Magellanův oblak. Napravo dole je celkový pohled na komplex dalekohledů na hoře Paranal. Nalevo dole je snímek úplného zatmění Měsíce v detailu.

Observatoř VLT (Very Large Telescope) tvoří čtyři velké dalekohledy s celistvým zrcadlem o průměru 8,2 metrů a několik menších dalekohledů o průměru zrcadla 1,8 metru, které jsou posuvné po kolejích. Dalekohledy lze propojit v „jedno zrcadlo“ o průměru 16 metrů – největší dalekohled světa. Sběrná plocha každého z velkých přístrojů je 53 metrů čtverečních. Dalekohledy mají azimutální montáž. Velké dalekohledy mají tři ohniska: Cassegrainovo, coudé a Nasmythovo. Hlavním úkolem dalekohledů je zachytit co nejvíce světla (a tak „nahlédnout“ daleko do Vesmíru a pozorovat i slabé objekty). Pomocí elektroniky (tzv. *adaptivní optiky*) lze odstranit i neklid ovzduší. Tím se eliminuje třpyt (scintilace) hvězd. Pomocí *aktivní optiky* složené z pístů (atenuátorů) je možné měnit tvar primárního zrcadla a kompenzovat deformace způsobené tíhou zrcadla a větrem. Další menší pomocné dalekohledy tvoří s hlavní čtveřicí výkonný interferometr o základně 200 m, čímž se dosáhne úhlového rozlišení tisícín vteřiny.

Dalekohledy vybudovala Evropská jižní observatoř jako součást observatoře Paranal na hoře Cerro Paranal (2 635 m). Svou jedinečnou rozlišovací schopností a největší plochou zachycující světelný tok ze slabých zdrojů, je VLT podstatným doplňkem evropského kosmického výzkumu. Obrazy získané na VLT jsou velmi ostré a vzhledem k velké ploše systému lze snímat nejvzdálenější oblasti Vesmíru. Čtyři hlavní pevné dalekohledy se označují UT1 až UT4, každý z nich má název v domorodém jazyce Mapuche (Mapudungun): *Antu* (UT1, 1998); *Kueyen* (UT2, 1999); *Melipal* (UT3, 2000); *Yepun* (UT4, 2001). V závorce je vždy rok, kdy byl daný dalekohled uveden do provozu. Názvy zrcadel znamenají v češtině: Antu (Slunce), Kueyen (Měsíc), Melipal (Jižní kříž) a Yepun (Sírius či Venuše).

Cerro Paranal je 2 635 m vysoká hora, asi 120 km na jih od města Antofagasta a 12 km na východ od pobřeží Tichého oceánu. Je uprostřed pouště Atacama, na nejsušším místě na světě. Geografické souřadnice jsou 70° 25' z. d. a 24° 40' j. š. Do roka má 350 jasných nocí s velmi klidným obrazem. Vzhledem k velmi nízké vlhkosti je atmosféra průhledná i pro infračervené záření.

1.27 Velká galaxie v Andromedě

Velká galaxie v Andromedě je největší galaxie v okolí naší Galaxie. Je vzdálena 2,9 miliónů světelných roků a přesto ji lze spatřit prostým okem jako mlhavý protáhlý chomáček. Je to nejvzdálenější objekt viditelný lidským okem. Ve své „Knize stálic“ z roku 964 ji perský astronom Al-Sufi popisuje jako „obláček“. Galaxie v Andromedě má průměr 200 000 světelných roků a obsahuje přes 450 miliard hvězd. Je dvakrát větší a třikrát hmotnější než naše Galaxie. Andromeda vyzařuje nejen světlo, ale i záření rádiové, infračervené a rentgenové.

Velká galaxie v Andromedě má v Messierově katalogu označení M 31, v NGC katalogu NGC 224. Ještě v 17. století ji Christian Huygens považoval za „otvor do oblohy“, kterým lze vidět do zářících prostor nad oblohou. Edmund Halley byl téhož názoru a domníval se, že jde o otvor, kterým k nám proniká světlo „z věčného dne“, tedy světlo stvořené první den, ještě před tím, než byly stvořeny Slunce, Měsíc a hvězdy. (Dnes bychom řekli jakési reliktní záření.) Její vzhled v dalekohledu prvně popsal Simon Marius už v roce 1612. Tento popis převzal Charles Messier a zařadil ji do svého katalogu jako 31. objekt.

M 31 je nejzkoumanější galaxií ze všech. Dovoluje pohled „z vnějšku“ na spirální galaxii podobnou naší Galaxii. Její vzdálenost poprvé určil pomocí cefeid Hubble v roce 1923. Tím bylo dokázáno, že tzv. „spirální mlhoviny“ jsou obrovské systémy hvězd (spirální galaxie) podobné Mléčné dráze.

Rovina M 31 je odkloněna od zorného paprsku o 15° . Z posuvu jejích spektrálních čar lze pomocí Dopplerova jevu vypočítat, že se k nám přibližuje rychlostí přes 200 km s^{-1} . Přibližně za miliardu let zřejmě dojde ke srážce obou galaxií. Srážky galaxií nejsou ve Vesmíru vzácností. Ostatně, svědectví o galaktickém kanibalizmu M 31 se dochovalo dodnes, a to ve formě jejího dvojitého galaktického jádra. Jádro galaxie M 31 je vzhledem k její velikosti velmi malé – pouze 15 až 30 ly.

M 31 provází dvě trpasličí galaxie M 32 a M 110. Všechny tři jsou členy Místní skupiny galaxií, do níž patří také naše Galaxie spolu s Magellanovými oblaky, SagDEG, galaxie M 33 v Trojúhelníku aj.

Další zajímavosti o této galaxii naleznete v komentářích ke snímkům 1.13 a 8.16.

1.28 Hubbleovo hluboké pole (HDF)

Na konci roku 1995 byl Hubbleův dalekohled namířen do malé oblasti oblohy v souhvězdí Velké medvědice. Oblast měla velikost pouhou 1/30 průměru Měsíce a Hubbleův dalekohled zde pořídil v průběhu deseti dnů 342 snímků s expoziční dobou 15 až 40 minut. Místo snímkování bylo pečlivě vybráno tak, aby šlo o všední, ničím nevynikající místo na obloze. Po počítačovém spojení všech snímků vzniknul reprezentativní obrázek Vesmíru, ve kterém bylo nalezeno 1 500 galaxií v různých vývojových stádiích. Tomuto slavnému snímku se říká Hubbleovo hluboké pole.

Oblast Hubbleova hlubokého pole (HDF, zkratka z anglického *Hubble Deep Field*) byla vybrána tak, aby (a) byla trvale v dohledu Hubbleova dalekohledu, (b) byla vzdálena více než 2° (4 měsíční průměry) od jasnějších hvězd, (c) byla bez blízkých galaxií a hvězdokup, (d) byla bez mezihvězdného prachu, (e) bylo v zorném směru co nejméně vodíkových atomů.

V roce 1995 šlo o první snímek tohoto druhu. Krátce poté, co byl pořízen snímek HDF ve Velké Medvědici, se začalo uvažovat o stejném pokusu provedeném na jižní obloze stejným dalekohledem. Tentokrát se Hubbleův dalekohled svým (téměř) dvou a půl metrovým skleněným okem podíval do souhvězdí Tukana. Pole bylo (stejně jako na severní polokouli) voleno tak, aby nerušily hvězdy Mléčné dráhy, ani žádná blízká skupina galaxií. Snímek byl pořízen v říjnu 1998, expozice probíhala opět 10 dní a snímek se označuje HDF-S (*Hubble Deep Field South*, Jižní Hubbleovo hluboké pole).

Mnoho objektů HDF je kosmologickým červeným posuvem posunuto do infračervené oblasti. Proto bylo HDF znovu exponováno infračervenou kamerou NICMOS (*Near Infrared Camera and Multi-Object Spectrometer*) v roce 1998. Byly pozorová-

ny shluky až 12 miliard let staré a zárodky hvězd ve vzdálených obřích galaxiích. Obdobné snímky jako HDF a HDF-S byly pořízeny i jinými přístroji. Za všechny jmenujme například AXAF Deep Field, NTT Deep Field a Chandra Deep Field snímané v rentgenovém oboru.

1.29 Hubbleovo velmi hluboké pole (HUDF)

Hubbleovo velmi hluboké pole je obraz malé oblasti v jižním souhvězdí Pece. Je výsledkem pozorování Hubbleovým dalekohledem v infračerveném záření od září 2003 do ledna 2004. Představuje nejvzdálenější pohled do Vesmíru. Bylo složeno 800 snímků, na kterých je 10 000 galaxií v různých vývojových stádiích. Nejčervenější a nejslabší objekty jsou ohraničeny dvěma čtverečky, zvětšeny vlevo a žlutě zakroužkovány. Jsou to nově vzniklé malé galaxie, od nás vzdálené kolem 13 miliard světelných roků. Jde o jedny z prvních galaxií ve Vesmíru vůbec.

Hubbleovo velmi hluboké pole (HUDF, Hubble Ultra-Deep Field) je snímek pořízený o osm let později než slavné Hubbleovo hluboké pole. Byla použita podobná technologie, ale větší zorné pole a 800 snímků exponovaných v průběhu září 2003, prosince 2003 a ledna 2004 kamerami ACS a NICMOS. Celková expoziční doba byla zhruba 1 000 000 sekund, tj. 11 dní čistého času. Jedna expozice trvala v průměru 20 minut. Hubbleův dalekohled při snímkování 400krát obletěl Zemi. Snímkované pole mělo velikost $202'' \times 202''$ a nacházelo se v souhvězdí Pece.

Na snímku je vidět 10 000 galaxií v různých vývojových stádiích, asi stovka z nich má stáří 13 miliard let a patří k nejstarším galaxiím ve Vesmíru. Lidstvu se v tomto snímku podařilo dohlédnout až k samým počátkům našeho Vesmíru. Analýza Hubbleova velmi hlubokého pole přinesla první ucelenější obraz nejranějšího období existence Vesmíru, ve kterém se formovaly první galaxie a hvězdy.

Ve žlutě zakroužkováných oblastech jsou velmi mladé a malé galaxie, které jsou asi miliardkrát slabší než nejslabší hvězda, kterou vidíme na obloze. Jsou to zárodky galaxií z doby, kdy byl Vesmír starý asi 700 milionů roků. Jejich opakovaným splynutím vznikly za několik miliard roků později normální galaxie. Tyto galaxie jsou mnohem menší než naše Galaxie. Jejich hvězdy jsou mladé, jasné, ale jejich rentgenové a ultrafialové záření k nám dopadá jako tepelné (infračervené), což je důsledkem rozpínání Vesmíru.

Plocha HUDF je menší než jeden milimetr čtvereční, viděný ve vzdálenosti 1 metr od oka. Přepočteme-li 10 000 galaxií nalezených v oblasti na celou oblohu, zjistíme, že v okolním Vesmíru do vzdálenosti 13 miliard světelných roků je 400 miliard galaxií.

1.30 Hubbleovo velmi hluboké pole

Na tomto videu, které začíná pohledem na známé souhvězdí Orionu, si můžete představit, jaké rozměry měla plocha Hubbleova velmi hlubokého pole. Postupně procházíme oblastmi jiných přehlídek: Digital Sky Survey, GEMS, GOODS. Posledním v pořadí je Hubbleovo velmi hluboké pole HUDF. Video končí snímky jednotlivých galaxií, které byly v této oblasti nalezeny.

První je v animaci zobrazena plocha přehlídek DSS (*Digitized Sky Surveys* 1, 2). Jde o celooblohové digitalizované přehlídky snímků z Palomarského (USA) a Schmidtova (Anglie) dalekohledu. Fotografické desky zabírají pole $6,5^\circ \times 6,5^\circ$. Jeho velikost je znázorněna na počátku animace. Jako druhá je uvedena plocha přehlídky GEMS (*Galaxy Evolution from Morphology and Spectral Energy Distributions*) – zahrnuje 900 čtverečních minut snímkaných pomocí kamer ACS na Hubbleově dalekohledu. Jen pro představu – tato plocha je velká zhruba jako Měsíc v úplňku. Další plocha zobrazená na videu přísluší projektu GOODS (*Great Observatories Origins Deep Survey*), který spojuje extrémní hluboké prohlídky Hubbleova dalekohledu, Spitzerova dalekohledu, rentgenových observatoří Chandra a XMM-Newton. Plocha přehlídky je zhruba poloviční oproti projektu GOODS. Poslední je zobrazené pole HUDF s rozměry $202'' \times 202''$.

1.31 První hvězdy zobrazené gravitační čočkou

Na velkém levém snímku, který pochází z Hubbleova dalekohledu, je obří kupa galaxií daleko za hvězdami naší Mléčné dráhy v jarním souhvězdí Panny. Kupa je vzdálena 2,2 miliardy světelných roků a posloužila jako gravitační čočka pro zobrazení jedné z prvních galaxií na menších snímcích napravo. Prostřední snímek je z Hubbleova dalekohledu, byl pořízen v blízkém infračerveném záření. Vpravo dole je snímek pořízený Spitzerovým dalekohledem v dalekém infračerveném oboru spektra. Červeně zakroužkovaná je jedna z prvních galaxií s prvými hvězdami. Její vzdálenost je 13,5 miliardy světelných roků. Vznikla na konci temného období Vesmíru, kdy byl Vesmír starý několik set milionů roků.

Světlo z ní k nám letělo třikrát delší dobu, než je stáří naší Země (tj. 4,5 miliard roků). Takových prvních galaxií je obrovské množství, avšak žádný dalekohled dosud tak daleko zatím nedohlédne. Pokud ovšem nebude posílený gravitační čočkou.

Prvé hvězdy (v zakroužkované galaxii) jsou z vodíku a z hélia. V jejich nitru teprve začíná budování těžších prvků. Je to počátek hvězdného období Vesmíru. Po době kosmického temna, které trvalo přibližně 400 milionů roků, se objevily první galaxie s hvězdami. Ve Vesmíru se znovu – po dlouhých 400 milionech roků – objevuje svět-

lo. Tentokrát je to však světlo z termojaderné přeměny vodíku na těžší prvky v nitru hvězd. Připomeňme, že před dobou temna – v zářivém období – byl Vesmír také zaplněn světlem, ale zcela jiného původu: bylo to původní počáteční gama záření, které se rozpínáním Vesmíru za 400 tisíc roků změnilo ve světlo. Dnes ho pozorujeme jako reliktní záření v mikrovlnném oboru.

K prvním galaxiím s hvězdami se podařilo dohlédnout pomocí obrovské gravitační čočky (kupy galaxií v Panně), která je na snímku HST. V něm je čtverečkem (doprava dolů od středu) označeno místo, které snímal Hubbleův dalekohled ve vizuálním oboru (vpravo nahoře), v blízkém infračerveném záření (čtvereček uprostřed) a Spitzerův dalekohled v dalekém infračerveném záření. V pravém dolním čtverečku je červeně označena první pozorovaná galaxie s prvními hvězdami.

Tou dobou, kdy byl Vesmír starý několik set milionů roků, začíná hvězdné období. Je charakterizováno gravitačním formováním hmoty do hvězd a těles, která je provázají. Hvězdné období trvá dodnes a bude ještě trvat dlouho, než zaniknou poslední hvězdy. Velkým rozcupováním nebo Velkým kolapsem?

1.32 Reliktní záření

Reliktním zářením je prosycen celý Vesmír. V 1 cm^3 prostoru je asi 400 fotonů. Snímek ukazuje rozložení hmoty v době, kdy byl Vesmír 400 tisíc roků starý, a reliktní záření se oddělilo od ostatní látky. Světla místa v záření odpovídají místům seskupení hmoty s vyšší teplotou a větší hustotou. Z nich později vznikly supergalaxie, galaxie a dnešní uspořádaný kosmos. Snímek pořídila v mikrovlnném oboru sonda Wilkinson Microwave Anisotropy Probe, kterou většinou známe pod zkratkou WMAP.

Reliktní záření je dlouhovlnné infračervené až decimetrové záření z celé oblohy. Odpovídá teplotě 2,7 K. Je to nejstarší záření vůbec. V době, kdy byl Vesmír starý asi 400 tisíc let (tj. před 13,8 miliardami let), bylo reliktní záření opravdovým světlem. Od té doby se Vesmír rozeplnul desettisíckrát a s ním se protáhla i vlnová délka ze světla na mikrovlnné záření. Maximum vyzařování je na vlnové délce přibližně 1 milimetr. Dále do Vesmíru nemůžeme za pomoci elektromagnetického záření nikdy dohlédnout.

Reliktní záření se oddělilo od látky v období, kdy se ve Vesmíru formovaly atomární obaly, a Vesmír se měnil z plazmatického skupenství na plynné. V plazmatu, kde jsou volné elektrony, je světlo vázáno na látku. Jakmile se utvoří atomární obaly, volné elektrony zmizí a světlo látkou volně prochází. Říkáme, že se oddělilo od látky. Nese ale cenné informace o raném Vesmíru a jeho podobě.

1.33 Průhlednost atmosféry

V grafu je znázorněna opacita neboli neprůhlednost zemské atmosféry. Na vodorovné ose je vlnová délka záření z Vesmíru, na svislé ose je opacita. Zemskou atmosférou projde světlo, které je na grafu symbolizováno barevným pruhem. Druhým oknem do vesmíru jsou rádiové vlny. Proto můžeme z povrchu Země pozorovat Vesmír ve světle a na rádiových vlnách.

Díky průhlednosti zemské atmosféry můžeme poznávat Vesmír z povrchu zemského ve světelném oboru. Také rádiové vlny od milimetrů do 30 metrů procházejí zemskou atmosférou, a proto se radioastronomie stala už v polovině minulého století prvním nesvětelným odvětvím astronomie.

Díky tomu můžeme podrobně studovat Vesmír pomocí velkých světelných i rádiových dalekohledů a různých pomocných přístrojů (jako jsou fotometry, spektrografy, polarimetry, magnetografy aj.). Vesmír však vysílá i jiné druhy záření, které zemská atmosféra pohltí. Proto je třeba pro poznávání Vesmíru v záření gama, rentgenovém, XUV, ultrafialovém, infračerveném, submilimetrovém a milimetrovém, umístit pozorovací přístroje nad zemskou atmosféru.

Raketová technika a další technologie umožnily vznik řady moderních odvětví astronomie, která poznávají Vesmír ve všech spektrálních oborech – od gama záření až po rádiové vlny.

1.34 Různé pohledy na oblohu

Po celou svoji historii lidé viděli oblohu jen ve světle. Ostatní druhy elektromagnetického záření jsou našemu zraku neviditelné a ani atmosféra je k povrchu Země nepropustí. Raketová technika vynesla nad atmosféru družice s přístroji citlivými na různé druhy záření. Odtud jsou zasilány v digitální formě na rádiových vlnách vědcům na Zemi. Tam počítačová technika přetváří neviditelné obrazy na světelné, viditelné naším zrakem. Díváte se na snímky oblohy v různých oborech. Na některých jsou znázorněny bodové zdroje, na jiných plošné.

Představte si, že jsme uprostřed duté průhledné koule. Na její povrch se promítá z obrovské dálky vzdálená obloha. A náš zrak je citlivý pouze na gama záření. Světlý pruh (tj. velká osa elipsy) je Mléčná dráha. Rozstříhneme kouli podél polokružnice („poledníku“) od severního pólu (nejhořejší bod) k jižnímu pólu (nejnižší bod), a to v místě protilehlém středu Mléčné dráhy. Rozložíme rozstřiženou oblohu do rovin – takže rozstřižený poledník je rozložen do levého a pravého obvodu elipsy. Jas

míst odpovídá intenzitě gama záření v onom místě. Stejně jsou uspořádány mapy oblohy v ostatních druzích (pro náš zrak) neviditelných oborů elektromagnetického spektra.

Zdroje k první prezentaci

- 1.1 APOD; apod.nasa.gov/apod/fap/image/0804/
- 1.2 archiv autora
- 1.3 NASA/JPL/UCSD/JSC/raketoplán
- 1.4 NASA/ISS; www.nasa.gov/images/content/591766main_ata_4-7_risks_values_full.jpg
- 1.5 NASA/ISS; www.wikinfo.org/index.php/File:Sunset_from_the_ISS.JPG
- 1.6 archiv autora
- 1.7 archiv autora
- 1.8 archiv autora
- 1.9 APOD/Danilo Pivato; www.danilopivato.com/
- 1.10 US Post Cloudscapes; www.somerikko.net/halos/stamps/USA-1B.jpg
- 1.11 NASA/AURA
- 1.12 <http://www.ing.iac.es/PR/archive/wht/external.html>
- 1.13 Ondřejov/Josef Klepešta, 1923
- 1.14 J. Kleczek, P. Jakeš: Das Weltall und Unsere Erde; Dausien
- 1.15 NASA/Voyager; photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA00453
photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA00451
- 1.16 kometa: apod.nasa.gov/apod/ap001227.html
měsíce Jupiteru: photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA01400
planetka: photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/?IDNumber=PIA00069
planety: www.nasaimages.org
- 1.17 archiv autora
- 1.18 Astrop; astrop.org/blog/wp-content/uploads/2011/10/draconids_map.png
- 1.19 NASA; apod.nasa.gov/apod/ap070409.html, apod.nasa.gov/apod/ap960619.html, earthobservatory.nasa.gov/IOTD/view.php?id=44348, www.noaa.gov/features/monitoring_0209/auroras.html
- 1.20 video NASA/ISS

- 1.21 NASA; apod.nasa.gov/apod/ap010906.html
- 1.22 snímek: www.allthesky.com/constellations/orion/constell.htmlkresba: vintageprintable.com/wordpress/vintage-printable-science-2/various-astronomy-astrology-and-celestial/astronomy-map-orion_constellation-hevelius/mapa: www.stargazingtonight.com/night-sky-guide/constellations/orion/
- 1.23 Velký vůz: www.allthesky.com/constellations/ursamajor/constell.htmlotáčení kolem Polárky: apod.nasa.gov/apod/ap050714.htmlvideo: astronomy.nmsu.edu/pics/images/solsys/NMSkies_Animation2.htm
- 1.24 Země: www.nasaimages.org/ meteor: apod.nasa.gov/apod/ap091015.html, Měsíc: apod.nasa.gov/apod/ap010906.htmlSlunce: sohowww.nascom.nasa.gov/gallery/images/eitplume.htmlAlfa Centauri: apod.nasa.gov/apod/ap030323.html, mlhovina M42: apod.nasa.gov/apod/ap110913.htmlstřed Galaxie: apod.nasa.gov/apod/ap110520.htmlAndromeda: apod.nasa.gov/apod/ap100109.html, HUDF: www.asu.edu/clas/hst/www/nature11/ Rekombinace: map.gsfc.nasa.gov/media/060913/index.html
- 1.25 Axell Mellinger, 2000; www.eso.org/public/images/eso-paranal-33/
- 1.26 panorama: Yuri Beletsky/ESO; www.eso.org/public/images/potw1119a/ celkový pohled: www.eso.org/public/images/eso-paranal-33/
- 1.27 mapa: it.wikipedia.org/wiki/File:Andromeda_charta.pngsnímek: apod.nasa.gov/apod/ap090510.html
- 1.28 NASA/HST/HDF snímek
- 1.29 NASA/ESA/G. Illingworth/Lick Observatory/UCLA/HST/HUDF
- 1.30 NASA/HST/HUDF video
- 1.31 NASA/ESA/L. Bradley/HST/SST
- 1.32 NASA/Wilkinson Microwave Anisotropy Probe
- 1.33 ESA/Hubble/Granato
- 1.34 gama obor: image.gsfc.nasa.gov/docs/features/news/28oct09.html extrémní UV: archive.stsci.edu/euve/allsky/results.html daleký IR: www.ipac.caltech.edu/outreach/Gallery/IRAS/allsky.html mikrovlnný: <http://map.gsfc.nasa.gov/media/060913/> rádiový: uni-koeln.de/~heintzma/EndSt/MultiWSky.htm



2. Země

Země je jedinou planetou, jejíž jméno v češtině je slovanského původu. Její řecké jméno *Gaia* znamená matka. Podle Hesiodose („O původu bohů“, 7. stol. př. n. l.) je Gaia „všeplodná, všeživná, ctihodná, veleslavná matka nejen lidí, ale i bohů“. Gaia sídlila na Olympu a odpradáвна se těšila velké úctě. Byly jí zasvěceny chrámy, oltáře a byla znázorňována, jak se vynořuje ze země s rohem hojnosti, nebo jak krmí své děti, které nade vše milovala.

Gaia je podle Aischyla (upoutaný Prometheus) původkyně veškerého řádu. Ona se z chaosu zrodila a chaos potom přetvořila v uspořádaný kosmos. Dobrotivě dává život všem tvorům, avšak bere je nelítostně zpět do svého lůna. Všichni tvorové z ní zrození v ní skončí. Je zároveň bohyní života i smrti.

Země je z lidského hlediska nejdůležitější planetou vůbec. Ze skupiny čtyř terestrických (Zemi podobných, kamenných) planet je největší. Ve Sluneční soustavě je jedinou planetou, na níž je tekoucí voda a bohatá biosféra. Mnoho základních poznatků o nitru Země, o zemském elipsoidu, o jejím povrchu, o zemské atmosféře a o složitých pohybech (rotace Země, nutace, precese, revoluce) bylo získáno v minulosti z jejího povrchu. Pohled na naši planetu zvenku, z Vesmíru, byl možný, až když ji člověk obletěl v kosmické lodi nebo ji v lodi Apollo opustil a vydal se k Měsíci.

Naše Země patří mezi planety. Je jednou z osmi planet obíhajících kolem Slunce. Astronauti ji nazývají modrá planeta. Z povrchu Měsíce se jim jevila jako krásná modrá koule, na níž jsou patrné hnědavé pevniny. Jurij Gagarin – první člověk, který uviděl Zemi jako planetu, řekl

Vidím Zemi. Je tak krásná.

(Jurij Gagarin, 12. dubna 1961)

2.1 Úvod

Planeta Země je náš vesmírný domov. Na snímku z Apolla 17 je dobře vidět celá Afrika a nahoře Arabský poloostrov. Asie je při východním obzoru. Evropa spolu s naší zemí – Českem – není vidět. Nachází se daleko za horní částí obzoru.

Základní parametry naší Země naleznete v kapitole Tabulky.

2.2 Země z Vesmíru

Země pozorovaná z Vesmíru je vidět jako modrobílá planeta. Její hmotnost je největší ze čtyř křemičitanových neboli skalnatých planet. Nejnápadnější vlastností je trvalá přítomnost vody a života po dobu nejméně 4 miliard roků. Tekutá voda pokrývá dvě třetiny povrchu Země. Na první pohled je také patrná atmosféra v podobě bílých oblaků. Její horní hranice je značně neurčitá, vrcholy polárních září byly pozorovány ve výšce přes tisíc kilometrů.

Nad pevninami a moři se prostírá ovzduší (atmosféra, viz také snímek 1.3). Do výšky patnácti kilometrů je atmosféra neklidná, s proměnlivou teplotou, vlhkostí a tlakem. Tato spodní část atmosféry se nazývá troposféra. Od 20 do 40 kilometrů je ozonosféra, o níž se dnes lidé velmi zajímají. V ozonosféře se vyskytují molekuly ozonu (složené ze tří atomů kyslíku). Ozon má tu vlastnost, že zachytává nebezpečné ultrafialové paprsky ze Slunce. Nad 60 km do značných výšek jsou molekuly plynů ionizovány; to znamená, že z nich jsou vytrhány elektrony. Těto vrstvě se proto říká ionosféra. Plyn v ionosféře dobře vede elektrinu. Proto se od ionosféry odrážejí rádiové vlny. Ionosféra je z tohoto důvodu velmi důležitá pro rozhlas. Ve výškách kolem sta kilometrů občas zazáří meteor. Lidé říkají, že spadla hvězda. Je to však zrnko prachu (*meteoroid*), které létalo kolem Slunce. Rychlostí 20 až 60 kilometrů za sekundu vletělo do atmosféry Země. Ve 100 kilometrech nad Zemí se třením o vzduch zahřeje, rozsvítí a vypaří se. Někdy vletí do atmosféry velký kámen, nebo kus železa. Nestačí při průletu atmosférou shořet a dopadne na povrch Země. Takovému tělesu říkáme *meteorit*. Je možno je vidět v muzeích. Nad 100 kilometrů lze pozorovat polární záře. Je to světélkování velmi řídkého vzduchu. Neonové reklamy jsou vlastně malé polární záře. Svícení polárních září je však způsobeno velkým množstvím elektronů, které Slunce vystřeluje při erupcích. Po erupcích na Slunci lze pozorovat často záři v krajích blízko pólů. Po těch největších erupcích se vyskytnou polární záře i blíže rovníku. Nejvyšší vrstvy atmosféry jsou velice řídké. Ve výškách nad 250 kilometrů létají umělé družice Země a kosmické lodě s posádkou. Nejsou řídkým vzduchem brzděny. Molekuly vzduchu byly zjištěny (například pomocí sond) až ve výškách nad

tisíc kilometrů. A potom výše už je vzduchoprázdno. Prostor za atmosférou se nazývá kosmický prostor. Ten se prostírá bez omezení do makrokosmu. Kolem Země létalo už několik set astronautů. Někteří dokonce mohli vidět Zemi až z Měsíce. I my, díky fotografiím a televizi, víme, jak vypadá naše planeta. Každý den ji můžeme vidět při předpovědi počasí v televizi. To jsou snímky pořízené meteorologickou družicí. Nejkrásnější snímky naší planety však pořídili astronauti lodi Apollo při letu na Měsíc.

Atmosféra Země – viz snímek 1.3.

Terestrické planety je označení pro planety podobné Zemi. Řadíme mezi ně Merkur, Venuši, Zemi a Mars. Obíhají nejbližze Slunci a rotují poměrně pomalu. Mají pevný povrch složený z hornin (především z různých křemičitanů) jako Země (latinsky *terra* = země, půda). Terestrické planety mají celkově menší hmotnost a značně menší objem než obří planety, ale jejich průměrná hustota je výrazně větší. V porovnání s obřími planetami jsou obaleny poměrně tenkou atmosférou malé hmotnosti. Merkur má zcela zanedbatelnou atmosféru. Atmosféra terestrických planet je druhotná, vznikla odplyněním nitra tělesa. Základní parametry terestrických planet naleznete v kapitole Tabulky.

2.3 Země – náš kosmický domov

Země je naším kosmickým domovem. Žije nás na ní 7 miliard. Podívejte se, jak vypadá Země z různých koutů Sluneční soustavy. Ze Saturnu bychom Zemi spatřili jen jako drobný nevýrazný kotouček. Na snímku pořízeném z blízkosti Marsu vidíme modrý srpek Země spolu se stříbrným srpkem Měsíce. Snímek zemského srpku vycházejícího za měsíčním obzorem se v 70. letech 20. století stal symbolem doby Vesmíru člověkem.

Hmotnost Země (M_Z) je rovna $5,9736 \times 10^{24}$ kg. Užívá se jako jednotka pro hmotnost ostatních planet. Lze ji vypočítat z gravitačního zrychlení g , které je podle gravitačního zákona závislé na hmotnosti Země M_Z a jejím poloměru R_Z .

Poloměr Země (R_Z) je vzhledem k zploštění Země jiný na rovníku a jiný při měření v polárním směru. Rovníkový poloměr (6 378 km) je větší než polární poloměr (6 356 km). Běžně se užívá střední poloměr (6 371 km).

Zemský elipsoid je označení, které se v poslední době užívá pro globální geocentrický elipsoid, vystihující tvar Země. Jeho přesné určení bylo možné až s využitím metod kosmické geodézie, založených na pozorování z umělých družic, z Měsíce a ze vzdálených vesmírných objektů. Postupně bylo určeno několik, navzájem již málo odlišných elipsoidů, které byly základem světových geodetických systémů (WGS – *World Geodetic System*), označovaných letopočtem svého vzniku: WGS-60,

WGS-66, WGS-72 a nyní používaný WGS-84. Tento referenční elipsoid má hlavní poloosu $a = 6\,378\,137$ m, vedlejší poloosu $b = 6\,356\,752,314\,25$ m, zploštění $1/298,257\,223\,563$, aritmetický průměr poloos je $6\,367\,444,65712$ m a čtvrtina délky poledníku činí $10\,001\,965,729\,31$ m. Systém a elipsoid WGS-84 patří mezi závazné referenční systémy pro zeměměřické činnosti v České republice. Velmi blízký elipsoidu WGS-84 je i mezinárodně přijatý elipsoid geodetického referenčního systému GRS-80 (*Geodetic Reference System*).

Teplota Země (povrchová). Průměrná teplota veškerého zemského povrchu se měří v kelvinech. Měření se provádí na mnoha meteorologických stanicích, na letadlech, balonech a družicích. Je pravidelně uveřejňována na internetu. Průměrná teplota Země je kolem 290 K, tedy asi 17 °C. Infračervené záření vyzařované Zemí do kosmického prostoru má maximum kolem 10 μm . Země je ve skutečnosti transformátorem slunečního světla (o teplotě 6000 K), které má maximum toku záření u vlnové délky 0,5 μm . Mění je na infračervené záření o teplotě kolem 300 K, tedy přibližně 20× menší. Proto je (podle Wienova posunovacího zákona) vlnová délka maximálního toku záření Země 20× delší (10 μm). To je obrovská degradace energie, při níž entropie vzroste 20×.

2.4 Země – naše kosmická loď

Země se spolu s námi pohybuje Vesmírem. Kolem Slunce letíme průměrnou rychlostí 30 km s⁻¹. Spolu se Sluncem navíc kroužíme kolem středu naší Galaxie rychlostí přibližně 230 km s⁻¹ ve vzdálenosti zhruba 26 000 světelných roků. Pokud by se na nás díval jiný vesmírný cestovatel, uviděl by Zemi z různých vzdáleností různě velikou.

Kde končí Země a začíná kosmos? Všimněme si samotné otázky. Z hlediska astronomického to není otázka správná, protože Země je pouze částí Vesmíru a nemá v něm žádné privilegované postavení. Není přece mimo Vesmír – je jen jednou z mnoha miliard planet obíhajících kolem hvězd naší Galaxie. Rozlišení na Zemi a Vesmír je pozůstatek geocentrického názoru, který přisuzoval Zemi privilegované postavení. Uchovalo se z dob starověku a středověku až do doby kosmických letů. Toto privilegované oddělování Země od Vesmíru vyjadřuje například věta „Astronauti letí do Vesmíru (do kosmu) a po delším pobytu ve Vesmíru (v kosmu) se rádi vracejí na Zem.

Privilegovaností Země je skutečnost, že je nositelkou života a domovem života inteligentních bytostí. Není však žádný důvod, proč by život nebyl na některé z miliard planet v naší Galaxii. Rozlišení mezi „pozemský“ a „kosmický“ je třeba chápat jako rozdíl mezi „domácí“ a „venkovní“.

Kde je *rozhraní* mezi prostorem pozemským a prostorem kosmickým? Jinak řečeno – rozhraní mezi Zemí a Vesmírem? Kde končí svrchovanost státu a začíná kosmický prostor, který není vlastnictvím žádného státu a nepatří nikomu (nebo všem)? V atmosféře není žádný strop, který by určil co je pod (tj. prostor patřící k Zemi) a co je nad tím stropem (tj. kosmický prostor). Není žádné přirozené rozhraní mezi prostorem zemským a kosmickým, obrazně mezi „doma – na Zemi“ a „venku – ve Vesmíru“. A při tom bylo nutno se na nějakém rozhraní z praktických důvodů domluvit.

Právníci se po dlouhých rokováních v OSN dohodli, že *kosmický prostor* začíná už 100 kilometrů nad povrchem Země a prostírá se bez omezení výše. To znamená, že až do výšky 100 kilometrů je atmosféra vlastnictvím států a pro přelet státu balonem nebo letadlem je proto nutné jeho povolení. Jinak řečeno, až do výšky 100 kilometrů sahá *svrchovanost státu*. Výše, nad sto kilometrů, už je prostor mezinárodní, kosmický, který nikomu nepatří a kam svrchovanost států nesahá. V této výšce je tedy podle právních dohod křehká hranice mezi světem pozemským a kosmem.

Takže kosmická loď pro přelet států ve výšce 400 až 600 km, tedy v kosmickém prostoru, o žádné povolení nežádá. Ta stanovená hraniční výška 100 km (tzv. Kármánova hranice) má i své zdůvodnění v přírodě. Přibližně v této výšce se zažehávají meteory, kolem této výšky mají obvykle polární záře svou spodní mez a astronauti pociťují při návratu na Zem v těchto výškách jakýsi druh „drncání“ způsobený přítomností atmosféry.

2.5 Země – kde se nacházíme ve Vesmíru?

Země je jedna z osmi planet Sluneční soustavy. V pravé horní části se díváme na vnitřní část Sluneční soustavy. V těžišti Sluneční soustavy je hvězda Slunce. Kolem Slunce jsou zakresleny dráhy planet od Merkuru až po Saturn. Vlevo dole je Jupiter a v pravém dolním rohu Saturn. Mezi dráhou Jupiteru a Marsu je pás mnoha malých těles – tzv. planetek. Vyznačena je také dráha Halleyovy komety. Má protáhlou eliptickou dráhu a ohon směřující od Slunce. Světlý pás v levém spodním rohu je okrajem Mléčné dráhy.

V centru Sluneční soustavy se nachází Slunce. V jeho nitru se z hmotnosti protonů (přesněji řečeno z jejich klidové energie, která činí 938 MeV) uvolňuje energie. Z každého protonu lze získat 7 MeV. Celý milion roků trvá, než se uvolněná energie dostane ze středové oblasti k viditelnému povrchu Slunce. Odtud za osm minut doletne ve formě fotonů na naši planetu. Tam je zdrojem energie pro biosféru. Biosféra prostřednictvím fotosyntézy dostává 90 TW (předpona *tera* neboli T značí trilion, číslo s osmnácti nulami). Dospělý člověk z tohoto výkonu dostává asi 150 W, což odpovídá energii 12 MJ (3 tisíce velkých kalorií) přijaté za jeden den.

Nejvzdálenější planeta Neptun je od Slunce vzdálená 4,5 miliardy kilometrů, tedy 30× dále než Země. Sluneční soustava spolu se Sluncem krouží kolem středu Galaxie ve vzdálenosti 26 000 světelných roků. Naše Galaxie je součástí Místní skupiny galaxií, ta je součástí Místní kupy galaxií a ta patří do Místní nadkupy galaxií.

2.6 Země v dějinách Vesmíru

Země – naše planeta – vznikla před 4,5 miliardou roků. Vytvořila ji gravitace v protoplanetárním disku z plynu a prachu, který kroužil kolem mladého Slunce. Protoplanetární disk neboli proplyd byl pozůstatek z velké globule po vytvoření Slunce. Asi jednoprocenní zbytek původní globule rotoval na periferii příliš rychle na to, aby mohl být vtažen gravitací do rodícího se Slunce. Z proplydu před čtyřmi a půl miliardou roků vznikla planetární soustava – planety, měsíce, planetky, komety – a tedy i Země. Vše bylo připraveno pro přijetí života: jako chráněný teplý domov posloužila kamenná planeta Země a jako zdroj energie Slunce.

Vesmír vzniknul před 13,8 miliardami roků obrovskou explozí – Velkým třeskem. V ní vznikl čas, prostor a energie. Zůstává tajemstvím, co spustilo tuto nesmírnou explozi, jejíž rozpínání pokračuje dosud. Od „kosmického středověku“ je temnou energií (skrytou energií, „antigravitací“) rychlost rozpínání urychlována.

Zářivé období Vesmíru je éra, při níž ve Vesmíru dominovalo elektromagnetické záření. Trvala od počátku do 400 000 roků. Počáteční gama záření se s rozpínáním a chladnutím Vesmíru (až na 6 tisíc kelvinů) postupně měnilo ve světlo. Toto období končí s tzv. *kosmologickou rekombinací*. Volné elektrony se spojily s atomovými jádry a vytvořily úplné atomy vodíku, hélia a malé množství lithia a berylia. Vesmír bez volných elektronů („mlhy Vesmíru“) je pro elektromagnetické záření průhledný. Záření z období kosmologické rekombinace dodnes bloudí Vesmírem v podobě nejstaršího – reliktního – záření.

Temné období je éra Vesmíru od 400 tisíc do přibližně 400 milionů roků. Vesmír je složen z neutrálních atomů a nezáří. Toto období ukončil vznik prvních hvězd, jejichž pronikavý svět opět ionizoval plyn ve Vesmíru.

Hvězdné období započalo několik set milionů roků po Velkém třesku. Z měření sondy WMAP vychází 400 milionů roků, ale někteří autoři kladou vznik prvních hvězd do ještě mladšího vesmírného období. První hvězdy byly obrovské a žily jen několik desítek, maximálně stovek milionů roků.

Období zrychlené expanze započalo někdy v polovině existence Vesmíru, tedy přibližně před 7 miliardami let. Původ zrychlené expanze je zatím nejasný.

2.7 Zrození sluneční rodiny

Země spolu s ostatními planetami a Sluncem vznikala před 4,5 až 5 miliardami let. Zárodkem Slunce byl obrovský chladný oblak v prostoru mezi hvězdami. Nazýváme ho globule. Vývoj od globule k dospělému Slunci trval asi deset milionů roků. V té době se globule smršťovala vlastní gravitací a zahřívala se. Její objem se rychle zmenšoval. Takovou smršťující se a zahřívající se globuli nazýváme Protoslunce. Přeměňuje gravitační energii na zahřátí a záření. Když teplota v jádru dosáhla přes 7 milionů kelvinů, na uvolňování energie se začala postupně podílet jaderná síla, která nahradila gravitaci. Zdrojem energie se stalo slučování vodíku na hélium. Protoslunce se v té chvíli stalo Sluncem. V Galaxii se zrodila nová hvězda.

Do Protoslunce ve středu globule se nahustila velká většina jejích plynů. Jen malý zbytek obíhal kolem Protoslunce ve tvaru plochého *planetárního disku* (čili *proplydu*). Od Protoslunce dul velmi silný vítr (protosluneční vítr), který z vnitřní části disku vymetl všechny lehké plyny (především vodík a hélium). Zbyla tam jen pevná zrnka a částice, z nichž se později *stmeléním* (*akrecí*) vytvořily *skalnaté planety* (Merkur, Venuše, Země a Mars). *Akrecí* rozumíme nakupení a stmelení prachu a plynu v protoplanetárním disku. Vzdálené části planetárního disku byly naopak obohaceny o lehké plyny vyváté z jeho vnitřní oblasti. Tam vznikly *obří plynné planety* (Jupiter, Saturn, Uran a Neptun).

Novorozené Slunce se už nezmenšovalo. Jeho vlastní gravitace se stala pro uvolňování energie ve Slunci nepotřebnou. Začínala však působit v disku z prachu a plynů, který se otáčel kolem nově zrozeného Slunce. A to vše bylo obklopeno obrovským oblakem komet. Oblak byl obrovský jak prostorově (asi 2 až 3 světelné roky), tak co do počtu jedinců – špinavých ledovců. Jejich počet se odhaduje na stamiliony až biliony. Celková hmotnost všech těchto kometárních jader byla ale srovnatelná s hmotností naší Země. S celým svým početným doprovodem poslušných poddaných obíhalo Slunce kolem středu Galaxie. Ve vzdálenosti 30 tisíc světelných roků letí dodnes rychlostí 230 kilometrů za sekundu ve směru, kde je souhvězdí Labutě. Kolem středu Galaxie oběhne jednou za 200 milionů let. Toto období nazýváme *galaktický rok*.

2.8 Vznik planet z protoplanetárního disku

Členové Sluneční soustavy vznikli z protoplanetárního disku. Od rodičího se Slunce tryskají podél rotační osy proudy, které zahřívají plyny nad a pod diskem. Zahřátím se spojí kyslík s vodíkem ve vodu – jako při školním pokusu, kdy jsme ve zkumavce jiskrou zapálili směs vodíku s kyslíkem, a výsledkem bylo několik kapek vody na stěnách zkumavky. Podobně vzniká ve velkém měřítku voda ve Vesmíru u rodičích se hvězd.

Podstatně účinnější v tvorbě vody byly kvazary (lépe řečeno obří černá díra v jejich středu). Množství vytvořené vody v jejich okolním prostoru může být mnoho bilionkrát větší, než je objem veškeré vody v pozemských oceánech. Celý proces od globule až po vznik planet v protoplanetárním disku trvá statisíce až desítky milionů roků. Rychlost, s jakou se hvězda z globule rodí, silně závisí na její hmotnosti.

2.9 Vývoj Země

Díváte se na základní etapy vývoje života na Zemi. Ta se formovala přibližně před 4,5 miliardami let. Před čtyřmi miliardami let skončilo pozdní těžké bombardování meteoroidy a objevily se první jednoduché životní formy. Před dvěma miliardami let přeměnil bující život atmosféru natolik, že se v ní objevil nezanedbatelný podíl kyslíku. První obratlovci se vyvinuli před 380 miliony let. Poslední dinosauři vyhybnuli před 65 miliony let. A před dvěma miliony let se na Zemi objevil člověk.

Geologie (z řeckých slov *geos* = země, *logos* = myšlenka) je vědou zabývající se Zemí jako celkem. Studuje její vznik, složení, strukturu a vývoj (včetně vývoje organismů = paleontologie). Zabývá se i těmi geologickými pochody, které Zemí dotvářejí v současné době. Geologie v širším smyslu zahrnuje řadu dílčích disciplín, jako jsou: (a) mineralogie, petrografie a geochemie, zabývající se složením Země; (b) všeobecná (fyzikální) geologie, která spolu s geomorfologií zkoumá pochody utvářející Zemí (například vulkanologie, sedimentologie ap.); (c) strukturní geologie a geofyzika, studující především stavbu zemského tělesa; (d) stratigrafická a historická geologie (spolu s paleogeografií), jejichž náplní, spolu s paleontologií, je rekonstrukce vývoje Země a života na ní; (e) aplikovaná geologie zahrnující inženýrskou geologii, hydrogeologii, ložiskovou geologii, pedologii ap., jejíž náplní jsou výzkum základových půd, zdrojů pitné a užitkové vody, vyhledávání ložisek nerostných surovin, studium půd ap. V dnešní době se poznatky geologických věd a jejich metody výzkumu používají při studiu kosmických těles a představují nepostradatelnou pomůcku pro planetologii (kosmogeologii, kosmochemii ap.).

2.10 Otáčení Země I

Otáčení Země se nám v noci jeví jako otáčení oblohy kolem pólů. Na levém snímku z jižní polokoule leží jižní pól ve vrcholu rovnostranného trojúhelníku, jehož vrcholy tvoří Velký Magellanův oblak, Malý Magellanův oblak a jižní pól. Z druhé strany kopule se v Mléčné dráze nachází Jižní kříž. Jeho dlouhé břevno prodloužené přes celou kopuli také určí jižní pól. Pravý snímek vznikl při dlouhé expozici otáčející se oblohy na severní polokouli. V blízkosti severního světového pólu je hvězda Polárka.

Velký Magellanův oblak (LMC, *Large Magellanic Cloud*) se nazývá nepravidelná galaxie, která je průvodcem naší Galaxie. Je to bližší a větší z obou Magellanových oblaků. Průměr Velkého Magellanova oblaku je 20 000 světelných roků, obsahuje deset miliard hvězd a je od nás vzdálen 170 000 světelných roků. Velký Magellanův oblak je velmi jasným rentgenovým zdrojem. Vysílá desettisíckrát více rentgenového záření než naše Slunce ve světelném oboru.

Velký Magellanův oblak objevili a popsali (současně s Malým Magellanovým oblakem) účastníci Magellanovy výpravy v roce 1519. Oba oblaky byly nazvány podle velitele výpravy Fernanda Magellana. Patří k nádherné podívané na jižní obloze.

Malý Magellanův oblak (SMC, *Small Magellanic Cloud*) je nepravidelná galaxie na jižní obloze dobře viditelná pouhým okem, nicméně u nás je stále pod obzorem. Je vzdálena 230 000 světelných roků, měří 20 000 světelných roků a obsahuje dvě miliardy hvězd. Je průvodcem naší Galaxie, která ho ve vzdálené budoucnosti pohltí (tzv. galaktický kanibalismus).

Pomocí obou Magellanových oblaků lze snadno najít jižní světový pól. Tvoří s oběma oblaky třetí vrchol rovnostranného trojúhelníku.

Polárka – viz snímek 1.23.

2.11 Otáčení oblohy

Rotace Země se v noci projeví jako zdánlivý pohyb oblohy. Tyto záběry byly pořízeny na Evropské jižní observatoři v chilské poušti Atacama. Po setmění je dobře patrný stříbřitý pás Mléčné dráhy a Velký a Malý Magellanův oblak. V popředí se otáčejí dvě ze čtyř kopulí Velmi velkého dalekohledu. Jeho zrcadla mají průměr přes 8 metrů a donedávna šlo o největší celistvá zrcadla na světě.

VLT (Very Large Telescope) – viz snímek 1.26.

2.12 Otáčení Země II

Otáčení Země kolem osy se nám ve dne jeví jako pohyb Slunce po obloze od východu k západu. V noci se nám otáčení Země jeví jako oběh hvězd kolem pólu. Slunce se ale na obloze nepohybuje stejně rychle jako hvězdy. Vzhledem ke hvězdám se za den Slunce posune jen o svůj průměr, a to od západu k východu. Tento pohyb je způsoben oběhem Země kolem Slunce.

Viz snímek 1.9.

2.13 Země nad měsíční krajinou (Apollo 8)

Východ Země nad měsíční krajinou byl vyfotografován z oběžné dráhy Apolla 8 kolem Měsíce. První lidé sem doletěli na Štědrý večer dne 24. prosince 1968.

Apollo je program kosmických misí USA k Měsíci, který vyvrcholil přistáním člověka na Měsíci (Apollo 11, 20. července 1969). Stručný přehled šesti letů, které dopravily 12 astronautů na povrch Měsíce, naleznete v kapitole Tabulky.

Kosmická loď Apollo sestávala ze tří částí: velitelského modulu, služebního modulu a měsíčního modulu. Posádku tvořili tři astronauti. Po dosažení oběžné dráhy kolem Měsíce se měsíční modul se dvěma astronauty od lodi odpoutal a přistál na povrchu Měsíce. Astronauti sbírali vzorky hornin, pořizovali snímky a rozmísťovali výzkumné přístroje. Měsíční modul sestával ze dvou stupňů: spodního přistávacího a horního vzletového. Po splnění úkolů se oba astronauti vrátili ve vzletovém stupni zpět na oběžnou dráhu. Tam se spojili s velitelským modulem a vrátili se k Zemi.

Základní výsledky programu Apollo: Země a Měsíc vznikly z téhož materiálu. To dosvědčuje stejné zastoupení izotopů kyslíku v horninách Země i vzorků, které přineslo Apollo z Měsíce. Pravděpodobně vznikl aglomerací materiálu, který byl vyražen ze Země v době, kdy už proběhla její diferenciace.

Stáří měsíčních hornin je větší než hornin zemských. Nejmladší jsou v některých mořích (3,2 miliardy let) a nejstarší v pevninách (4,6 miliard let). Nejstarší pozemské horniny nalezené v Grónsku jsou staré 3,9 miliard let. Doba před tím („temný dávnověk Země“) je geologům nepřístupná, neboť pevná kůra zemská z tehdejší doby se už dávno ponořila do žhavého nitra Země a roztavila se. O tom, co se odehrávalo v planetární soustavě v tomto období, podávají svědectví měsíční pevniny. Ty jsou hustě pokryty miliony kráterů – od mikroskopických až po velikost Čech. Vzorky přinesené z Měsíce dovolují určit jejich absolutní stáří. Obdobné rozložení kráterů na Merkuru, Venuši a Marsu umožnilo přenést absolutní časovou škálu geologického vývoje Měsíce i na tyto členy Sluneční soustavy.

Povrch Měsíce je pokryt vrstvou prachu a úlomků hornin – tzv. *regolitem*. Korpuskulární sluneční záření zanechalo v povrchových horninách a minerálech některé chemické prvky a radioaktivní izotopy. V měsíčních kamenech je tak zapsán vývoj Slunce (přesněji řečeno slunečního korpuskulárního záření, a tím i sluneční činnosti). Tak dlouhodobé záznamy o Slunci nejsou nikde jinde dostupné.

Měsíc je bez života. Nebyly na něm ani ve vzorcích přinesených na Zem nalezeny žádné živé organizmy ani zkameněliny, ba ani žádné organické látky.

2.14 Nitro Země

Nitro Země je složeno ze dvou hlavních částí – tekutého jádra a skalnatého obalu. Jádro je složeno z těžších prvků – především železa. Uvnitř tekutého jádra je pevné jádérko. Vnější jádro je tekuté a energie jeho pohybů se mění za pomoci efektu tekutinového dynama na elektrické proudy. Magnetická pole vyvolaných elektrických proudů tvoří magnetosféru Země. Skalnatý obal jádra z křemičitanových minerálů je složený z pláště a kůry.

Země je složena z několika vrstev lišících se hustotou, teplotou, skupenstvím, chemickým složením a množstvím látky v nich obsažené.

VRSTVA	HMOTNOST (10^{24} kg)
atmosféra	0,0000051
hydrosféra	0,0014
kůra	0,026
plášť	4,043
vnější jádro	1,835
jádérko	0,09675

Většina hmoty Země je soustředěna ve žhavotekutém (plastickém) plášti, většina zbývajících hmoty Země je v roztaveném vnějším jádru. O nitru Země získávají geofyzikové a geologové poznatky především pomocí seizmických vln. Zhruba lze zemské těleso rozdělit na tři soustředné vrstvy: kůru, plášť a jádro.

2.15 Pohyby tektonických desek

Okraje desek zemské kůry jsou označeny červeně. Odborně se jim říká tektonické desky. Desky se velmi pomalu posouvají jako důsledek stoupavého proudění ve žhavém nitru. V místech setkání se jedna deska podsouvá pod jinou. Tento jev nazýváme subdukce. Deska se ponořuje do žhavého nitra a v něm se rozpustí v tekuté horké magma. Například dno Tichého oceánu na východě se podsouvá pod desku Jižní Ameriky. V oblasti styku dochází často k sopečné činnosti, zemětřesení a k vrásnění horější desky. Tak se vytvořily Andy. V místě setkání Indické desky s Euroasijskou vznikly vrásněním Himaláje. V této oblasti dochází k častým zemětřesením.

Subdukce je jev, při kterém dochází k podsouvání litosférických (tektonických) desek. Posuv litosférických desek je provázen dvěma jevy: (1) u desek, které se od sebe vzdalují, narůstají okraje výlevem lávy a vznikem nové oceánské kůry. K tomu dochá-

zí například v Atlantském oceánu; (2) naopak tam, kde se dvě desky střetávají, těžká (oceánská) deska se zabojuje (podsouvá) do astenosféry pod lehčí pevninskou desku. Subdukce je provázána sopečnou činností, zemětřeseními a vrásněním. Příkladem je pobřeží Jižní a Střední Ameriky, pod něž se podsouvá deska („Nazca“) na dně Tichého oceánu. Jiným příkladem je podsouvání Pacifické desky pod Americkou desku. Tlak obou oceánských ponořujících se desek zvrásnil obě pevninské desky a vytvořil podél subdukční zóny Andy a Skalisté hory.

Astenosféra (z řečtiny, „vrstva bez pevnosti“) je oslabená, plastická vrstva (slupka) svrchního pláště Země pod litosférou. V astenosféře dochází ke snížení rychlosti seismických vln (tzv. Gutenbergův kanál snížených rychlostí) a může v ní vznikat magma. Svrchní hranice astenosféry leží zpravidla v hloubce 100 km pod zemským povrchem (hranice se obvykle konvenčně klade do izotermie +1 350 °C). Po povrchu astenosféry kloužou litosférické desky.

2.16 Pohledy na naši planetu

Díváme se na naši otáčející se planetu Zemi. Ze všech úhlů pohledu je patrné, že na povrchu převažuje voda. Kontinenty jsou obklopeny čtyřmi rozsáhlými oceány: Atlantickým, Tichým neboli Pacifikem, Indickým a Severním neboli Arktickým. Kdyby byla všechna voda rovnoměrně rozložena po povrchu Země, tvořila by vrstvu tlustou 3 km.

Tekutá voda pokrývá dvě třetiny povrchu Země. Je také v atmosféře, odkud padá na zbývající třetinu povrchu. Stéká zpět do „vodních dvou třetin“ a proniká kůrou planety do jejího pláště. Voda umožnila vznik života a jeho uchování: mnoha milionů živých organismů, z nichž každý obsahuje specifickou molekulu DNA. Země je svým životem jedinečná ve Sluneční soustavě. Voda utváří povrch Země spolu s magmatickou a tektonickou činností. Žádné těleso ve Sluneční soustavě nevytvořilo tak rozmanité útvary jako Země. Počáteční utváření povrchu všech čtyř křemičitanových planet bylo stejné, avšak pozdější vývoj Země pokročil mnohem dále.

2.17 Voda – obdivuhodná látka, bez níž by život nebyl možný

Při vzniku Slunce se v okolní mlhovině vodík sloučil s kyslíkem a vznikla voda. Voda na Zemi je tedy 5 miliard roků stará, starší o půl miliardy roků než samotná Země. Na snímku vidíte kapku vody, v níž se nám zobrazuje okolní svět. Připomíná naši mysl. Kapka je složena z mnoha trilionů molekul, které se k sobě poutají elektrickou silou zvanou vodíková vazba. Vodíkovou vazbu mezi molekulami vody si lze představit jako skupinu parašutistů na obrázku. Nohy parašutisty jsou sdílené elektrony. Červené ruce

odpovídají kladným vodíkům, ochuzeným o elektrony. Vpravo jsou odpovídající molekuly – velké záporné atomy kyslíku a malé kladné atomy vodíku.

Molekula vody je nejmenší částčkou vody vůbec. 10 milionů molekul seřazených do řady by měřilo 2 milimetry. Přes svoji titěrnost je molekula vody důmyslný složitý systém vybudovaný z kvarků a elektronů. Každý z obou atomů vodíku se podílí o jeden elektron s atomem kyslíku. Proto má atom kyslíku v molekule vody náboj záporný, kdežto oba atomy vodíku jsou kladné.

Díky „chamtivosti“ kyslíku po elektronech (aby si mohl zaplnit elektronový obal) je vytvořena dipólová molekula vody – se všemi důsledky. Například teplota tání je 0 °C, zatímco podobné symetrické molekuly (například CO₂) mají teplotu tání mnohem nižší (kolem –60 °C). Molekula vody je vskutku obdivuhodný systém účelně složený z 54 kvarků a 10 elektronů. Proton je složen ze dvou kvarků „u“ a jednoho kvarku „d“. Neutron je z jednoho kvarku „u“ a ze dvou kvarků „d“.

Voda existuje na Zemi ve třech skupenstvích: pevném (led a sníh), kapalném (hydrosféra a kapky v oblacích) a plynném (molekuly ve vzduchu). Díky tomu, že se teplota na Zemi udržovala v mezích 20 ± 5 °C, mohl se vyvinout a udržet život. Voda je pro biosféru naprosto nepostradatelná.

2.18 Energie Země

Veškerá energie naší planety Země pochází z Velkého třesku a je tedy 13,8 miliard roků stará. To můžeme tvrdit, neboť „zákon zachování energie“ je jedním ze základních zákonů, jimiž se řídí všechno dění ve Vesmíru. Během historie Vesmíru prodělávala původní energie nejrůznější proměny. Ty formy energie, které vlastní naše planeta, mají dvojí původ. Jednak jde o energii poděděnou z nejranějších období Vesmíru a jednak o energii sluneční, kterou je naše planeta zásobena už od svého vzniku.

1. Energie poděděná z nejranějšího období Vesmíru. Tehdy, v prvních sekundách po vzniku Vesmíru před 13,8 miliardami roků, bylo stejně neutronů, protonů a elektronů, tj. základních „kamenů“ pro budování Vesmíru. V prvních několika minutách rozpínání Vesmíru se neutrony rozpadaly na protony a elektrony. Avšak před rozpadem se některé neutrony (n) stačily spojit s některými protony (p) a vytvořily deuterony D – jádra těžkého vodíku. Ta se dochovala v těžké vodě (oxidu deuteria) D₂O a polotěžké vodě HDO dodnes. Na šest tisíc protonů v pozemské vodě připadá jeden deutron. V oceánech jsou proto obrovské zásoby deuteria – paliva pro termojaderné reaktory (fúzní reaktory). Skupina států buduje v jižní Francii dosud největší termojaderný reaktor ITER.

Energie poděděná po mateřské supernově, která vybuchla před sedmi miliardami roků a v žáru 200 miliard kelvinů vytvořila nejen biogenní prvky pro život na Zemi, ale i všechny *prvky radioaktivní*. Právě z jejich poměru (například U235/U238) lze určit dobu, kdy obří mateřská hvězda naší Sluneční soustavy vybuchla.

Energie poděděná z oběhu protoplanetárního disku, z něhož vznikla planetární soustava v době před 4,5 miliardami roků. Z oběhu disku kolem zrozeného Slunce se uchoval oběh planet kolem Slunce, tedy i Země. Ta obíhá rychlostí 30 kilometrů za sekundu. Její kinetická energie se využívá (tzv. prakovým jevem) k urychlení kosmických sond. Pro sondy do vzdálených oblastí Sluneční soustavy by totiž bylo třeba obrovské množství paliva pro rakety.

Energie poděděná z turbulentních vírů v protoplanetárním disku se zachovala v rotaci planet a tedy i naší Země. Tato kinetická energie se využívá při odpalování raket (vypouštějí se ve směru rotace Země, tj. k východu a pokud možno v nízkých zeměpisných šířkách. Na rovníku jsou místa unášena rotací půl kilometru za sekundu. (Rovník je přibližně 40 tisíc kilometrů dlouhý a den má přibližně 80 tisíc sekund).

2. Energie sluneční. Na Zemi dopadá se slunečním zářením za každou sekundu energie 180 000 TJ, tedy výkon 180 000 TW. Tuto energii dostává Země už od svého vzniku před 4,5 miliardami roků a bude dostávat ještě dalších sedm miliard roků. Pro srovnání uveďme údaje o spotřebě všech národů lidstva na všechnu činnost: podle OSN jde o 14 TW. Jak jen mohou někteří tzv. „energetici“ tvrdit, že lidstvo má nedostatek energie? Trestuhodná ignorance.

Energie sluneční fosilní byla uložena fotosyntézou před desítkami milionů roků do země a na mořské dno. Tam se „zašpinila“ a dnes je pro lidstvo ve formě fosilních paliv (uhlí, ropa, zemní plyn) hlavním zdrojem energie. Drahým a znečišťujícím atmosféru a vodstvo (vzpomeňte si na katastrofu v Mexickém zálivu). Kolik nevinných životů bylo kvůli ní zabito, nejen lidských.

Energie sluneční přímá, která opustila povrch Slunce jako záření před osmi minutami. Už je mnoho zařízení, která mění zářivou energii Slunce na a) chemickou formu, b) teplo, c) elektřinu či d) mechanickou energii.

Energie sluneční uložená do tepla Země, moří, atmosféry (bez ní by Země měla mínus 260 °C), do větru, cirkulace atmosféry, mořských vln, říčních toků, biomasy...



Není jiné východisko, než si všimnout a přijmout nesmírně štědrý dar čisté, hojné, prakticky věčné sluneční energie. Jen tak můžeme uchovat Zemi – náš kosmický domov – pro další generace čistou a nepředat jim jedovaté smetiště. To je povinnost svědomitých energetiků. Jen tak skončí války o ropu a hrůzná nespravedlnost v lidské společnosti.

2.19 Energie budoucnosti

Sluneční záření je mohutný proud fotonů – kmitajících chomáček energie. Čím rychleji kmitají, tím větší energii mají. Světelné fotony, které vnímá sítnice, unášejí energii 2 až 4 eV. Červené fotony mají 2 eV a fialové fotony 4 eV. Tyto fotony k nám z povrchu Slunce doletí za 8 minut. Jejich rychlost je $300\,000\text{ km s}^{-1}$. Na naši Zemi dopadá vně atmosféry $1,4\text{ kJ na }1\text{ m}^2$ za každou sekundu, tedy výkon $1,4\text{ kW na }1\text{ m}^2$. Na celou Zemi to je $180\,000\text{ TW}$. Přitom lidstvo spotřebuje dohromady pouze 14 TW .

Všechny fotony seřazené podle energetického obsahu (čili vlnové délky) tvoří spojitý barevný pás nazývaný spektrum. Temné čáry ve spektru byly vytvořeny ve fotosféře Slunce pohlcením různými prvky.

Sluneční záření zahřívá Zemi (z $-260\text{ }^{\circ}\text{C}$ na $+18\text{ }^{\circ}\text{C}$), rozdmychává větry, udržuje koloběh vody, dodává biosféře 90 TW a udržuje její život, osvětluje její polovinu a umožňuje vidění. Dávná sluneční energie uskladněná (a pošpiněná) ve fosilních palivech podstatně zvýšila životní úroveň většiny lidstva. Přišla však doba, abychom užívali současnou čistou sluneční energii – přímou nebo přeměněnou.

Země a sluneční energie – viz také snímky 4.27 a 4.29.

2.20 Slunce a Země

Porovnejte velikost Slunce, ze kterého vidíte jen výšeč, a naší planety Země, která je v odpovídajícím měřítku jen drobnou modrou kuličkou v pravé části obrázku. Oblak nad povrchem Slunce je eruptivní protuberance. Jde o miliony tun žhavých plynů nadnášených magnetickými siločarami proti mohutné přitažlivosti Slunce. Zdrojem energie Slunce jsou termojaderné reakce probíhající hluboko v jeho nitru. Při nich se slučují jádra vodíku na jádra hélia.

Snímek Slunce pochází z družice SOHO a byl vyfotografován v čáře ionizovaného hélia (na vlnové délce 304 Å , tj. $30,4\text{ nm}$). Hélium je po vodíku nejhojnější prvek na Slunci a ve Vesmíru vůbec. Z velké části je to hélium původní, to je z dob prvních

minut Velkého třesku. Z menší části byly heliové atomy vytvořeny později ve hvězdách složením (fúzí) vodíkových atomů. Ve středových oblastech Slunce (tj. v jádru Slunce) se každou sekundu mění půl miliardy tun vodíku v hélium. Přitom se 4,2 miliony tun podle Einsteinovy rovnice $E = mc^2$ ($m = 4\,200\,000$ tun) přemění na energii záření. Množství energie vyzařované Sluncem za každou sekundu do okolního prostoru se nazývá sluneční zářivost. Je to výkon 386 trilionů MW. Tento výkon je jednotkou pro měření zářivosti všech hvězd.

2.21 Obloha a spektrum

Molekuly vzduchu rozptylují ze slunečního záření především jeho modrou, tj. krátkovlnnou část. Na horním snímku spektra ji vidíme nalevo. Jasná obloha nad námi je proto modrá a zapadající Slunce u obzoru červené.

Viz také snímek 1. 8.

Spektrum – viz snímek 1.8.

Absorpční čáry – viz snímek 1.8.

2.22 Roční období

Země obíhá kolem Slunce. Život v přírodě i ve společnosti je určován sklonem zemské osy k rovině dráhy Země. Tento sklon je zodpovědný i za střídání ročních období. Na polocevní přivrácené ke Slunci probíhá léto. U nás k tomu paradoxně dochází, když je Země od Slunce nejdále. Střídání ročních období mění charakter počasí v průběhu roku. Počasím nazýváme okamžitý stav atmosféry, podnebím dlouhodobé chování atmosféry v dané oblasti.

Dnes rozeznáváme dvojí počasí – pozemské (v našem okolí) a kosmické (ve vyšších vrstvách atmosféry a v okolozemním blízkém meziplanetární prostoru). Kosmické počasí neovlivňuje náš život v takové míře jako katastrofy způsobené přízemním počasím. Může však způsobit škody, které lze také považovat za přírodní katastrofy.

Počasí je podle meteorologů okamžitý stav atmosféry při povrchu Země. Této přízemní vrstvě zemské atmosféry se říká troposféra – řekli bychom neklidná, proměnlivá a proměnlivá vrstva (neboť řecky *tropein* znamená převracet, obracet, promíchávat). *Troposféra* je nejspodnější a nejhustší vrstva zemské atmosféry složená z dusíku a kyslíku. Nad rovníkem sahá troposféra do výšky 15 kilometrů, nad polárními oblastmi má výšku jen asi 8 km. Troposféra je v neustálém pohybu a v ní se odehrává počasí – pozemské počasí.

Kosmické počasí se nazývá okamžitý stav prostoru nad *troposférou*. V tomto významu užívají název „kosmické počasí“ odborníci. Podle nich by balon nebo letadlo, které vzlétly do výšky 25 kilometrů, vlastně byly v kosmickém prostoru, avšak podle kosmického práva jsou ještě hluboko pod kosmickým prostorem. Spadají do svrchovanosti státu, nad kterým letí, a pro přelet musí žádat o povolení. Jsou to však vrstvy atmosféry – stratosféra s ozonosférou, ionosféra a exosféra – které jsou přímo ovlivňovány „zvenku“ – především ultrafialovým, rentgenovým a korpuskulárním zářením Slunce.

Takže do kosmického počasí odborníci zahrnují *krátkodobé změny*, které se odehrávají v ozonosféře (18 až 45 km), ionosféře (nad 50 kilometrů), v exosféře, v radiálních pásích, v magnetosféře a v meziplanetárním prostoru kolem Země.

Kosmické klima znamená, obdobně jako v meteorologii, označení *dlouhodobého průměru* kosmického počasí. Jeho změny za dlouhá období mohou citelně ovlivnit život na Zemi.

2.23 Země od Saturnu

Díváte se na snímek Země pořízený sondou Cassini, když se nacházela ve stínu Saturnu. Sonda tedy měla zatmění Slunce. Prstence jsou z částecek a zrněk vodního ledu. Vlevo nahoře nad jasným prstencem je sotva viditelná světlá tečka – naše Země. Tak malá je ze vzdálenosti 10 astronomických jednotek – tj. půldruhé miliardy kilometrů. Pro přemýšlivé lidi je tento snímek lekcí skromnosti. Některým však neříká nic.

Cassini je meziplanetární sonda NASA, ESA a ASI (Italská kosmická agentura) určená k průzkumu Saturnu. Sonda startovala z mysu Cape Canaveral dne 15. října 1997, k Saturnu dorazila 30. června 2004. Celková hmotnost sondy Cassini (včetně paliva a pouzdra Huygens) při startu byla 5 600 kg. Vyvrcholením mise bylo měkké přistání evropského pouzdra Huygens na povrchu Saturnova měsíce Titanu dne 14. ledna 2005. Sonda byla pojmenována podle italského matematika a astronoma *Giana Domenica Cassiniho* (1625–1712). Podle tohoto vědce je pojmenována i část Saturnových prstenců, tzv. *Cassiniho dělení*. V roce 2010 byla tato mimořádně úspěšná mise prodloužena až do roku 2017.

2.24 Mléčná dráha pozorovaná z Galaxie v Andromedě

Na snímku je galaxie podobná naší Galaxii. Byla pečlivě vybrána z fotografií pořízených Hubbleovým dalekohledem tak, aby odpovídala naší Galaxii neboli Mléčné dráze, jak by

ji viděli inteligentní bytosti ve Velké galaxii v Andromedě. Ta je od nás vzdálená 2,9 milionů světelných roků. Slunce by se na fotografii nacházelo u dolního okraje Galaxie a letělo by k pravému dolnímu rohu obrázku, směrem do souhvězdí Labutě. Slunce je jen jednou z více než dvou set miliard hvězd Mléčné dráhy.

Galaxie na obloze vidíme v různém náklonu vzhledem k nám. Je jich asi 400 miliard v prostoru, kam až Hubbleův dalekohled dohlédne. Lze mezi nimi najít i takovou spirální galaxii, která ukazuje, jak bychom viděli naši Mléčnou dráhu z Velké galaxie v Andromedě. Slunce by bylo v místě označeném na snímku. Přesněji na vnitřním okraji tzv. Orionova ramene. Rotaci Mléčné dráhy bychom viděli proti směru hodinových ručiček. To znamená, že pravá část by stoupala nahoru a levá dolů. Spirální galaxie se jakoby navíjí.

2.25 Země – kosmický domov našich předků

Země, kosmický domov našich předků, náš i všech generací budoucích – s námi pluje tiše mrazivou kosmickou temnotou. Neměli bychom ničit její křehkou krásu. V okolozemním kosmickém prostoru je velmi živo a rušno. Kromě makroskopických tělísek se ve zdánlivě prázdnosti setkáme se slunečním větrem, rychlými protony, elektrony a alfa částicemi, které k nám přilétají ze Slunce. Ze vzdálenějších hlubin Vesmíru k nám dolétá kosmické záření – nejrozumnější částice, které atakují okolozemní prostor. Sluneční soustava spolu s naší Zemí je ponořena do neviditelného moře neutrin, která procházejí veškerou hmotou stejně lehce, jako světlo projde průhledným sklem.

1. V samotném **vakuu**, to je v prostoru zbaveném všech hmotných částic a fotonů, nepřetržitě probíhá vznik a zánik dvojic částice-antičástice. Objeví se na kratičkou dobu (určenou principem neurčitosti) a zaniknou. Právě tyto bleskurychlí a okamžité návštěvníci Vesmíru – nazývání odborně *virtuální částice* – jsou někdy považováni za temnou energii nebo antigravitaci či člen λ v rovnicích obecné teorie relativity. Je to ta energie, která zhruba před 5 až 7 miliardami roků počala urychlovat rozpínání Vesmíru. Zhruba v polovině dějin Vesmíru se hustota temné energie stala důležitější složkou Vesmíru než záření a hmota. Podle pozorování velmi vzdálených supernov se v polovině dějin Vesmíru začíná Vesmír urychleně rozpínat. Po stránce energetické je temná energie nejdůležitější složkou Vesmíru, důležitější než nezářivá temná hmota a zářivá hmota známého Vesmíru složená z protonů, neutronů a elektronů. Je-li tomu opravdu tak, potom by samotné vakuum představovalo neenergetičtější část kosmického prostředí. Vraťme se však od teoretických virtuálních částic vakua k částicím reálným, o jejichž existenci nikdo nepochybuje.

2. **Sluneční vítr** je proud rychlých protonů, elektronů a alfa částic od Slunce. Jeho hustota i rychlost se neustále mění. Proto je sluneční vítr považován za důležitou složku kosmického počasí. Podobně má i pozemský vítr značný podíl na počasí v troposféře.
3. **Kosmické záření** jsou také protony, elektrony, fotony, alfa částice a jiná atomová jádra. Trvale bičují okolozemní prostor. Na rozdíl od slunečního větru je jejich rychlost více než stokrát větší, je jich menší počet a pohybují se všemi směry. Před nimi nás chrání magnetosféra a atmosféra. Pokud nejrychlejší proton kosmického záření pronikne atmosférou, ve výškách nad 10 kilometrů se jeho energie přemění na spršku částic a antičástic (tzv. sekundární kosmické záření). Počet vzniklých částic a antičástic může být až několik milionů.
4. **Neutrinové moře a neutrinové záření** je další složkou prostředí kolem naší Země. I když jde o velký počet částic, nijak kosmické prostředí Země neovlivňují. Jsou to částice velice plaché, které s hmotou téměř neinteragují a nijak ji neovlivňují. V okolozemním prostoru jsou neutrina dvojího druhu:
 - a) *reliktní neutrina* – pozůstatek z dob Velkého třesku. Jsou to tedy neutrina velmi stará, jejichž hustota s rozpínajícím se Vesmírem klesá. Pohybují se různými směry. V současné době je kolem 450 reliktních neutrin v krychlovém centimetru;
 - b) *sluneční neutrina* – ta jsou naopak velice mladá, letí směrem od Slunce. Jsou zrozená před osmi minutami v jádru Slunce při přeměně čtyř protonů v alfa částici (jádro hélia). Dva protony se přemění v neutrony a při této přeměně protonu v neutron se uvolní kladný elektron (pozitron) a neutrino. Neutrino vzniká ve Slunci každou sekundu obrovské množství (číslo s 38 nulami), bez překážky proběhnou z jádra Slunce k povrchu za dvě sekundy a poté za osm minut dostihnou Zemi. Proběhnou jí – jen vzácně se některé neutrino zachytí. Proběhnou i námi a za celý náš život se v našem těle z celého kvadrilionu neutrin zachytí pouze jedno nebo dvě. Neutrino – ani reliktní, ani sluneční – se nijak v okolozemním kosmickém prostředí neprojevují, i když jsou jich obrovské počty. Další informace o neutrinech naleznete u snímků 4.13, 9.17 a 11.2.
5. **Makroskopické částice a tělesa.** Země obíhá Slunce v meziplanetárním prostoru, v němž se pohybuje rychlostmi několika desítek kilometrů mnoho kamených a kovových částic – od jemného prachu až po velké planety o rozměrech desítek a stovek kilometrů. Jsou to zbytky původního protoplanetárního disku, z něhož před 4,5 miliardami roků vznikaly planety, částice uvolněné z ledových komet a tříšť po srážkách v pásu planetek, který je mezi Marsem a Jupiterem.

2.26 Tvar země – geoid

Po roce měření zemské gravitace podala evropská družice GOCE přesný obraz zemského geoidu. Tato výjimečná observatoř startovala v březnu 2009. Země není přesná koule, jak by napovídal její starší název Zeměkoule. Geoid je povrch ideálního globálního oceánu – bez přílivů a proudů. Je vytvořený pouze gravitací. Takový ideální oceán by vzniknul, kdybychom prokopali všemi pevninami kanály. Gravitační potenciál na povrchu takového celosvětového oceánu by byl ve všech bodech stejný. V prvním přiblížení se geoid podobá rotačnímu elipsoidu.

V důsledku rotace je Země poněkud zploštělá a její tvar lze zhruba znázornit zploštělým rotačním elipsoidem, jehož malá osa je osou zemskou. Je-li R_r rovníkový poloměr a R_p polární poloměr, je zploštění f takového přibližného elipsoidu rovno $(R_r - R_p)/R_r$, tj. přibližně 1/300. K takovému elipsoidu lze vztáhnout plochu geoidu a určit jeho výšku, tj. výšku jeho jednotlivých bodů nad elipsoidem. Obvykle se za vztážný elipsoid užívá zploštělý rotační elipsoid s rovníkovým poloměrem $R_r = 6378,137$ km a se zploštěním $f = 1/298,257$. Pro takový elipsoid jsou minimalizovány výšky geoidu na celé Zemi. Z poruch drah umělých družic Země bylo vypočteno, že skutečný geoid převyšuje vztážný elipsoid na severním pólu o 17 m, severně od Austrálie o 81 m, západně od Velké Británie o 60 m; nižší je o 27 m na jižním pólu, o 50 m jižně od Nového Zélandu a o 113 m na jih od Indie. Nejpresnější měření zemského geoidu provedla evropská družice GOCE, která mapuje Zemi z výšky 250 km.

GOCE (*Gravity field and steady-state Ocean Circulation Explorer*) je družice Evropské kosmické agentury, která proměřuje od března 2009 tvar zemského geoidu s mimořádnou přesností 2 cm. To odpovídá velikosti podpovrchových útvarů přibližně 100 kilometrů. Družice GOCE se stala dosud nejpresnějším přístrojem tohoto druhu. Svou polohu koriguje iontovým motorem a nejcennějším přístrojem je zařízení EGG schopné měřit gradient gravitačního pole z měření zrychlení několika testovacích těles uvnitř družice.

2.27 Družice ERS

Dvojice družic ERS sloužila k velmi citlivému mapování Země. Název družic je zkratkou z anglického European Remote Sensing satellite. První z nich byla vypuštěna v roce 1991, druhá v roce 1995. V té době šlo o velmi důmyslné evropské družice, které dodávaly informace o pevnině, oceánech, atmosféře a polárním ledu. Zaznamenávaly přírodní katastrofy, například zemětřesení a záplavy. Po vypuštění druhé družice létaly obě v tandemu a mapovaly společně stejné území.

Zdroje ke druhé prezentaci

- 2.1 <http://spaceflight.nasa.gov/gallery/images/apollo/apollo17/html/as17-148-22727.html>
- 2.2 <http://visibleearth.nasa.gov/view.php?id=5935>
<http://visibleearth.nasa.gov/view.php?id=2181>
- 2.3 <http://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA08324>
http://www.msss.com/mars_images/moc/2003/05/22/index.html
http://www.nasa.gov/multimedia/imagegallery/image_feature_1400.html
<http://astromic.blogspot.cz/2010/05/light-pollution.html>
- 2.4 http://solarsystem.nasa.gov/multimedia/display.cfm?Category=Planets&IM_ID=9643
http://solarsystem.nasa.gov/multimedia/display.cfm?Category=Planets&IM_ID=1879
http://solarsystem.nasa.gov/multimedia/display.cfm?Category=Planets&IM_ID=2148
- 2.5 J. Kleczek, P. Jakeš: Das Weltall und Unsere Erde; Dausien
- 2.6 <http://www.geosociety.org/pubs/gsatoday/grgsat/0007-2.htm>
<http://www.cartage.org.lb/en/themes/Sciences/Physics/NuclearPhysics/WhatisNuclear/Nucleons/Nucleons.htm>
<http://hubblesite.org/newscenter/archive/releases/galaxy/interacting/1999/28/image/>
<http://chandra.harvard.edu/photo/2009/casa/>
<http://apod.nasa.gov/apod/ap111115.html>
<http://apod.nasa.gov/apod/ap070314.html>
<http://www.ipac.caltech.edu/2mass/gallery/fest1-457atlas.jpg>
http://solarsystem.nasa.gov/multimedia/display.cfm?Category=Planets&IM_ID=1879
http://nssdc.gsfc.nasa.gov/imgcat/html/object_page/a11_h_40_5903.html
- 2.7 <http://www.ipac.caltech.edu/2mass/gallery/fest1-457atlas.jpg>

- <http://hubblesite.org/newscenter/archive/releases/star/protoplanetary%20disk/2001/13/image/c/>
- <http://www.spitzer.caltech.edu/images/1179-ssc2004-08c-Spectra-Show-Protoplanetary-Disc-Structures>
- 2.8 <http://www.spitzer.caltech.edu/images/1527-ssc2005-26b-Portrait-of-Our-Dusty-Past>
- 2.9 překresleno podle archivu autora
- 2.10 <http://apod.nasa.gov/apod/ap060806.html>
<http://www.belugalakeobservatory.com/full.php?photo=32>
- 2.11 <http://www.eso.org/public/videos/ut4andmilkywaytimelapse/>
- 2.12 <http://apod.nasa.gov/apod/ap071222.html>
- 2.13 <http://www.hq.nasa.gov/office/pao/History/alsj/a410/AS8-14-2383HR.jpg>
- 2.14 <http://www.arthursclipart.org/nature/nature/earth%20cross%20section.gif>
- 2.15 http://peterbird.name/publications/2003_PB2002/PB2002_wall_map.gif
- 2.16 <http://svs.gsfc.nasa.gov/vis/a000000/a003600/a003639/index.html>
- 2.17 <http://good-wallpapers.com/nature/5329>, archiv autora
- 2.18 http://photocompetition.upclive.com/original/641735/iceland_erupting_volcano/
iceland_eruption_volcano.jpg
- 2.19 <http://soho.nascom.nasa.gov/gallery/images/mdi20031028.html>
- 2.20 <http://www.flickr.com/photos/lightsinthedark/7092251831/sizes/h/in/photostream/>
- 2.21 archiv autora
- 2.22 <http://www.kidsunder7.com/2012/04/spring-wallpapers.html>
<http://www.widescreenbackgrounds.net/background-desktop-images-setting-widescreen-winter-wonderland/1920x1200.html>
<http://chobirdokan.files.wordpress.com/2012/02/park-in-autumn-wallp-tlgoodbye.png>
http://www.allannelson.co.uk/images/Looking_%20for_%20Crabs.jpg

- 2.23 <http://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA08324>
- 2.24 [http://www.aoas.org/mediagallery/
media.php?f=1&s=20110930091655682&i=0&p=0](http://www.aoas.org/mediagallery/media.php?f=1&s=20110930091655682&i=0&p=0)
- 2.25 <http://apod.nasa.gov/apod/ap030426.html>
- 2.26 http://www.esa.int/SPECIALS/GOCE/SEM1AK6UPLG_0.html
- 2.27 <http://accsatellites.aeronomie.be/>



3. Náš Měsíc

Měsíc zůstává neodmyslitelnou součástí nejen naší oblohy, ale i našeho života a kultury. Mezi první dochovanou lidskou stopou v sopečném popelu na březích východoafrického jezera Tanganika a první lidskou stopou v měsíčním prachu uplynuly tři miliony šest set tisíc roků. Mnoho, velmi mnoho se změnilo od těch dob. Za tu dobu prožilo své životy přes sto tisíc generací a odehrály se dějiny lidstva. V nich má svůj podíl i náš vesmírný soused.

Kamenná tvář Měsíce byla svědkem toho, jak lidé sbírali plody, lovili zvěř a ryby, jak zapálili první oheň, dělali nástroje z kamene, vypěstovali před deseti tisíci lety rýži v jihovýchodní Asii a před osmi tisíci roky obilí ve střední Anatolii, stavěli trvalé příbytky na ochranu před nepohodou, zabývali se uměním, filozofií, náboženstvím, vědou a technikou. Nedávno byl Měsíc vyrušen ze své odvěké osamělosti, to když po jeho povrchu kráčeli lidé. V Malé československé encyklopedii se o Měsíci dozvíme tato suchá fakta:

„Měsíc, přirozená družice Země, vzdálená průměrně 384 000 kilometrů. Průměr 3 476 km, hmotnost 1/81 hmotnosti Země, hustota 3,340 kg m⁻³. Svítí odraženým slunečním světlem, nemá atmosféru, vodu, magnetické pole. Povrch Měsíce tvoří rozsáhlé planiny zvané mare (moře), o nichž se dříve předpokládalo, že obsahují vodu. Krátery vznikly většinou dopadem meteoritů. Doba oběhu Měsíce kolem Země je shodná s dobou rotace kolem osy, proto je vidět pouze jedna strana. Odvrácenou stranu poprvé vyfotografovala sovětská družice Luna 3. S lidskou posádkou (N. A. Armstrong, E. E. Aldrin) přistálo 19. července 1969 Apollo 11.“

Japonský básník viděl věci jinak. Pro něho není Měsíc žádným mrtvým suchopárem, ale obrazem číperného života:

*Měsíce odraz hladinou vodní
chvěje se, mihotá:
chyť si ho – tu je!
Chyť si ho – kde je?
Měsíci, nejsi ty obraz života?*

(starojaponské pětiverší)

První ukázka byla vědeckým, věcným pohledem na Měsíc. Ta druhá nám přibližuje pohled starého japonského básníka. Obě svým způsobem odpovídají skutečnosti. Za první ukázkou cítíme houževnaté dlouhodobé úsilí mnoha vědců, techniků,

astronomů, dělníků, pozorovatelů – jen na samotném projektu Apollo jich pracovalo dohromady na půl milionu. Druhý pohled je výsledkem okamžité inspirace básníka. Zcela rozdílné pohledy na týž Měsíc.

Náš vztah ke skutečnosti – tedy i ke kosmickým tělesům – může být založen na pozorování, pokusu, logickém úsudku či matematickém výpočtu: to je *postoj vědecký*. Zcela odlišný je okamžitý bezprostřední *vztah citový, intuitivní*. Ten najdeme v lidových písních a v mnoha uměleckých dílech: básnických, ale i hudebních, sochařských, malířských, architektonických. Ve všech je tolik krásy, že je opravdu těžko vybrat. Ale věda už má po Apollu téměř půl století navrch. Proto zesmutněl Jaroslav Seifert, když lidé vstoupili na povrch Luny, která do té doby byla doménou básníků a milenců:

*Luna, ta krásná paní
té noci šla nám za zády.
Patřivala romantickým básníkům
a její krásu
odevzdával mrtvý živému
jako zlatý prsten.
Naposledy patřila Máchovi.
Co už se všechno změnilo
za těch pár let!
Ani luna, která dnes vchází po špičkách
do obdélníku mého okna,
není táž.
V tom okamžiku, kdy na ni vstoupila
lidská noha,
byla již mrtvá.
Umřela před několika minutami,
jakmile se na její studenou nahotu
počali snášet lidé
se svými přístroji.
To co dnes na obloze vidíme,
je už jen mrtvý satelit.
Krouží dál kolem naší Země
ale už jaksi bez smyslu, jako při stvoření světa
a s tím železným haraburdím,
které tam zanechali
šťastní Američané.
(Jaroslav Seifert)*

Od okamžiku, kdy se povrchu Měsíce dotkla lidská noha, už nepatří milencům a básníkům. Patří astronomům a především geologům. Pan Neruda by asi řekl „krtkům Měsíce“. Ale protože jde o vážné vědce, říkáme jim selenologové. Jejich věda – geologie Měsíce – se nazývá selenologie. Povrchem Měsíce a jeho mapováním se zabývá selenografie – řekli bychom geografie (tedy zeměpis) Měsíce.

3.1 Úvod

Vědecký výzkum Měsíce začal asi před čtyřmi stoletími, kdy na něj Galileo Galilei zamířil svůj malý dalekohled. Zjistil, že i jiné planety mají své měsíce. Intenzivní výzkum Měsíce však byl možný až v posledních desetiletích dvacátého století, kdy raketová technika vynesla sondy do blízkosti Měsíce i na jeho povrch. Podstatným přínosem k poznání Měsíce byly lety kosmických lodí Apollo. Ty dopravily na měsíční povrch dvanáct astronautů, kteří tam strávili celkově tři sta hodin, nachodili i naježdili přes sto kilometrů, posbírali, zdokumentovali a přivezli přes dva tisíce geologických vzorků. Měsíc přestal být doménou básníků a snů a stal se předmětem našeho výzkumu. Tento snímek Země a jejího Měsíce byl pořízen v roce 1977 sondou Voyager 1 ze vzdálenosti 12 milionů kilometrů od Země.

Základní parametry Měsíce naleznete v kapitole Tabulky.

3.2 Měsíc – syn a průvodce Země

Měsíc je jedinou přirozenou družicí Země a naším nejbližším kosmickým tělesem. Oběhne Zemi kolem dokola jednou za 27 dnů a 8 hodin ve vzdálenosti kolem 384 000 km. Při oběhu z něj vidíme různě velkou část osvětlené polokoule – tzv. fáze Měsíce. Ty se opakují jednou za 29,5 dne. Teplota na povrchu Měsíce kolísá podle osvětlení od $-160\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+120\text{ }^{\circ}\text{C}$. Poloměr Měsíce je přibližně čtvrtina zemského poloměru, přesně 1 737 km. Měsíc nemá atmosféru. Na přelomu 60. a 70. let dvacátého století po jeho povrchu chodili astronauti, které tam dopravily kosmické lodě Apollo.

Vůči hvězdám oběhne Měsíc Zemi za dobu nazývanou **siderický měsíc**. Ten trvá 27,321 dne. Je to doba, po které se Měsíc vrací k téže hvězdě. Protože se však Měsíc pohybuje po dráze kolem Země, vůči Slunci oběhne Měsíc Zemi za delší dobu – 29,530 dne. Musí totiž urazit o 25 stupňů více, aby se dostal mezi Zemi a Slunce. Za tuto dobu, nazývanou **synodický měsíc**, se vystřídají všechny fáze Měsíce. Takže vystřídání fází trvá o dva dny déle než jeden oběh kolem Země (o 360°). Synodický měsíc se měří od novu k novu, kdežto siderický se měří vzhledem ke hvězdám. Rovina dráhy Měsíce je nakloněna k rovině ekliptiky (tj. k rovině v níž jsou Slunce a Země). Proto je Měsíc z našeho pohledu v *novu* pod Sluncem nebo nad ním.

Někdy však při novu prochází ekliptikou (rovinou oběhu Země kolem Slunce). Tehdy dopadne jeho stín na Zemi a pozorujeme *zatmění Slunce*. Jestliže je při úplňku v ekliptice nebo blízko ní – pak prochází stínem Země a pozorujeme *zatmění Měsíce*.

3.3 Měsíc na eliptické dráze

Měsíc obíhá Zemi po eliptické dráze. V nejbližším bodu, kterému říkáme perigeum neboli přízemí, je největší. V bodě nejvzdálenějším, tzv. apogeu neboli odzemí, je pro nás na Zemi nejmenší. Oba snímky byly pořízené v úplňku týmž dalekohledem. První, když byl Měsíc v těsné blízkosti apogea, a druhý jen několik hodin od perigea.

Měsíc se pohybuje po téměř kruhové dráze (její výstřednost je pouze 0,05). Pohybuje se kolem těžiště soustavy Země-Měsíc, které je asi 5 000 km daleko od středu Země, tedy asi 1 400 km pod jejím povrchem. Kolem tohoto těžiště obíhají Měsíc i Země. Průměrná vzdálenost Měsíce od Země je 384 000 km, což je přibližně 60 zemských poloměrů. V perigeu (přízemí) je vzdálenost jen 357 000 km, v apogeu (odzemí) je přibližně 406 000 km. Posádka lodi Apollo umístila na Měsíci zrcadla na odraz laserového paprsku, takže jeho vzdálenost od Země lze měřit s přesností několika centimetrů. Vzhledem k rovině ekliptiky je měsíční dráha skloněna o 6°. Tento sklon dovoluje nahlížet za měsíční póly. Je také důvodem, proč nevidíme zatmění Slunce při každém novu a zatmění Měsíce při každém úplňku.

Elipsa je kuželosečka, jejíž výstřednost je menší než jedna. Je to množina bodů v rovině, jejichž součet vzdáleností od dvou pevných bodů (ohnisek) je roven dvojnásobku velké poloosy. Podle prvního Keplerova zákona se těleso pohybuje po elipse kolem svého centrálního tělesa (planeta či kometa kolem Slunce, Měsíc kolem Země, měsíce kolem svých planet), které se nachází v jednom z ohnisek elipsy.

3.4 Země a Měsíc ze sondy Galileo

Snímek Země a Měsíce pořídila sonda Galileo na své cestě k Jupiteru. Nakonec se stala umělou družicí planety Jupiter a důkladně prozkoumala tuto největší planetu Sluneční soustavy a její měsíce. Na snímku Země je dobře patrný Tichý oceán a při pravém okraji Jižní Amerika. Na Měsíci vidíme zcela nahoře Moře dešťů a při levém okraji rozsáhlý Oceán bouří. Na snímku lze dobře porovnat velikost Země a Měsíce.

Měsíc zůstává neodmyslitelnou součástí nejen naší oblohy, ale i našeho života a kultury. Mezi první lidskou stopou v sopečném popelu na březích východoafrického jezera a první lidskou stopou v měsíčním prachu uplynuly tři miliony šest set tisíc roků. Za tu dobu

prožilo své životy přes sto tisíc generací a odehrály se dějiny lidstva. V nich má svůj podíl i náš vesmírný soused.

Galileo byla kosmická sonda vypuštěná 18. října 1989 raketoplánem *Atlantis*. V říjnu 1991 se sonda setkala s planetkou *Gaspra* v pásu planetek. V srpnu 1993 proletěla v blízkosti planety *Idy*. Sonda pozorovala přímo místa dopadu úlomků komety *Shoemaker-Levy 9*. Díky těmto pozorováním bylo možno určit přesnou dobu dopadu, velikost tělesa a teplotu v oblasti dopadu. V létě 1995 sonda proletěla několikrát oblaky prachu, jejichž částice byly jemnější než částice kouře. Prach byl zřejmě vyvržen z Jupiterova systému (patrně ze sopek měsíce *Io*, nebo z Jupiterových prstenců). Částice byly elektricky nabitě a urychleny Jupiterovou magnetosférou do rychlostí až 200 km s^{-1} . Sonda Galileo nesla pouzdro, které vypustila 5 měsíců před setkáním s Jupiterem. Pouzdro vyslalo důležité údaje při dopadu do jeho atmosféry. Sonda sama se stala umělou družicí Jupiteru, která sledovala Jupiterovy měsíce i planetu ze vzdálenosti stokrát menší, než to mohly udělat sondy *Voyager*. Galileo měla tři hlavní cíle: chemické složení a stav Jupiterovy atmosféry; chemické složení a fyzický stav Jupiterových měsíců a stavbu a chování Jupiterovy magnetosféry.

3.5 Sonda LRO

LRO je americká sonda, která snímkuje Měsíc z oběžné dráhy. Start se konal dne 18. června 2009 a sondu LRO spolu se sondou LCROSS vynesla raketa ATLAS V. Hlavním úkolem sondy LRO je mapování povrchu Měsíce s bezprecedentní přesností a hledání vhodného místa pro případnou stavbu lunární základny. Původně se předpokládala životnost sondy jeden rok, prodloužená mise by měla trvat pět let. Sonda LRO pořídila přesné mapy odvrácené strany Měsíce, kterou ze Země nevidíme.

LRO je zkratka z anglického *Lunar Reconnaissance Orbiter* (Lunární průzkumná družice). Tato americká sonda snímkuje v několika vlnových délkách Měsíc z výšky 50 km s přesností až 1 metr. Je vybavena sedmi přístroji: DLRE, LAMP, LEND, LOLA, CRaTER, Mini-RF a LROC. Přístroje slouží kromě pořizování map také ke studiu teploty, tvaru povrchu Měsíce, radioaktivity a množství vodíku.

LCROSS (*Lunar Crater Observation and Sensing Satellite*) je další americká sonda, jejímž úkolem bylo hledání vody na Měsíci. LCROSS startovala spolu se sondou LRO dne 18. června 2009 na palubě nosné rakety ATLAS V. Sonda byla dne 9. října 2009 záměrně svržena do kráteru *Cabeus*, který se nachází v polární oblasti a do jehož nitra nikdy nedopadají sluneční paprsky. Spektrální analýza vyvržené látky skutečně přítomnost vody prokázala i přesto, že vyvrženého materiálu bylo méně, než se očekávalo.

3.6 Odvrácená strana Měsíce I

Měsíc je věrný průvodce Země – obíhá ji a obrací k ní stále svou tvář, na které je několik moří a mnoho kráterů. Odvrácenou stranu ze Země nikdy neuvidíme. Tuto fotografii odvrácené strany Měsíce pořídila sonda LRO. Ve skutečnosti jde o mozaiku složenou z mnoha pořízených snímků. Kůra je na odvrácené straně silnější než na přivrácené straně, a proto nevidíme téměř žádná moře. Jen opravdu prudký dopad planety mohl prorazit kůru dostatečně hluboko až do tekutého nitra. Tmavá oblast v levé horní části snímku je Moskevské moře.

Mozaika fotografií byla skládána pomocí tzv. *ortografické projekce*. Jde o azimutální mapové zobrazení, které se používá pro zobrazování planet. V příčné poloze se poledníky zobrazují jako části elips a rovnoběžky jako rovnoběžné přímky, v obecné poloze se obojí zobrazují jako části elips. Ortografickou projekci poprvé použil pravděpodobně Appollonius ve 3. století př. n. l.

3.7 Odvrácená strana Měsíce II

Na první pohled je patrné, že odvrácená strana Měsíce má jiný charakter než přivrácená. Dominují na ní krátery, ale nevidíme zde výrazná rozsáhlá moře jako na straně přivrácené. Na odvrácené straně je největším mořem jen drobné Moskevské moře. První snímky odvrácené strany Měsíce získal sovětský Lunik 3 v roce 1959.

Odvrácená strana Měsíce je část měsíčního povrchu trvale odvrácená od Země. Vzhledem k tomu, že těžiště Měsíce je o 2,5 km blíže k Zemi než jeho střed, je na odvrácené straně Měsíce silnější kůra. Důsledkem je nápadně méně moří v porovnání s přivrácenou polokoulí. Naopak převládají tam horské oblasti (pevniny). Mezi první pojmenované útvary patří Moskevské moře, Záliv astronautů, krátery Lomonosov, Ciolkovskij apod.

3.8 Výšková mapa Měsíce

Americká sonda LRO pořídila přesnou výškovou mapu Měsíce. Sonda obíhá kolem Měsíce na nízké polární dráze ve výšce 50 km nad povrchem, vytváří na různých vlnových délkách trojrozměrné mapy s rozlišením jednoho metru a zjišťuje další informace o zhruba 100 oblastech, ve kterých by mohly v budoucnu přistát pilotované výpravy. K tomuto účelu je vybavena sedmi přístroji, které slouží k měření výšky útvarů, tvaru povrchu, ke studiu teploty, radioaktivity a množství vodíku. Na sondě LRO zamířil k Měsíci také

malý mikročip, který je výsledkem akce „pošli své jméno na Měsíc“. Je na něm uloženo téměř 1,6 milionů jmen zájemců, kteří chtěli své jméno takto proslavit.

Selenografie se zabývá popisem a mapováním měsíčního povrchu, jde o obdobu pozemské geografie (zeměpisu).

Selenografické souřadnice jsou obdobou zeměpisných souřadnic pro Měsíc. Uvádají polohu na jeho povrchu. Základní rovinou selenografických souřadnic je rovina měsíčního rovníku (tj. rovina procházející středem Měsíce a kolmá na osu rotace). Od ní se počítá selenografická šířka, což je úhlová vzdálenost od roviny rovníku). Selenografická délka se počítá od hlavního (centrálního) poledníku, a to na východ záporně (od 0° ve středu do -180° na neviditelné polokouli), a na západ kladně (od 0° do $+180^\circ$). Protože se střed měsíčního disku v důsledku librace mění, byl vybrán za výchozí bod pro určování selenografických souřadnic kráter *Mösting A*.

Selenologie je věda o Měsíci (z řeckého *Selené* – Měsíc, *logos* – myšlenka, nauka). Studuje tvar Měsíce, jeho dráhu, vnitřní stavbu a útvary na jeho povrchu, vznik a vývoj Měsíce. Velký pokrok pro selenologii znamenal kosmický výzkum, zejména program Apollo.

3.9 Nitro Měsíce

Podle měření gravitace a magnetického pole by jádro Měsíce mělo mít rozměr přibližně 680 km. Je v něm soustředěna necelá třetina měsíční hmotnosti. Kůra je tenčí na přivrácené straně. Na dně moří jsou těžké maskony. Tak nazýváme husté oblasti se zvýšenou gravitační přitažlivostí. Těžiště Měsíce není uprostřed, ale je posunuto směrem k Zemi.

Maskon znamená doslova koncentrace hmotnosti. Slovo samotné vzniklo z anglického *MASs CONcentration*. Maskony byly objeveny jako zvýšená gravitační přitažlivost (kladná tíhová anomálie) nad kruhovými měsíčními moři *Mare Imbrium*, *Mare Serenitatis*, *Mare Crisium*, *Mare Nectaris* a *Mare Humorum*. Příčinou je hustotní rozdíl mezi kůrou Měsíce (s hustotou asi $2,9 \text{ g cm}^{-3}$ a bazalty měsíčních moří ($3,3$ až $3,4 \text{ g cm}^{-3}$).

MOŘE	ZVÝŠENÍ TÍŽE
Mare Imbrium a Mare Serenitatis	$+2,2 \times 10^{-3} \text{ m s}^{-2}$
Mare Crisium a Mare Nectaris	$+1,2 \times 10^{-3} \text{ m s}^{-2}$
Mare Orientale a Mare Smythii	$+0,5 \times 10^{-3} \text{ m s}^{-2}$

3.10 GRAIL

Gravitační pole Měsíce nad jeho povrchem proměřuje dvojice velmi citlivých měsíčních družic GRAIL. Tyto americké družice mají za úkol proměřovat s vysokou přesností gravitační pole Měsíce na přivrácené i odvrácené polokouli. Účelem je zpřesnit „pohled do nitra Měsíce“. To znamená přesně určit jeho vnitřní stavbu od povrchu až ke středu. Sondy mezi sebou vysílají mikrovlnný svazek a pomocí něho velmi přesně měří svou vzdálenost. Tato vzdálenost vykazuje jemné fluktuace podle aktuálního gravitačního pole deformovaného průletem nad kráterem, pohořím nebo podpovrchovým maskonem.

Sondy GRAIL (*Gravity Recovery and Interior Laboratory*) startovaly z mysu Cape Canaveral dne 10. září 2011 na palubě nosné rakety Delta II. K Měsíci neletěly po nejkratší možné dráze, ale využívaly gravitační pole Země a Měsíce, a tím výrazně omezily spotřebu paliva. Standardně lze k Měsíci doletět za týden, ale dvojčatům GRAIL to trvalo přes 100 dnů.

První ze sond (GRAIL A) byla navedena na oběžnou dráhu kolem Měsíce 31. prosince 2011 a o den později, 1. ledna 2012, druhá ze sond (GRAIL B). Obě dráhy byly provizorní, přibližně polární eliptické dráhy, které se postupně snižovaly až na výslednou kruhovou dráhu ve výšce pouhých 55 kilometrů nad povrchem Měsíce. Oběžná doba je kratší než 2 hodiny. Dvojčata GRAIL letí za sebou ve vzdálenosti od 175 do 225 kilometrů. Obě sondy jsou identické, při startu měly hmotnost 300 kilogramů. Základními přístroji jsou mikrovlnný vysílač a přijímač. S jejich pomocí se měří vzdálenost obou sond.

3.11 Měsíční moře I

Světlé pevniny jsou původní starý materiál, který vzniknul ztuhnutím roztaveného povrchu Měsíce. V první půl miliardě roků po vzniku Měsíce docházelo k intenzivnímu kosmickému bombardování a do pevnin bylo vyhloubeno mnoho kráterů a několik rozsáhlých pánví. Vyhloubené pánve byly později, v době před 3,8 až 3,2 miliardami roků, zality lávou. Po ztuhnutí láva vytvořila rozsáhlé temné oblasti, kterým říkáme měsíční moře.

Povrch Měsíce je pokryt vrstvou prachu a úlomků hornin – tzv. **regolitem**. Korpuskulární sluneční záření zanechalo v povrchových horninách a minerálech některé chemické prvky a radioaktivní izotopy. V měsíčních kamenech je tak zapsána historie Slunce (přesněji řečeno slunečního korpuskulárního záření a tím i sluneční činnosti). Tak dlouhodobé záznamy o Slunci nejsou nikde jinde dostupné.

Názvy moří – české ekvivalenty názvů měsíčních moří naleznete v kapitole Tabulky.

3.12 Měsíční moře II

Měsíční moře je nevhodný název z dob, kdy se lidé domnívali, že to jsou rozsáhlé vodní plochy jako na Zemi. Ve skutečnosti jde o pánve zalité lávou. Tyto tmavé oblasti jsou příbuzné pozemským čedičům. Jsou o několik stamilionů roků mladší než měsíční pevniny, které tvoří světlé vyvýšené oblasti. Příkladem může být Moře dešťů neboli Mare Imbrium či Moře vláhy neboli Mare Humorum.

Všechny měsíční horniny vznikly za vysokých teplot a bez vody. Lze je zhruba rozdělit do tří skupin: čediče, anortozity a brekcie. Staré tmavé čediče měsíčních moří se podobají mladé kůře vznikající pod zemskými oceány. Anortozity jsou lehké horniny měsíčních pevnin, které se podobají nejstarším pozemským horninám, až na to, že jsou ještě o půl miliardy roků starší. Brekcie vznikly drobením, promícháním a stmelněním při dopadech (impaktech) meteoritů, planetek a komet. Pískovce, břidlice ani vápence na Měsíci nejsou. Stáří měsíčních hornin je větší než hornin pozemských.

Nejmladší jsou v některých mořích (3,2 miliardy roků) a nejstarší v pevninách (4,6 miliard roků). Nejstarší pozemské horniny nalezené v Grónsku mají stáří 3,9 miliard roků. Doba před tím („temný dávnověk Země“) je geologům nepřístupná, neboť pevná kůra zemská z tehdejší doby se už dávno ponořila do žhavého nitra Země a roztavila se tam. O tom, co se dalo v planetární soustavě v onom temném dávnověku, podávají svědectví měsíční pevniny. Ty jsou hustě pokryty miliony kráterů – od mikroskopických až po velikost Čech. Vzorky přinesené z Měsíce dovolují určit jejich absolutní stáří. Obdobné rozložení kráterů na Merkuru, Venuši a Marsu umožnilo přenést absolutní časovou škálu geologického vývoje Měsíce i na tyto členy Sluneční soustavy. V kamenné tváři našeho Měsíce je tak zapsána historie Sluneční soustavy.

3.13 Rüklova mapa Měsíce

Tato velmi podrobná mapa Měsíce pochází od Ing. Antonína Rükla, předního odborníka na selenografii. Mapu vydala Hvězdárna a planetárium hl. m. Prahy v roce 2010. Jeho precizně provedené mapy jsou známy po celém světě. Podle tradice, zavedené již v 17. století, jsou krátery na Měsíci pojmenovávány po význačných osobnostech, zejména po vědcích. Jen na přivrácené straně Měsíce nese vlastní jména přes 800 kráterů; mezi nimi jsou i jména několika osobností českého původu.

Na připojené ukázce mapy Měsíce je žlutou šipkou vyznačen kráter Anděl, pojmenovaný po Karlu Andělovi, autoru vynikající mapy Měsíce z roku 1926.

Klasické mapy byly ručně kreslené, nebo fotografické. V 21. století vznikají mapy (nejen Měsíce, ale i jiných těles Sluneční soustavy) především digitálním zpracováním dat z umělých družic; zatím nejrozsáhlejší soubory dat pro Měsíc poskytly družice Kaguya (Japonsko) a LRO (USA).

Antonín Růkl (1932) je významný československý a později český astronom a kartograf. Narodil se v Čáslavi. K astronomii získal dlouhodobý vztah již za studií. Inženýrské studium zakončil na Českém vysokém učení technickém v roce 1956. Poté pracoval v pražském Geofyzikálním ústavu Akademie věd. Od roku 1960 působil v Planetáriu hlavního města Prahy, kde se posléze stal ředitelem. Byl také předsedou České astronomické společnosti, viceprezidentem Mezinárodního sdružení planetárií a předsedou planetární sekce České astronomické společnosti. Od roku 1999 je v důchodu. V průběhu své aktivní kariéry se stal neúnavným popularizátorem astronomie a autorem mnoha knih, které si často sám ilustruje. Je mimořádně zručným kartografem a selenografem, k jeho nejznámějším dílům patří Atlas Měsíce.

3.14 Krátery

Pevnina Měsíce je 4,2 až 4,3 miliard let stará. Vznikla pomalým chladnutím žhavého Měsíce v době kosmického bombardování. Její povrch je zjizven krátery, které vznikaly po dopadech drobných i větších těles na povrch Měsíce. Okolí kráterů je pokryté vrstvou anortozitu – světlého materiálu vyvrženého při častých impaktech. Vpravo nahoře je minerál anortozit přivezený posádkou kosmické lodi Apollo 15.

Kráter je prohlubeň přibližně kruhového tvaru na povrchu pevných těles (planet, měsíců a planetek) v planetární soustavě. Průměr kráterů se liší od zlomků milimetru po stovky kilometrů. Největší se obvykle nazývají pánve nebo moře. Většinou jde o impaktní krátery, vzniklé dopadem (impaktem) většího tělesa (planetezimály, planetky, komety), tedy vnějším zásahem. Nejvíce impaktních kráterů na povrchu planet a měsíců pochází z doby dotváření planetární soustavy, tedy z období před 4,5 až 4 miliardami let, kdy probíhalo intenzivní bombardování. V menší míře vytvářela krátery na větších tělesech Sluneční soustavy sopečná činnost. Jimi unikala z nitra tělesa láva doprovázená sopečnými plyny, prachem a kouřem. Sopečné krátery byly tedy vytvořeny silami vnitřními. Na Zemi unikalo s vyvrženinami sopečnými krátery i vlastní teplo Země, uvolňované rozpadem radioaktivních prvků (především uranu, thoria a draslíku). Největší sopkou v celé planetární soustavě je Olympus Mons na Marsu.

Kráterová jamka je nejmenší druh měsíčních kráterů o průměru několika metrů až několika set metrů. Kráterové jamky jsou mělké a často jim chybí val. Některé z nich

jsou seřazeny za sebou. Kupí se kolem brázd, valových rovin a kruhových pohoří. Na Měsíci je však i mnoho izolovaných jamek.

Prstencové (kráterové) pohoří vzniká při mohutném impaktu. Dnes bychom řekli, že jde o val velkého impaktního kráteru.

Anortozit je sopečná hornina podobná čediči. Je však světlejší a je složena především z živcových minerálů. Tvoří důležitou složku měsíčních pevnin.

Apollo 15 přistálo na Měsíci dne 30. července 1971 v oblasti *Hadley Rille*. Lunární modul byl na povrchu Měsíce 67 hodin, celková doba procházek astronautů v terénu činila 18 hodin, posbírali při nich 77 kg měsíčních hornin. Poprvé vyzkoušeli měsíční vozítko, které jim výrazně usnadnilo pohyb po povrchu Měsíce. Posádku Apolla 15 tvořili David Scott, Alfred Worden a James Irwin. Při přistání se jeden ze tří padáků neotevřel, ale životy členů posádky nebyly ohroženy. Kompletní seznam misí Apollo s lidskou posádkou naleznete v kapitole Tabulky.

3.15 Mladé krátery I

K mladým kráterům patří například kráter Tycho. Vidíme ho vlevo dole a nahoře. Vznikl po dopadu velké planetky na jih od Moře mraků asi před sto miliony let. Průměr má 87 km. V pravé části snímku je kráter Copernicus, který leží na jih od Moře dešťů a má průměr 90 km. Vznikl před 850 miliony lety. Velké krátery mají složitou strukturu: ploché dno, okraj vyvýšený nad okolí, středový kopec (někdy také nazývaný centrální vrcholek) a terasy na vnitřní stěně kráteru.

Copernicus je kráter pojmenovaný po Mikoláši Koperníkovi. Jde o mladý měsíční kráter na jih od Moře dešťů (*Mare Imbrium*). Má 90 km v průměru a je obklopen systémem světých paprsků a sekundárních kráterů. Podle vzorků materiálu, které přinesla posádka Apollo 12, byl kráter vyhlouben impaktem před 850 miliony let. Tím je určeno i tzv. *koperníkovské období* – poslední vývojové období Měsíce.

3.16 Mladé krátery II

Středový vrcholek v kráteru Tycho je značně členitý. Odleva doprava (tj. od jihovýchodu k severozápadu) měří 15 kilometrů. Do stínu za středovým vrcholem je vložena detailní fotografie jeho vrcholu. Snímek odpovídá 1 kilometru. Světlý balvan měří 120 metrů.

Tycho je kráter pojmenovaný po dánském astronomovi Tychonovi Brahe. Měsíční kráter se rozprostírá na jih od Moře mraků (*Mare Nubium*). Jeho průměr je 87 km.

Ve vzdálenosti asi 40 km od vnějšího svahu valu se objevují světlé paprsky, které se prostírají daleko po povrchu Měsíce. Zvlášť nápadné jsou při úplňku. Svědčí o tom, že kráter byl vyhlouben razantním impaktem před poměrně krátkou dobou (asi 100 miliony lety). Poblíž kráteru přistála automatická sonda Surveyor 7.

3.17 Voda v polárních kráterech I

Oblast severního pólu Měsíce, na kterou se právě díváme, je složena z 983 snímků pořízených měsíční sondou LRO. Snímky byly vyfotografovány v době, kdy na severní polovině Měsíce probíhalo léto. Jedním z hlavních úkolů sondy LRO bylo objevit oblasti trvalého stínu. Na této mozaice je severní pól nejlépe osvětlen, což znamená, že temná místa jsou oblasti, kam nedopadne sluneční záření. Tam lze hledat vodu, která mohla na dně neoosvětlených kráterů zůstat po dopadlých kometách.

LCROSS – viz snímek 3.5.

3.18 Voda v polárních kráterech II

Ukázalo se, že v kráterech kolem severního pólu se nachází nejméně 600 milionů tun ledu. Americký přístroj Mini-SAR na indické sondě Chandrayaan-1 objevil přes 40 malých kráterů o průměru 2 až 15 km s vodním ledem. Červené kružnice označují krátery vyhloubené teprve nedávno. Voda se sem dostala, stejně jako kdysi na Zemi, z dopadajících komet.

Chandrayaan-1 je první indická lunární sonda. Startovala dne 22. října 2008 z indického kosmodromu Šríharikota na palubě nosné rakety PSLV-XL. Sonda měla jak oběžnou část, tak impaktor, který dopadl 14. listopadu 2008 tvrdě do oblasti jižního pólu. Přístroje analyzovaly vymrštěné horniny a potvrdily přítomnost vodního ledu. Mise měla trvat dva roky, ale kvůli potížím sondy byla zkrácena na necelý rok. I tak šlo o velký úspěch indické techniky.

3.19 Měsíční jámy

Krátery vyhloubené dopadem tělesa z meziplanetárního prostoru jsou všude na povrchu Měsíce. Jámy, jako je tato, jsou naopak vzácností. Vyfotografovala ji sonda LRO v Moři touhy. Do roku 2011 byly objeveny jen tři a v následujícím roce několik dalších. Moře touhy neboli Mare Ingenii je jedno z mála moří na odvrácené straně Měsíce. Jeho detail vidíte na vloženém snímku. Jáma nalezená v Moři touhy má průměr 130 metrů. Pro-

padlo by se do ní celé fotbalové hřiště. Kameny na dnu jámy, které jsou vidět v levé části dna, do ní spadly dodatečně. Jámy jsou asi trubice, kterými protékala láva. Strop trubice byl pravděpodobně prorazen při dopadu meteoritu.

Moře touhy (Mare Ingenii) je jedno z měsíčních moří na odvrácené straně Měsíce. Moře se nachází v blízkosti pánve Ingenii. V moři dominuje výrazný kruhový kráter Thomson, jehož průměr je 112 kilometrů. Moře je celé pokryto lávou. Jižně od něho se nachází kráter Obruchev. V Moři touhy byla nalezena jedna z několika měsíčních jam objevených sondou LRO. Další jsou v Moři klidu (*Mare Tranquillitatis*) a v oblasti *Marius Hills*.

3.20 Fáze Měsíce I

Na náčrtku se díváme shora na rovinu oběžné dráhy Měsíce kolem Země. Je znázorněna plnou vnější kružnicí. Při oběhu kolem zůstává osvětlená ta polovina Měsíce, která míří směrem ke Slunci. Ze Země z ní vidíme jen část neboli fázi. Dráha Měsíce je skloněna o 6° od oběžné dráhy Země kolem Slunce. Proto je při novu Měsíc většinou buď nad rovinou ekliptiky, nebo pod ní. Jestliže je v rovině ekliptiky, pak je v novu přesně mezi Sluncem a Zemí a jeho stín dopadne na povrch Země. V oblasti měsíčního stínu pozorujeme zatmění Slunce. A naopak: Pokud je při úplňku Měsíc v rovině ekliptiky, může dojít k zatmění Měsíce, při kterém Měsíc prochází stínem Země.

Fázi Měsíce nazýváme osvětlenou část Měsíce viděnou z povrchu Země. Měsíc obíhá kolem Země, a tím se mění velikost viditelné osvětlené části. Jednotlivé fáze nazýváme nov (Měsíc je mezi Zemí a Sluncem a není viditelný), první čtvrt (měsíc má tvar písmene D), úplňk (měsíc je celý osvětlený a je na opačné straně od Země než Slunce) a poslední čtvrt (Měsíc má tvar písmene C). Střídání fází sloužilo jako časomíra (čtyři základní fáze odpovídají čtyřem týdnům). Vystřídání všech fází nazýváme *lunace* a její trvání je tzv. *synodický měsíc*.

3.21 Fáze Měsíce II

Při novu Měsíc buď vůbec nevidíme, nebo můžeme pozorovat tzv. popelavý svit. Povrch Měsíce není úplně černý, ale nepatrně svítí světlem odraženým od Země. V první a poslední čtvrti vidíme osvětlenou jednu čtvrtinu měsíčního povrchu, tedy polovinu přivrácené strany. Za úplňku je osvětlená Sluncem celá přivrácená strana Měsíce.

Při novu je Měsíc mezi Zemí a Sluncem (čili je v *konjunkci* se Sluncem), takže z osvětlené měsíční polokoule nevidíme nic. Přivrácená strana je neosvětlená slunečním

světlem. Slabě ji osvětluje odražené světlo od Země tzv. *popelavým svitem*. Pohyb Měsíce na východ od Slunce způsobuje, že ze Země vidíme rostoucí srpek. V kvadratuře je Měsíc v první čtvrti. Vidíme tvar písmene D („dorůstá“). V opozici se Sluncem vidíme celou osvětlenou polokouli – úplňk Měsíce. V západní kvadratuře vidíme Měsíc v poslední čtvrti a na cestě ke konjunkci se Sluncem (tj. k novu) vidíme srpek ve tvaru písmene C („couvá“).

3.22 Popelavý svit Měsíce

Napravo je snímek Měsíce těsně před novem a nalevo těsně po novu. Pokud se Měsíc blíží k novu, jeho srpeček se zužuje. Po průchodu mezi Zemí a Sluncem (což je nov) se objeví úzký světlý srpeček na opačném, tedy západním okraji měsíčního disku. Přestože přivrácená polovina Měsíce není osvětlena Sluncem, můžeme na ní rozeznat různé útvary. To je způsobeno osvětlením naší Zemí, která by pro pozorovatele na Měsíci byla v úplňku. Světlo Země odražené od Měsíce a vrácené zpět k Zemi nazýváme popelavým svitem. Je to slabě zjasnění neosvětlené části Měsíce. Je dobře viditelné krátce před novem a po něm.

Jas popelavého svitu přináší informace o odrazivosti (*albedu*) Země. Podle měření z družic odráží Země zpět do Vesmíru přibližně 1/3 dopadajícího slunečního záření (tj. 60 tisíc TW z dopadajících 180 tisíc TW). Odrazivost ale kolísá s časem, a to ze dvou důvodů: (1) především se mění množství oblaků, které sluneční světlo velmi dobře odrážejí zpět do Vesmíru; (2) některé oblasti odrážejí světlo velice dobře (sníh, led), kdežto jiné je spíše pohlcují (například moře). Záleží tedy na potočení Země a na roční době. Popelavý svit se pravidelně měří (například na sluneční observatoři Big Bear v Kalifornii).

Světlo neodražené od Země (tedy 2/3 dopadajícího toku záření – 120 tisíc TW) je pohlceno, zahřívá Zemi, rozdmýchává větry, pohání mořské proudy, zásobuje energií (přes fotosyntézu) biosféru včetně člověka. Měření popelavého svitu tak pomáhá sledovat celkovou energetickou bilanci Země.

3.23 Srpek Měsíce z Mezinárodní kosmické stanice

Srpek Měsíce těsně před novem byl fotografován posádkou Mezinárodní kosmické stanice při 24. expedici. Povšimněme si modré atmosféry – rozptýleného slunečního světla na molekulách vzduchu – a okolní černé prázdnoty meziplanetárního prostoru. Z povrchu Země nám právě tato modrá atmosféra nedovoluje ve dne dohlédnout do vzdálenějšího kosmu.

Mezinárodní kosmická stanice – viz snímek 1.4.

3.24 Zatmění Měsíce

Zatmění Měsíce není nic jiného než zastínění Měsíce naší Zemí. Při měsíčním zatmění je Měsíc v úplňku, je v rovině ekliptiky (nebo blízko ní) a prochází stínem Země. Stín Země se totiž táhne v rovině ekliptiky daleko za Zemí. Zatmění Měsíce lze pozorovat z celé noční poloviny Země, zatímco úplné zatmění Slunce lze vidět jen z pásu užšího než 200 kilometrů na denní polovině Země. Po době zvané Saros se všechna zatmění opakují ve stejném sledu. Jen Země je přitom asi o třetinu pootočená na východ.

Zatměním nazýváme zastínění nebeského tělesa jiným tělesem. Může být částečné nebo úplné. Zastínění Slunce Měsícem je zatmění Slunce. Zastínění Měsíce Zemí je zatmění Měsíce. Zastínění hvězdy Měsícem, planetou nebo jejím měsícem se nazývá zákryt. Pohyb stínu Galileových měsíců po Jupiterově povrchu se nazývá přechod stínu. Z místa, kam dopadne stín, není vidět Slunce a hovoříme o zatmění Slunce. Také Saturnovy měsíce a prstence vrhají stín na povrch své planety. Vstupem měsíců do stínu planety nastává jejich zatmění a stanou se pro nás neviditelnými.

Zatmění Měsíce nastane, pokud je Země mezi Měsícem a Sluncem. Za Zemí se táhne kuželový stín do vzdálenosti přes 1 milion kilometrů. Ze stínu nelze vidět Slunce. Kolem plného stínu je polostín Země, z něhož lze vidět jen část Slunce. Vstoupí-li Měsíc do stínu Země, nastává *úplné zatmění Měsíce* (totalita); jestliže prochází jen částečně stínem, je zatmění Měsíce *částečné stínové*; pokud prochází jen polostínem, jeho svit je jen oslaben a zatmění je *polostínové*. Na rozdíl od zatmění Slunce je zatmění Měsíce viditelné z celé polokoule, která má v dané chvíli Měsíc nad obzorem. Zatmění Měsíce se vyskytují řidčeji než zatmění Slunce, avšak vzhledem k tomu, že je lze pozorovat z celé noční polokoule, je počet zatmění Měsíce pro určité místo na Zemi mnohem větší než počet zatmění Slunce. Každé úplné zatmění (totalita) je provázeno zatměním částečným.

3.25 Zatmění Slunce I

Za tělesy Sluneční soustavy se táhnou dlouhé sluneční stíny. Dopadne-li stín Měsíce na Zem, dochází na ní k zatmění Slunce. Dochází k němu jenom při novu, když je Měsíc mezi Sluncem a Zemí. Na rozdíl od zatmění Měsíce lze úplné zatmění Slunce spatřit jen chvíli, a to ještě jen v úzkém pásmu (tzv. pásmu totality).

Zatmění Slunce nastane při zakrytí slunečního disku Měsícem. Je to zákryt, při němž je Měsíc mezi Sluncem a Zemí. Shodou okolností je disk Měsíce přibližně stejně veliký jako disk Slunce. Skutečný průměr Měsíce je 400× menší než průměr Slunce, avšak Měsíc je 400× blíže než Slunce. Zatmění Slunce může nastat jen tehdy,

když je Měsíc v novu. Kdyby Měsíc obíhal Zemi v rovině ekliptiky, bylo by zatmění Slunce každý měsíc.

Dráha Měsíce je však k ekliptice skloněna o 6° . Měsíc v novu se proto někdy nachází nad ekliptikou, jindy pod ekliptikou a k zatmění nedojde. Jen když je Měsíc při novu v ekliptice nebo blízko ní, dojde k zatmění Slunce. Průsečíky měsíční dráhy s rovinou ekliptiky se nazývají *uzly*. Měsíc je blízko ekliptiky jen tehdy, když je blízko uzlu.

Zakryje-li Měsíc jen část slunečního disku, mluvíme o *částečném zatmění*. Pokud je zakryto celé Slunce, nastává úplné zatmění. Měsíc obíhá Zemi po eliptické dráze. V důsledku toho může být uzel natolik vzdálen, že kužel měsíčního stínu nedosáhne na povrch Země. Disk měsíční je pak menší než disk sluneční a dochází k *prstencovému zatmění*.

3.26 Zatmění Slunce II

Takto vypadá zatmění Slunce z Vesmíru. Snímek pořídil francouzský astronaut z Mezinárodní kosmické stanice. Při zatmění Slunce přechází stín Měsíce po Zemi. Pozorovatel nacházející se ve stínu vidí úplné zatmění Slunce. Pozorovatelé v polostínu vidí jen částečné zatmění Slunce. Čím blíže jsou k plnému stínu, tím větší část Slunce je pro ně Měsícem zakryta.

Saros je důležitá perioda 18 let a 11 dnů, přesně 6 585 dnů, 7 h 42 min (6 585,32 dne). Po této době se Země, Slunce, Měsíc a uzly měsíční dráhy dostanou do téže polohy. Tato perioda se rovná 223 synodickým měsícům. Z toho vyplývá, že zatmění Slunce a zatmění Měsíce se opakují po době *saros* ve stejném sledu a ve stejné velikosti. Počet dnů v periodě saros není celistvý, neboť v okamžiku souhlasné polohy všech tří těles a uzlu je Země vzhledem k předcházejícímu zatmění pootočena o 7 h 42 min (115°) dále k východu. To znamená, že dráha opakovaného zatmění Slunce na Zemi je posunuta o 115° k západu. Za období saros se vystřídá 29 zatmění Měsíce a 41 zatmění Slunce.

Tato důležitá měsíční perioda byla známa Babyloňanům už v 2. tisíciletí př. n. l. Označení zavedli Chaldejci. Perioda saros byla používána k předpovídání zatmění. Thalés z Milétu předpověděl pomocí periody saros zatmění 28. května 585 př. n. l. Pravděpodobně všechna zatmění v době 750 př. n. l. až 100 n. l. byla předpovězena pomocí periody saros.

Zatmění Slunce je nejenom krásný přírodní úkaz, ale slouží i k vědeckým účelům. Při zatmění v roce 1919 byl detekován ohyb světla kolem Slunce způsobený jevy obecné relativity. Při zatmění je také možné pozorovat vnitřní, tzv. bílou korónu.

3.27 Úplné zatmění Slunce

Při úplném zatmění Slunce zakryje Měsíc povrch neboli fotosféru Slunce. Září jen světlo Slunce rozptýlené na elektronech koróny a slunečního větru. Sluneční koróna je nejrozsáhlejší část sluneční atmosféry. Prostor v koróně je prostoupen magnetickými siločarami, které vidíme jako světlé paprsky. Podél siločar uniká ze Slunce sluneční vítr rychlostí několika set kilometrů za sekundu. Na elektronech slunečního větru dochází k rozptylu světla vyzařovaného fotosférou.

Pás úplného zatmění (pás totality) je pruh na povrchu Země, kterým prochází stín Měsíce a v němž lze vidět úplné zatmění Slunce. Měsíční dráha je elipsa, takže vzdálenost Měsíce při zatmění může být různá. Je-li Měsíc při zatmění v apogeu (nejvíce vzdálen), jeho disk je menší než disk Slunce a kužel jeho plného stínu nedosáhne na zemský povrch ani vrcholem. Úplné zatmění pak nelze na Zemi pozorovat. V úzkém pásu lze vidět pouze prstencové zatmění. Nastane-li zatmění Slunce v době, kdy je Měsíc v perigeu (nejblíže Zemi), jeho disk je větší než disk Slunce a v pásu širokém až 250 km lze pozorovat úplné zatmění Slunce („totalitu“).

Nejdelsí úplné zatmění může trvat přibližně 7,5 minuty. Naprostá většina úplných zatmění však trvá kratší dobu. Částečná zatmění jsou úkazem mnohem delším, mohou trvat až 2,5 hodiny. Pro dané místo na zeměkouli je úplné zatmění Slunce velmi vzácným jevem. Průměrně k němu totiž dochází jednou za 360 let. Úplné zatmění Slunce nemohl vidět nikdo z nás, pokud neopustil naši republiku, nebo mu není více než 307 let. Poslední úplné zatmění Slunce pozorovatelné z našeho území se odehrálo 12. května 1706 a na to další si budeme muset počkat do 7. října 2135.

3.28 Měsíc a slapy

Měsíční přitažlivost působící na Zemi je větší pod Měsícem než na opačné straně Země. Rozdíl těchto dvou přitažlivých sil nazýváme slapová síla. Slapy se snaží protáhnout Zemi a vodstvo na jejím povrchu. Pod Měsícem a na opačné straně se vytvoří přílivové vzedmutí, které zůstává stále pod Měsícem a na opačné straně Země. Pod těmito vzedmutími se otáčí Země, takže hladina vod střídavě stoupá a klesá. Hovoříme o přílivu a odlivu. Slapy zpomalují rotaci Země. Přenos rotační energie ze Země na Měsíc prostřednictvím slapů znamená zpomalení rotace Země o 1,5 až 2 tisíce sekund za století a vzdalování Měsíce asi o 3,8 cm za rok.

Je šťastnou náhodou, že úhlový průměr Měsíce je na obloze přibližně stejný, jako úhlový průměr Slunce (0,5°). Přestože je Slunce čtyřistakrát dále než Měsíc, je úhlově stejně veliké, protože má čtyřistakrát větší průměr než Měsíc. Jedině díky stejné

úhlové velikosti můžeme spatřit tak výjimečný jev, jako je úplné zatmění Slunce, při kterém spatříme na denní obloze sluneční korónu. Tato náhoda ale přejde jen současným generacím. Měsíc si v důsledku slapové interakce vyměňuje se Zemí moment hybnosti, a proto se od Země vzdaluje o 3,8 cm za rok. V budoucnosti bude úhlově menší a jeho kotouč již sluneční disk plně nezakryje.

3.29 Měsíc a precesní pohyb zemské osy

Přitažlivé síly Měsíce a Slunce působí dvojicí sil na rovníkovou vřduť Země a snaží se dostat rovník do oběžné roviny Měsíce a do ekliptiky. Země reaguje precesním pohybem, tzv. lunisolární precesí, při níž osa zemská opíše kužel jednou za 25 800 let. Tuto periodu nazýváme platónský rok. Osa opisovaného kužele je kolmá k ekliptice a protíná oblohu v pólu ekliptiky, který je v souhvězdí Draka. Precesním pohybem zemské osy se mění poloha světového pólu na obloze. Dnes je asi 1° od Polárky a za 12 000 let se přemístí do blízkosti Vega v souhvězdí Lvy. S otáčením osy se také mění poloha světového rovníku; posouvají se tedy i jeho průsečíky s ekliptikou, jarní bod a podzimní bod. Posouvají se po ekliptice západním směrem, proti zdánlivému pohybu Slunce.

Precese je krouživý pohyb osy rotujícího tělesa způsobený momentem síly. Nejnazornějším příkladem je roztočený vlček (káča): na jeho osu působí síla kolmá k tíži. Astronomickou precesi objevil kolem roku 125 př. n. l. *Hipparchos*, když porovnával polohy nejjasnějších hvězd ve zvířetníku s polohami zaznamenanými astronomy více než stoletím. Zjistil, že se jarní bod za tu dobu posunul asi o 1° . Vlivem lunisolární precese se oba body rovnodennosti posunou po ekliptice o $50,40''$ za rok. Poloviční vrcholový úhel precesního kužele zemské osy je roven sklonu rovníku vůči ekliptice ($23^\circ 27'$).

3.30 Vznik Měsíce

Měsíc byl vytvořen z materiálu Země. Svědčí o tom podobnost materiálu Měsíce a horních vrstev Země. Podle výpočtů Měsíc vzniknul tečným nárazem tělesa o velikosti Marsu do Země. Brzy po jejím vzniku bylo z jejího povrchu obrovským impaktem vyraženo více než procento materiálu, který obíhal Zemí a stmelil se vlastní gravitací do Měsíce. V místě dopadu se vytvořil mohutný blok žhavých plynů z obou těles. Výbuch vymrštil plyny, částice a balvany skal na oběžnou dráhu kolem Země. Tření, srážky a gravitace stmelily obíhající oblak materiálu v Měsíc.

Měsíc je synem Země a jejím věrným průvodcem. Země a Měsíc vznikly z různých částí téhož materiálu. To dosvědčuje stejné zastoupení izotopů kyslíku v horninách

Země i Měsíc. Měsíc má však mnohem méně železa a těch lehkých prvků, které tvoří na Zemi atmosféru a vodstvo. V počátečním období byl Měsíc pokryt do velké hloubky roztaveným žhavým oceánem magmatu. V něm plavaly velké bloky lehkých hornin, které zůstaly dodnes jako vyvýšené pevniny (světle šedé vyvýšené oblasti dobře viditelné i pouhým okem). Po ztuhnutí magmatického oceánu (v době před 4,5 až 4 miliardami roků) byl Měsíc bombardován řadou planetek různé velikosti a rychlosti, které v něm vyhloubily mnoho kráterů a pánve větší než Čechy. Jejich rozsáhlé prohlubně se v době před 3,9 až 3,2 miliardami roků zaplnily lávou vytékající z nitra. Dnes je můžeme vidět pouhým okem jako tmavé nížiny, nazývané starým nevhodným názvem moře.

3.31 Vývoj Měsíce

Při krátkodobém pozorování by se nám mohlo zdát, že je Měsíc neměnný. Krátery a další útvary na povrchu nejeví viditelné známky jakýchkoli změn. Sledujme, jak se Měsíc vyvíjel od nejranějších počátků až po současnost.

3.32 Apollo 17 – měsíční krajina I

Prvým kosmickým tělesem, které pozemšťané navštívili, byl Měsíc Země. Měsíců je ve Sluneční soustavě dnes (2013) známo u planet celkem 172. Mars má 2 měsíce, Jupiter 67, Saturn 62, Uran 27 a Neptun 13. A další malé se stále objevují. Povrch Měsíce je pokryt vrstvou prachu a úlomků hornin – tzv. regolitem.

Apollo 17 přistálo na Měsíci dne 11. července 1972 v oblasti *Taurus Littrow*. Lunární modul byl na povrchu Měsíce 75 hodin, celková doba procházek astronautů v terénu činila 22 hodin, posbírali při nich 111 kg měsíčních hornin. Apollo 17 bylo posledním letem programu Apollo, ostatní lety, byť připravené, byly zrušeny. Posádku Apolla 17 tvořili Eugene Cernan, Ronald Evans a Harrison Schmitt. Velitel lodi, Eugene Cernan, má český původ.

3.33 Apollo 17 – měsíční krajina II

Nedaleko místa přistání měsíčního modulu pracuje geolog Harrison Schmitt v blízkosti lunárního vozítka. To používali Američané k pohybu po měsíčním povrchu. Za ním je Rodinná hora, vlevo úpatí Jižního masivu. Všude kolem je bezútesná pustota. Korpuskulární sluneční záření zanechalo v povrchových horninách a minerálech některé chemické prvky a radioaktivní izotopy. V měsíčních kamenech je tak zapsána historie Slunce, přes-

ně řečeno slunečního korpuskulárního záření a tím i sluneční činnosti. Tak dlouhodobé záznamy o Slunci nejsou nikde jinde dostupné.

To, co Galileo považoval za povrch moře, je ve skutečnosti bezútěšná vyprahlá krajina bičovaná zářením z Vesmíru, slunečním větrem a meteority z okolí (jejichž dopady pozorují amatéři astronomové jako záblesky). Díky inteligenci člověka se život z povrchu Země dostal na Měsíc. V nepříliš daleké budoucnosti tam lidstvo vybuduje trvalé sídliště. V obou polárních oblastech je mnoho vody. Byla přinesena kometami (stejně jako naše voda na Zemi) a zůstala v hlubokých temných kráterech, kam nedopadnou sluneční paprsky. Led nemohl tedy sublimovat. Obrazně řečeno, hluboké neosvětlené krátery jsou polární „mrazničky“, v nichž se uchovává zmrzlá voda.

3.34 Posádka Apolla 17

Člověk si Měsíc prozkoumal na místě. Odtud uviděl Zemi jako nebeské těleso. Ti, co tam byli, obdivovali její krásu, jsou skrovní a pokorní. Velitelem posledního Apolla 17 byl Eugene Cernan, astronaut českého a slovenského původu. Po skončení projektu Apollo Cernan prohlásil: „Díky Apollu se podařilo realizovat zdánlivě nemožný sen. Je to úspěch celého národa. Věřím, že příští úspěchy budou dosaženy celým lidstvem. Apollo byl pouze začátek. Začátek, který neskončí, pokud v lidech zůstane touha po poznání.“

Apollo (program) – viz snímek 2.13.

3.35 Měsíc v dějinách I

Ani pro japonského básníka nebyl Měsíc žádným mrtvým suchopárem, ale obrazem čiperného života

*Jasmínu loubí. Sedím u vína,
zve dobré druhy dobrá hodina – a já jsem sám.*

*V tom náhle nad strání kulatý měsíc se mi uklání,
a já jemu.*

*Se mnou v modrý nebes klín
můj kývá stín.*

*Společnost poklonami nešetří -
tak byl jsem sám a teď jsme tři.*

(Li Po; překlad B.Mathesius)

3.36 Měsíc v dějinách II

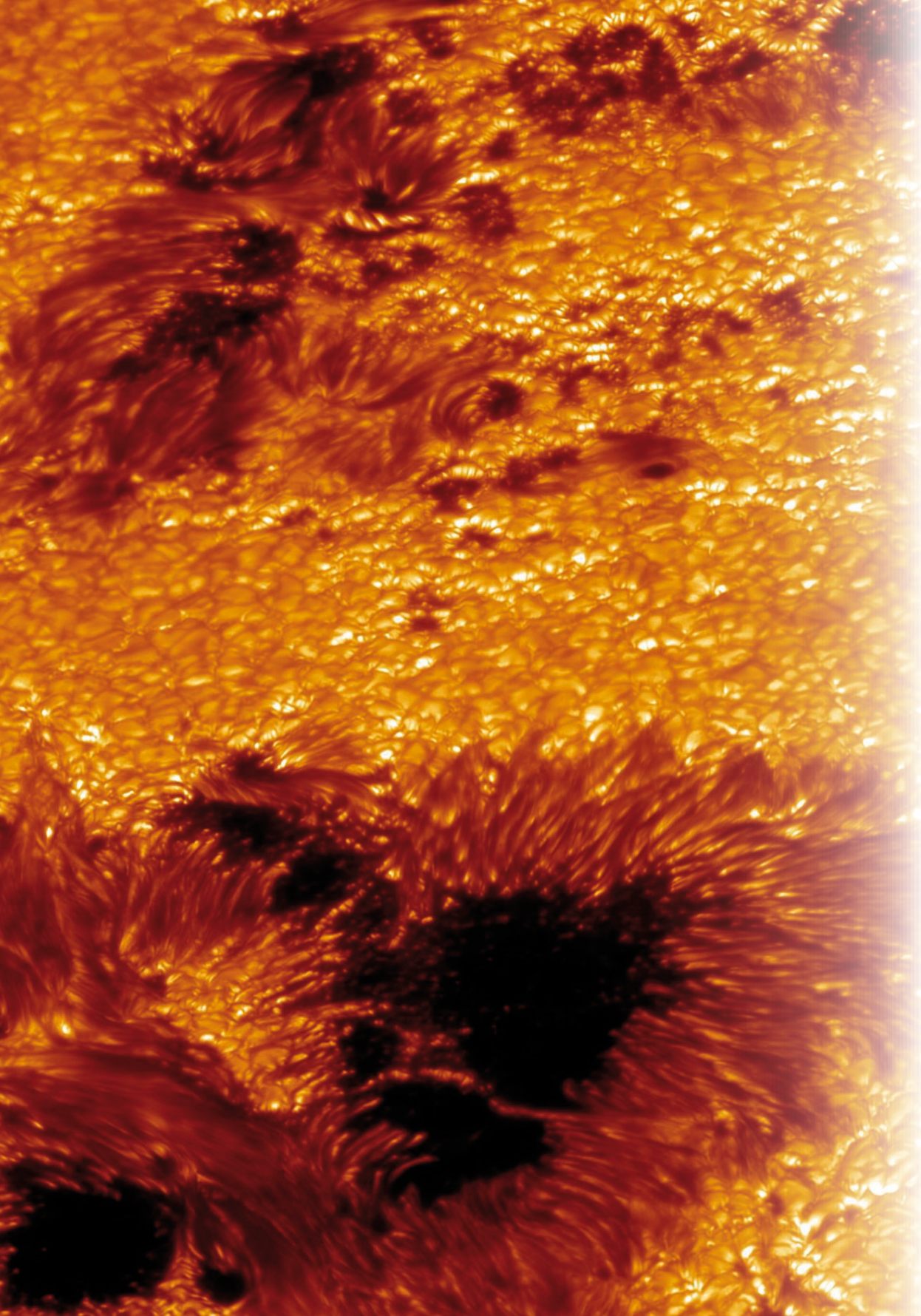
Měsíc měl velký význam i pro řeckou a římskou civilizaci. Řecká bohyně Měsíce se jmenovala Selene, římská Luna. Na hlavě má srpeček Měsíce, v pravé ruce pochodeň – symbol světla. Tato socha je umístěna ve Vatikánském muzeu. Bohyně Měsíce byla pod různými jmény uctívána u mnoha národů světa. K jejím nejznámějším jménům patří: Selene, Artemis, Cynthia a Luna.

Zdroje ke třetí prezentaci

- 3.1 http://solarsystem.nasa.gov/multimedia/display.cfm?Category=Planets&IM_ID=1879
- 3.2 http://solarsystem.nasa.gov/multimedia/display.cfm?IM_ID=9763
<http://eol.jsc.nasa.gov/scripts/sseop/photo.pl?mission=AS17&roll=148&frame=22727>
http://www.traipse.com/earth_and_moon/index.html
- 3.3 http://astrobusan.com/xc/guest_astrophoto/189964
- 3.4 <http://grin.hq.nasa.gov/ABSTRACTS/GPN-2000-001437.html>
- 3.5 http://www.nasa.gov/centers/goddard/news/topstory/2007/LRO_project.html
- 3.6 <http://lroc.sese.asu.edu/news/index.php?/archives/345-Farside!-And-all-the-way-around.html>
- 3.7 <http://apod.nasa.gov/apod/ap010906.html>
http://www.nasa.gov/mission_pages/LRO/news/lro-farside.html
- 3.8 http://www.nasa.gov/mission_pages/LRO/multimedia/LROimg2_20080423.html
http://wms.lroc.asu.edu/lroc/global_product/color_shaded_relief
- 3.9 Archiv autora
- 3.10 http://www.nasa.gov/multimedia/imagegallery/image_feature_1029.html
- 3.11 <http://apod.nasa.gov/apod/ap010906.html>
- 3.12 http://nssdc.gsfc.nasa.gov/imgcat/html/object_page/a17_m_2444.html
<http://www.psrhawaii.edu/April04/lunarAnorthosites.html>

- 3.13 Archiv autora
- 3.14 <http://apod.nasa.gov/apod/ap070823.html>
- 3.15 http://www.lpi.usra.edu/lunar/missions/clementine/images/img8_lg.gif
http://moonscience.yolasite.com/wac_mosaics.php
<http://lunarscience.nasa.gov/robots/2010/10/08/02/understanding-rim-haughton-crater>
- 3.16 <http://roc.sese.asu.edu/news/?archives/411-Tycho-Central-Peak-Spectacular!.html>
- 3.17 <http://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA14024>
- 3.18 http://www.nasa.gov/mission_pages/Mini-RF/multimedia/feature_ice_like_deposits.html
- 3.19 <http://www.lroc.asu.edu/news/index.php?/archives/246-Depths-of-Mare-Ingenii.html>
<http://www.lpod.org/coppermine/displayimage.php?pid=358&fullsize=1>
- 3.20 Archiv autora
- 3.21 <http://www.youtube.com/watch?v=4yZ-6zv8paU>
- 3.22 <http://www.eurastro.de/observ/jld/conjun/conjun.htm>
<http://apod.nasa.gov/apod/ap120324.html>
- 3.23 <http://spaceflight.nasa.gov/gallery/images/station/crew-24/html/iss024e013819.html>
- 3.24 Archiv autora
- 3.25 Kresba AGA
- 3.26 <http://apod.nasa.gov/apod/ap990830.html>
- 3.27 Archiv autora
- 3.28 http://en.wikipedia.org/wiki/File:Earth_Viewed_From_Space.jpg
- 3.29 Kresba AGA + [http://en.wikipedia.org/wiki/Axial_precession_\(astronomy\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Axial_precession_(astronomy))
- 3.30 Archiv autora
- 3.31 http://www.nasa.gov/multimedia/videogallery/index.html?media_id=135568801
- 3.32 http://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2005/22apr_dontinhale/

- 3.33 <http://grin.hq.nasa.gov/ABSTRACTS/GPN-2000-001149.html>
- 3.34 <http://grin.hq.nasa.gov/ABSTRACTS/GPN-2000-001151.html>
- 3.35 <http://bashosroad.outlawpoetry.com/li-po-drinking-in-the-east/li-po/haiku/>
<http://images.qwqw.hu/?modul=oldal&tartalom=1160661>
Fotografie AGA
- 3.36 Archiv autora



4. Naše hvězda Slunce

Slunce je ze stejného materiálu (čili stejných atomů) jako náš organizmus. Po hmotné stránce je „naším bratrem“, jak ho nazval před osmi stoletími bratr František z Asisi. Atomy, z nichž je náš organizmus vybudován, byly totiž vytvořeny současně před sedmi miliardami roků v téže mateřské hvězdě (supernově) jako ty atomy, z nichž je složeno Slunce. On mu však říká „Pán“ bratr Slunce – jakoby znal naši naprostou závislost na sluneční energii. Bez Slunce by na Zemi žádný živý tvor – tedy ani člověk – nemohl existovat.

Slunce je jen zcela obyčejná hvězda, jakých jsou v Mléčné dráze (naší Galaxii) miliardy. Pro nás je však ze všech hvězd nejdůležitější. Toho si byly vědomy různé národy a uctívaly Slunce jako nejdůležitější božstvo. Stavěly mu chrámy a modlily se k němu (například modlitba k vycházejícímu Slunci-Suryovi ve staroindických Védách). Kdyby Abraham začal ukazovat každou sekundu na jednu hvězdu, když před 4 tisíci roky odcházel z Uru, a jeho potomci pokračovali bez přerušení v počítání ve dne i v noci, museli by počítat ještě tři tisíce roků. Slunce (s jeho planetami) by v těch sedmi tisíciletích počítání také někde mělo svou jedinou sekundu.

Co je Slunce? Není žádným božstvem – jak se domnívaly mnohé národy. Je to obrovská koule žhavých plynů, především vodíku a hélia. Jsou tam i všechny ostatní prvky, o nichž se učíme v chemii – ale těch je všech dohromady jen asi jedno procento všech atomů. Mohli bychom říci, že tvoří jen jakousi špínu ve vodíku a héliu. Ve středu Slunce, za teplot kolem 15 milionů kelvinů, se mění vodík v hélium. Každou sekundu se přemění 560 milionů tun vodíku v hélium. Při tom se uvolňuje obrovské množství záření. Tento proces, přeměna vodíku v hélium, je zdrojem energie velké většiny hvězd, které vidíme na obloze. Hvězdy jsou jaderné – přesněji řečeno dokonalé termojaderné – reaktory na obloze, naprosto bezpečné a zadarmo.

Ta pozemská napodobenina Slunce – termojaderný reaktor ITER budovaný v jižní Francii – nemůže být tak dokonalý jako Slunce, neboť bude využívat deuterium – energeticky méně hodnotné palivo než vodík využívaný Sluncem. Je přitom tak drahý, že se na něj musí složit několik nejbohatších států světa. Kdy konečně dojde rozhodujícím politikům, že mnohem dokonalejší „ITER“ už má Země na obloze od svého vzniku – a zadarmo? Dopouštějí se trestuhodného zločinu v energetice. V dnešní době – po několika haváriích atomových elektráren – se lidé opět vracejí ke Slunci jako k nejdůležitějšímu zdroji energie.

Sine sole nihil sum – Bez Slunce nejsem nic.

(moudrost starých generací)

4.1 Úvod

Když se člověk zmocňoval věcí tím, že jim dával jména, Slunce bylo mezi prvními, které pojmenoval. Bylo velmi důležité v jeho životě a udávalo rytmus všemu živému kolem. Naprostá závislost všeho živého na slunečním záření je příliš nápadná, aby zůstala bez povšimnutí našich dávných předků. Slunce jim bylo bohem, dárce života, kterého je třeba uctívat modlitbou a přinášet mu oběti. Těžko bychom hledali v dějinách kulturu, v níž by Slunce nemělo své důstojné místo.

4.2 Srovnání velikosti Slunce a nejbližších tří hvězd

Slunce patří spíše k těm menším hvězdám v Mléčné dráze. Na obloze najdeme hvězdy nejenom mnohem větší, ale i mnohem menší, než je Slunce. Světlo ze Slunce k nám doletí za pouhých osm minut. Od nejbližší další hvězdy, Proximy Centauri, k nám letí přes 4 roky. Proxima je součástí trojhvězdy Rigil Kent neboli Kentaurovy nohy. Samotná Proxima okem viditelná není, ale Rigil Kent je nejjasnější hvězdou v jižním souhvězdí Kentaura a třetí nejjasnější hvězdou na obloze vůbec. Dvě jasnější složky A a B tvoří žluto-oranžovou vizuální dvojhvězdu. Oběhnou se navzájem za 80 let. Žlutá složka se velmi podobá Slunci. Třetí složkou je velmi slabá Proxima Centauri, která je viditelná pouze většími dalekohledy.

Proxima Centauri je hvězda nejbližší ke Sluneční soustavě. U nás je stále pod obzorem. Proxima Centauri je červený trpaslík. Občas na ní dochází k erupcím – podobně jako na Slunci. Patří do trojhvězdy nazývané Alfa Centauri (Rigil Kent). Obíhá obě jasnější složky a v současné době je od nás vzdálena 4,3 světelného roku. Je k nám o světelný měsíc blíže než obě jasné hvězdy. Během oběhu se bude vzdalovat, takže za čas přestane být Proximou (nejbližší hvězdou). Lze ji vidět jen ve větším dalekohledu.

Rigil Kent („noha Kentaura“, Toliman; Alfa Centauri, α Cen) je nejjasnější hvězda v jižním souhvězdí Kentaura (*Centaurus*) a třetí nejjasnější hvězda na obloze (jasnější jsou jen Sírius a Canopus). Je to trojhvězda. Jasnější složky se nazývají A a B a mají žlutou a oranžovou barvu. Lze je rozpoznat v dalekohledu, tvoří tzv. *vizuální dvojhvězdu*. Složky se navzájem oběhnou za 80,1 roku. Žlutá složka se podobá našemu Slunci. Kolem dvojice ještě obíhá malý červený trpaslík, Proxima Centauri. Soustava je na obloze tak jasná jen proto, že jsou k nám tyto hvězdy velmi blízko. Samotné souhvězdí Kentaura nalezneme na jižní obloze. Je pojmenováno podle tvora s koňským tělem a lidským torzem. Byl jím například moudrý a učený Chiron, přítel bohů a hrdinů. Byl učitelem Kastora, Polluxe, Achilla, Herakla a Aeskulapa.

4.3 Uctívání Slunce

Slunce bylo jako božstvo uctíváno snad všemi národy. Bůh Slunce byl také jedním z nej-mocnějších slovanských bohů. Měl svatyni v Retře na území Polabského kmene Luticů. Jmenoval se Svarožič a byl uctíván také u Rusů. Podle kronikáře Thietmara Merseburského, který žil kolem roku 1 000, byla Svarožičova svatyně vybudována ze dřeva na hradě Radegast. Později, v 11. a 12. století se bůh Slunce Svarožič častěji nazýval Radegast.

Faraon Achnaton vládl přibližně v letech 1352–1334 př. n. l. Zapudil tradiční bohy a zavedl kult Slunce (Atona – Slunečního kotouče). Byl to prvý *monoteizmus* – uctívání jediného božstva. Po návratu Židů ze zajetí v Egyptě Mojžíš v knize Genezis vyjadřuje také monoteistický názor, ale Bůh u něj je bytost nehmotná, stvořitel Vesmíru. Tento názor setrvává dodnes v judaizmu, křesťanství a v islámu. V Egyptě byl monoteizmus odstraněn brzy po smrti faraona Achnatona.

Apollon, řecký bůh Slunce, byl tažen po obloze čtyřspřežím. Tak si Řekové vysvětlovali pohyb Slunce po obloze. Novodobá socha Apollonova vozu ve Versailles je koncipována tak, že se vůz táhnoucí spřežení vynořuje z jezera.

Severské národy si pohyb Slunce po obloze vysvětlovaly také tak, že je taženo na voze. Ve dne bylo Slunce taženo od východu k západu a lidé viděli pravou – tj. pozlacenou stranu disku. Levá (tj. zadní) strana disku je temná. Takže když se vůz se Sluncem vracel od západu k východu, nebylo nic vidět – byla noc. Na fotografii je vzácný nález z doby bronzové, který je uložen v Muzeu v Kodani. Sluneční vůz je datován do období přibližně 1 300 př. n. l.

Surya v Konaraku je chrám boha Slunce ve státě Orisa ve východní Indii. Na snímku jsou zřetelná kola, vytesané symboly Slunce.

4.4 Slunce v umění

Slunce je častým námětem i v umění, v současné tvorbě ale již nevystupuje jako božstvo. Malíři koncem 19. století vyjadřují dojem, náladu a smyslové zážitky z přírody. Claude Monet prezentoval na jedné výstavě obraz s názvem „Imprese – východ Slunce“. Na obraze je Slunce vycházející nad mořem a jeho odraz na vodní hladině. Podle tohoto Monetova obrazu získal název celý umělecký směr – impresionismus. Slunce a sluneční světlo je také zobrazováno na obrazech dalšího významného impresionisty, Vincenta van Gogha. Vpravo nahoře vidíte plastiku Richarda Lippolda, velkého sochaře dvacátého století. Dílo bylo vytvořeno z 3 kilometrů pozlaceného drátu. Dráty jsou svařeny na 14 tisících bodech a Lippold na tomto díle pracoval tři roky. Na prostřední fotografii vidíte sochu Skleněné

slunce. Socha je 4 metry vysoká a jejím autorem je současný americký umělec Dale Chihuly.

Claude Oscar Monet (1840–1926) byl francouzský impresionistický malíř. Jeho obrazy jsou naplněné světlem a zářivými barvami. Skládají ze s bezpočtu tahů štětce, které zaznamenávají náladu, neklid a smyslový zážitek vyvěrající z pozorované krajiny. Claude Monet je považován za otce impresionismu.

Vincent Willem van Gogh (1853–1890) byl nizozemský malíř, který byl za svého života téměř neznámý. Gogh vytvořil v průběhu deseti let přibližně 2 000 maleb a kreseb. Změnil náhled na tradiční impresionistickou malbu a stal se zakladatelem expresionismu. Ovlivnil především umělce první poloviny 20. století.

Richard Lippold (1915–2002) byl americký sochař, který při své tvorbě využíval zejména drátěné prvky. Od roku 1937 do roku 1941 pracoval jako průmyslový návrhář, teprve později se stal uznávaným sochařem a přednášel teorii umění na několika univerzitách.

Dale Patrick Chihuly (1941) je americký sochař, který při své tvorbě využívá sklo. Vystudoval interiérový design, techniku práce se sklem se učil v italských Benátkách. V roce 1976 při autonehodě oslepl na jedno oko, ale práce se sklem se nevzdal a stal se jedním z významných moderních umělců současnosti.

4.5 Mnoho otázek

Při pohledu na Slunce nás napadá celá řada otázek. Kde se Slunce nachází ve Vesmíru? Kdy a jak vzniklo? Jak žije Slunce dnes? Jaké je Slunce uvnitř? Odkud bere Slunce energii? Kolik sluneční energie získává Země? Jak souvisí sluneční energie se životem? Jak a kdy Slunce zanikne? Je Slunce obyčejnou hvězdou, nebo se od ostatních hvězd nějak výrazněji liší? Pojďme společně na tyto otázky hledat odpovědi.

4.6 Poloha Slunce v Mléčné dráze

Naše Slunce je jednou z hvězd naší Galaxie – Mléčné dráhy. Mléčná dráha na obloze je ve skutečnosti naše Galaxie viděná zevnitř. Z místa za souhvězdím Ryb ze vzdálenosti jednoho milionu světelných roků by Galaxie vypadala tak, jak je znázorněno na hořejší části perokresby. Galaxie by rotovala jako celek ve směru proti hodinovým ručičkám. Ze stejné vzdálenosti bychom naši Galaxii za hvězdami Střelce viděli jako plochý disk na obrázku v dolní části. Slunce je jednou z více než dvou set miliard hvězd v Mléčné dráze.

Nachází se přibližně 26 000 světelných roků od středu Galaxie, která má v průměru přes 100 000 světelných roků.

Vlastnosti naší Galaxie – Mléčné dráhy – naleznete v kapitole Tabulky.

4.7 Vznik Slunce

Před přibližně sedmi miliardami let ve Vesmíru explodovala supernova. Při svém zániku tato obří hvězda rozmetala do okolí materiál obohacený o prvky, které postupně vznikaly v jejím nitru. Tyto prvky se staly stavebními kameny budoucí Sluneční soustavy. V prostoru mezi hvězdami se atomy vytvořené mateřskou supernovou shlukovaly do zrn z uhlíku, křemíku a železa. Na těchto zrnech se zachytávaly atomy vytvořené v mateřské supernově a spojovaly se do molekul. Shlukly se do oblaku nazývaného globule. Sluneční globule byla držena pohromadě vlastní gravitací a měla zhruba 4 světelné roky v průměru. Vývoj od globule k dospělému Slunci trval přibližně 10 milionů roků. V té době se globule smršťovala vlastní gravitací a zahřívala se. Do Protoslunce ve středu globule se nahustila velká většina jejích plynů a prachu. Jen malý zbytek obíhal kolem Protoslunce ve tvaru plochého protoplanetárního disku neboli proplydu, ze kterého se zrodily planety a ostatní tělesa Sluneční soustavy.

Zbytky supernovy **Cassiopeia A** se nacházejí u otevřené hvězdokupy M 52 v Kasiopěji. Objevily se na naší obloze asi před 350 lety. Avšak ve skutečnosti supernova vybuchla před 8 tisíci roky, neboť je od nás vzdálena zhruba 8 000 světelných roků. Její plyny se dosud rozpínají rychlostmi kolem $6\,000\text{ km s}^{-1}$. Objekt je rozsáhlým zdrojem rentgenového záření. Spektroskopický rozbor zbytků Cas A ukazuje, že jsou složeny z kyslíku, síry, vápníku, neonu a jiných prvků vzniklých nukleogenezi v supernově. Je to potvrzení správnosti našich představ o vzniku prvků ve hvězdách. Mateřská obří hvězda naší Sluneční soustavy zanikla podobným způsobem před sedmi miliardami roků. Vytvořila prvky pro Slunce a jeho soustavu.

Sluneční globule je zárodek budoucí Sluneční soustavy, který byl držen pohromadě vlastní gravitací. Byla rozsáhlá zhruba 4 světelné roky v průměru. Na okraji byla velice řídká – stovky molekul a tisíce atomů v 1 cm^3 . Sem tam nějaké zrníčko prachu, menší než tisícina milimetru. Jsou to droboučké částice uhlíku, železa a křemíku.

Uprostřed globule je hustota všeho tisíckrát větší – až několik milionů atomů a molekul v cm^3 . Pevných zrníček je také více a navíc jsou obalena ledovým obalem. V globuli byl hrozný mráz – několik kelvinů. To znamená, že se tam atomy a molekuly pohybovaly pomalu – asi deset metrů za sekundu. Pro srovnání uveďme, že molekuly vzduchu, který dýcháme, mají rychlost několik stovek metrů za sekundu. Sluneční

globule je společným předkem Slunce, Země a všeho živého vůbec. Na snímku je temný oblak FeSt 1-457 vyfotografovaný při celooblohové přehlídce 2MASS.

Smršťující se a zahřívající se globuli nazýváme Protoslunce (obecně protohvězda). Globule byla vybavena obrovskou energií jadernou (neboť byla především z vodíku obyčejného i těžkého – paliva pro termojadernou fúzi). Pro svůj velký rozsah (asi 4 světelné roky) byla též vybavena velkou gravitační energií (neboť každá její částice se přitahuje gravitační silou se všemi ostatními částicemi globule). Smršťováním se vzdálenosti mezi částicemi zmenšovaly, a tak se zmenšovala celková zásoba gravitační energie v globuli. Úbytek se měnil (z poloviny) v teplo a (z poloviny) v záření Protoslunce. Když teplota v jádru dosáhla přes 7 milionů K, na uvolňování energie začala postupně participovat jaderná síla (přeměnou vodíku v hélium). Až jaderná síla po devíti milionech roků nahradila gravitaci v uvolňování energie úplně, Protoslunce se v té chvíli stalo normální hvězdou. V jednom spirálním ramenu Mléčné dráhy se tehdy (tj. před pěti miliardami roků) zrodila nová hvězda – Slunce. Do Protoslunce ve středu globule se nahustila velká většina jejích plynů a prachu.

Protoplanetární disk (proplyd) je jen malý zbytek látky, který obíhal kolem Protoslunce ve tvaru plochého disku. Od Protoslunce dul velmi silný vítr (protosluneční vítr), který z vnitřní části disku vymetl všechny lehké plyny (především vodík a hélium). Zbyly tam jen pevná zrnka a částice, z nichž se později stmelením (*akrecí*) vytvořily skalnaté planety (Merkur, Venuše, Země a Mars). Z lehkých plynů vznikaly obří plynné planety – Jupiter, Saturn, Uran a Neptun. Jejich poloha se podle posledních výzkumů ve Sluneční soustavě měnila. Hovoříme o tzv. *migraci* velkých planet. Velké planety sice vznikaly ve vnějších oblastech Sluneční soustavy, nicméně podstatně blíže ke Slunci, než se nacházejí dnes.

Srážkami zrn, oblázků skal a větších planetezimál a jejich splýváním vznikaly planetky a velké planety. Od Slunce (a to platí obecně od rodící se hvězdy) podél osy tryskají proudy, které zahřívají plyny nad a pod diskem. Zahřátím se spojí kyslík s vodíkem ve vodu – jako při školním pokusu, kdy jsme ve zkumavce jiskrou zapálili směs vodíku s kyslíkem, a výsledkem bylo několik kapek vody na stěnách zkumavky. Podobně – ale v obrovském měřítku – vzniká voda ve Vesmíru u rodících se hvězd. Voda byla vytlačena mohutným větrem Protoslunce do vnější části protoplanetárního disku.

Za polovinou pásu planetek je část Sluneční soustavy nazývaná „Vodní část Sluneční soustavy“. Jsou v ní ledové měsíce a především mnoho komet – zvláště v Kuiperovu pásu a v rozsáhlém Oortovu oblaku. Na Zem přinesly vodu především komety, ale částečně i planetky, které vytvářely naši planetu. Vodu našli astronomové i v meteoritech nalezených v Monahans (Texas). Na povrchu byla sůl, která vykristalizovala z vodního roztoku. A uvnitř byly drobné kapičky vody.

Celý proces od globule až po vznik planet v protoplanetárním disku trvá statisíce až desítky milionů roků. Rychlost, s jakou se hvězda z globule rodí, silně závisí na její hmotnosti. Proplydy (protoplanetární disky) jsou zcela běžným útvarem ve Vesmíru. Jsou to zploštělá oblaka plynů a prachu, která se otáčejí kolem mladých nebo rodících se hvězd. Poprvé byly proplydy objeveny v roce 1984 u hvězd Beta Pictoris (v souhvězdí jižní oblohy Malří) a Vega (v souhvězdí Lyry). V proplydech se tvoří planety a jiná tělesa planetárních soustav. Ve Velké mlhovině v Orionu objevil Hubbleův dalekohled přes stopadesát proplydů (tj. stopadesát vznikajících slunečních soustav). Podle pozorování infračervené družice ISO je většina mladých hvězd obklopena protoplanetárním diskem, v němž za milion roků vzniknou planety, komety a planetky.

4.8 Sluneční observatoře

Sluneční observatoře mají pozoruhodnou architekturu po stránce nejen estetické, ale i funkční. Rozborem slunečních paprsků astronomové poznávají stavbu a proměny Slunce. Sluneční observatoře slouží k vědeckému poznávání Slunce. Budovy nepostrádají krásu starověkých slunečních chrámů, slouží však jinému účelu. Lidé chtějí vědět, jak a proč Slunce svítí. Odpověď dává pozorování velkými věžovými dalekohledy nebo slunečními observatořemi umístěnými ve Vesmíru. K prvním z nich patří například sluneční observatoř na Kitt Peaku nebo Švédský sluneční dalekohled na La Palma. Ze současných vesmírných observatoří jmenujme alespoň japonskou sondu Hinode nebo americké sondy SOHO, Stereo a SDO.

SOHO (Solar and Heliospheric Observatory, Observatoř pro pozorování Slunce a heliosféry) je sonda vypuštěná NASA v roce 1995 se zaměřením na pozorování a výzkum slunečního povrchu, atmosféry, koróny a slunečního větru. Základem observatoře je dalekohled EIT o průměru 12 cm. Sonda má také Michelsonovu-Dopplerovu zobrazovací jednotku, která umožňuje sledovat zvukové vlny na povrchu Slunce a rekonstruovat z nich podpovrchovou stavbu Slunce. Denně SOHO posílá gigabyte pozorovacích dat. SOHO objevila přes 1 600 komet.

Hinode je japonská sonda kosmické agentury JAXA z roku 2006 určená k výzkumu Slunce. Její původní název byl SOLAR-B. Hlavním cílem je výzkum magnetického pole Slunce, jeho vznik a souvislost s generováním slunečního větru a výzkum ohřevu koróny.

SDO (Solar Dynamics Observatory) je americká sluneční observatoř, která startovala 11. února 2010. Dokáže pořídit snímek Slunce každých 12 sekund v rozlišení 4096×4096 pixelů. K základním přístrojům observatoře patří: AIA (Atmospheric Imaging Assembly) – čtveřice dalekohledů o průměru 20 cm s deseti filtry pro různé

vlnové délky, HMI (*Helioseismic and Magnetic Imager*) – helioseismometr a magnetometr a EVE (*EUV Variability Experiment*) – detektor fluktuací extrémního ultrafialového záření.

4.9 Sluneční observatoř SOHO

Sluneční observatoř SOHO patří k prvním velkým slunečním observatořím umístěným ve Vesmíru. Sonda je společným dílem americké NASA a evropské ESA. V prosinci 1995 byla navedena do prvního libračního centra mezi Sluncem a Zemí, které je ve vzdálenosti 1,5 milionů km od Země směrem ke Slunci. Na sondě SOHO je 12 přístrojů, které pozorují nepřetržitě Slunce ve viditelném, ultrafialovém a rentgenovém oboru. Výsledky pozorování jsou dostupné na internetu. Vedle výzkumu Slunce také SOHO monitoruje kosmické počasí. Původní životnost měla být dva roky, ale sonda pracuje dodnes.

Přístroje na SOHO. K nejdůležitějším přístrojům patří

1. EIT (*Extreme ultraviolet Imaging Telescope*), dalekohled pro extrémní ultrafialové záření,
2. MDI (*Michelson Doppler Imager*), který měří pohyb ve směru zorného paprsku (tzv. dopplerogram) a magnetické pole (magnetogram),
3. LASCO (*Large Angle and Spectrometric Coronagraph*), koronograf se spektrometrem. Obraz fotosféry dopadá na přední stranu umělého měsíce (kruhové clony) v ohnisku koronografu. Tím se odstraní velmi intenzivní obraz Slunce a je možné snímat velmi slabé proudy sluneční koróny, hvězdy a planety.

Librační centra (librační body, Lagrangeovy body) jsou takové body v soustavě dvou těles m_1 a m_2 , v nichž je gravitační přitažlivost obou těles vyrovnána s odstředivou silou oběhu. Silové účinky obou těles na malé třetí těleso umístěné v libračním centru jsou v rovnováze. Vlastnosti libračních center odvodil v roce 1772 Joseph Lagrange při řešení problému tří těles.

V rovině, v níž se pohyb obou těles kolem společného těžiště uskutečňuje, je celkem pět libračních center. Jsou označována L_1 až L_5 . Body L_1 , L_2 a L_3 leží na spojnici obou těles, a to L_1 mezi nimi, L_2 a L_3 na jejich vnějších stranách. Vzdálenosti libračních center od m_1 a m_2 jsou dány poměrem hmotností obou těles. Zbývající centra L_4 a L_5 leží také v rovině oběžné dráhy a tvoří s tělesy m_1 a m_2 rovnostranné trojúhelníky. Vzhledem k tomu, že dráhy obou těles jsou eliptické, mění se i velikost rovnostranných trojúhelníků, a tím i poloha libračních center.

Malá tělesa v blízkosti libračních center oscilují v okolí centra a mění svou polohu vůči tělesům m_1 a m_2 jen málo a periodicky.

Známá jsou librační centra L_4 a L_5 v soustavě Slunce (m_1) a Jupiteru (m_2). V bodě L_4 , který předchází o 60° Jupiter ve dráze, a v bodě L_5 , který se pohybuje 60° za Jupiterem, jsou nahromaděny planetky, které jsou pojmenovány podle hrdinů Trojské války a souhrnně označeny jako Trojané. Jupiter předchází v libračním centru L_4 skupina „Řeků“ (Agamemnon, Achilles, Ajax, Diomedes, Hektor, Nestor, Odysseus). Za Jupiterem v bodě L_5 je skupina vlastních trojských hrdinů (Aeneas, Anchises, Antilochus, Patrokles, Priamus, Troilus). Tři ostatní librační centra (L_1 , L_2 a L_3) dvojice Slunce-Jupiter nejsou obsazeny planetkami, neboť jsou rušeny ostatními planetami.

V Saturnově systému má dvojice Saturn-Dione malý měsíček S6 (Dione B) v centru L_4 a dvojice Saturn–Tethys má měsíčky (S1 a S2) v obou centrech L_4 a L_5 .

V těsných dvojhvězdách je bod L_1 (tedy mezi oběma hvězdami) místem, kudy přetéká plazma z rozpínající se hvězdy na druhou složku. Do libračního centra L_1 mezi Zemí (m_2) a Sluncem (m_1), které je ve vzdálenosti 1,5 milionů km od Země, byla umístěna sonda SOHO, která se pohybuje v blízkosti L_1 a trvale sleduje sluneční činnost i procesy v heliosféře. Tam je gravitační přitažlivost Slunce zmenšená působením Země. Družice proto oběhne Slunce za rok jako Země (i když by podle třetího Keplerova zákona měla obíhat za kratší dobu).

4.10 Různé pohledy

Na různých snímcích vypadá Slunce odlišně. První snímek byl pořízen neutrinovým detektorem Super-Kamiokande a vidíme na něm pouze sluneční jádro, ve kterém probíhá termojaderná syntéza. Na horním prostředním snímku je Slunce v čáře H alfa neutrálního vodíku. Vysílá ji chromosféra – vrstva nad viditelným povrchem Slunce. Poslední snímek v horní řadě byl pořízen sluneční observatoří HAO v infračerveném světle při zatmění Slunce. Samotná fotosféra je zastíněna a my vidíme bílou korónu s unikajícím slunečním větrem. V ultrafialovém a měkkém rentgenovém oboru vidíme přechodovou vrstvu mezi chromosférou a korónou, která má teplotu ve statisících kelvinů. Vlastní povrch Slunce v těchto oborech většinou nesvítí. Na rentgenovém snímku je zobrazena koróna Slunce s teplotou v milionech kelvinů. Poslední obrázek je modelem zvukových vln na Slunci. Z jejich záznamu lze zrekonstruovat jevy probíhající pod povrchem Slunce. Tímto odvětvím sluneční fyziky se zabývá helioseismologie.

Helioseismologie je vědní obor, který studuje sluneční nitro na základě pozorování akustických vln na povrchu Slunce. Samotný název vznikl složením tří řeckých slov: *helios* (Slunce, světlo), *seismos* (třesení), *logos* (pochopení, rozprava). Za počátek helioseismologie lze považovat již rok 1960, kdy američtí astronomové Robert Leighton, Robert Noyes a George Simon objevili (při sledování Dopplerova posunu

absorpčních čar) pětiminutové oscilace slunečního povrchu. Pozorovali je v 18 metrů vysoké sluneční věži na observatoři Mt. Wilson v jižní Kalifornii a poté je systematicky zkoumali několik následujících let. Nicméně k plnohodnotnému vědnímu oboru vedla ještě dlouhá cesta. V roce 1970 vysvětlili původ pětiminutových oscilací Roger Ulrich, John Leibacher a Robert Stein. Ukázali, že Slunce může fungovat jako rezonanční akustická dutina a rozezvučit se podobně jako zvon. V roce 1980 byly za pomoci helioseismologie objeveny podpovrchové torzní oscilace Slunce, v roce 1997 plazmové řeky a od roku 2001 je rutinně zobrazována za pomoci zvukových vln odvrácená strana Slunce. Helioseismologie také potvrdila, že konvektivní vrstva sahá do hloubky 200 000 km. Helioseismologie se stala účinným nástrojem pro výzkum naší nejbližší hvězdy.

Pozorování povrchu Slunce (spektrálních čar ve spektru fotosféry) ukazují, že povrch Slunce je neklidný, stále se vlní. Mohli bychom tomu říkat *sluncetřesení*. Těch vln je mnoho. Jsou to vlny podélného zhuštění a zředění – tedy vlny zvukové, i když jejich kmitočet je mnohem nižší než u pozemského zvuku. Slunce – podobně jako zvon, do něhož udeříme – se otrásá nejrůznějšími kmity. Čím „hlubší tón“, tím hlouběji nám dovoluje nahlédnout. „Vysoké zvuky“ přinášejí informace o vlastnostech nitra hned pod fotosférou. Naopak „hluboké zvuky“ pocházejí z velkých hloubek.

4.11 Anatomie Boha Slunce

Slunce není žádným božstvem, jak se domnívaly mnohé národy. Je to obrovská koule žhavých plynů, především vodíku a hélia. Ve středu je jádro. V něm teplota dosahuje až 15 milionů kelvinů a hustota Slunce je zde nejvyšší. V jádře se fúzí vodíku uvolňuje energie. Uvolněná energie se z jádra šíří směrem k povrchu zářivou oblastí, která je přibližně půl milionu kilometrů silná. Posledních 200 000 kilometrů je sluneční energie přenášena konvekcí k viditelnému povrchu, který nazýváme fotosféra. Odtud je z velké části odnášena ve formě fotonů do kosmického prostoru. Tmavá chladná místa ve fotosféře jsou sluneční skvrny. Z fotosféry uniká téměř všechno sluneční světlo. Její spektrum je spojité. Nad fotosférou je řídká chromosféra, silná asi 7 000 km a s teplotou 10 000 kelvinů. Nad chromosférou je velmi řídká, rozsáhlá a žhavá koróna o teplotě dvou až tří milionů kelvinů.

Z celkové hmoty Slunce můžeme přímo pozorovat pouze jednu desetimiliardtinu. To je vnější rozsáhlá část, velice řídká, říkáme jí atmosféra. Z atmosféry uniká záření, proto ji můžeme vidět. Její nejnižší vrstva, 300 km silná, s teplotou kolem 6 000 kelvinů, se nazývá fotosféra. Viditelný povrch Slunce, který spatříme pouhým okem skrze mraky nebo u obzoru, to je bílá fotosféra (řeky světelná koule).

Pod fotosférou je neviditelné nitro Slunce. V něm je soustředěna prakticky všechna sluneční hmota. Z nitra nemůže uniknout ani jediný paprsek. Naše znalosti o nitru v různých hloubkách jsou přesto spolehlivé, i když do něj nevidíme. Lze je vypočítat řešením několika jednoduchých rovnic, které vyjadřují chování slunečního plazmatu. V poslední době lze do různých hloubek Slunce „nahlédnout“ pomocí *helioseismologie*. Výsledky obou nezávislých způsobů jsou v dobrém souhlasu.

Průměr obrovské žhavé koule nazývané Slunce je 1 400 000 km. Tryskové letadlo takovou vzdálenost urazí za dva měsíce. V jeho středu je jádro, žhavý termionukleární reaktor (15 milionů kelvinů), v němž se vodík mění na hélium. Uvolněná energie má v jádru formu tvrdého rentgenového záření, jehož fotony se prodírají zářivou oblastí k poměrně chladnému povrchu – fotosféře (6 tisíc kelvinů). Nejdříve jsou předávány od místa k místu *zářením* (v zářivé oblasti), pak prouděním neboli *konvekcí* (v konvektivní vrstvě). Ve Slunci tečou obrovské elektrické proudy, jejichž silná magnetická pole (0,2 až 0,4 tesla) zabírají v některých místech konvekci – tam jsou ve fotosféře chladné sluneční skvrny (4 tisíce kelvinů). Nad viditelným povrchem (fotosférou) je velmi řídká červená *chromosféra* a rozsáhlá žhavá *koróna* (2 až 3 miliony kelvinů). Unikající koronální proudy tvoří *sluneční vítr* o rychlosti 400 až 700 km s⁻¹.

Hranice mezi zářivou oblastí a konvektivní vrstvou se nazývá *tachoklina*. Pod ní je zářivá vrstva, která rotuje jako pevné těleso a nad tachoklinou v konvektivní vrstvě je rotace různá (*diferenciální*) – závislá na heliografické šířce a hloubce pod povrchem. V tachoklině proto tečou silné elektrické proudy obklopené magnetickými siločarami. Konvekci a diferenciální rotací konvektivní vrstvy se magnetická pole vynášena z tachokliny zesilují (tzv. *jev tekutinového dynama*). Kinetická energie se přelévá do elektrických proudů a energie magnetických polí. Pole vynesená na povrch pozorujeme v atmosféře jako sluneční činnost.

4.12 Fúze vodíku v jádře

Základním a nejdéle trvajícím procesem v životě Slunce a mnoha hvězd je fúze vodíku. Je to přeměna čtyř jader vodíku neboli protonů na jádro hélia. Aby nás Slunce uživilo, musí v něm pro každého z nás denně proběhnout přibližně 4 triliony takových reakcí. Připomeňme si, že číslo trilion má 18 nul. Jednoduchým výpočtem zjistíme, že pro jeden lidský život Slunce přemění necelý gram vodíku na hélium. Při slučování protonů dochází také k přeměně protonu na neutron. Proton má menší hmotnost než neutron, a proto se nemůže samovolně změnit v neutron, V jádře Slunce získá navíc energii, je těžší a může se rozpadnout. Tento proces vyvolaný slabou interakcí v samotném středu Slunce je velmi důležitý. Bez něho by nebyla možná termojaderná fúze protonů. Pozitron uvolněný roz-

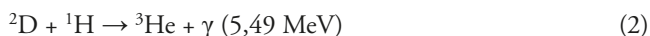
padem protonu okamžitě anihiluje s nejbližším elektronem na dva gama fotony. Gama fotony se záhy změní asi na stovky fotonů rentgenových. Ty pak pozvolna prosakují zářivou vrstvou k povrchu Slunce. Po cestě se rentgenový foton rozdrobí na dva až tři tisíce fotonů světelných o energiích 2 až 4 eV, ty opouštějí povrch Slunce.

Uvolňování energie v nitru hvězd se někdy obrazně nazývá „hoření vodíku“ – ale hoření v běžném smyslu slova je oksyličování, tedy chemická reakce, při níž se uplatňuje elektrická síla mezi atomy.

Proton je jednou ze tří základních částic, z nichž je vybudován známý Vesmír. Za normální teploty ($< 10\,000\text{ K}$) je proton jádrem vodíkového atomu. Hmotnost protonu je $1\,840\times$ větší než hmotnost elektronu. Náboj se co do velikosti rovná náboji elektronu, takže atom je navenek neutrální. Spolu s neutrony tvoří protony jádra všech chemických prvků. Počet protonů (*protonové číslo*) udává chemické vlastnosti prvku.

Původní pralátka, z níž byl později vybudován celý Vesmír, byla směs protonů a elektronů, s příměsí hélia. V nitru hvězd za teplot vyšších než 7 milionů kelvinů se protony spojují na alfa částice (jádra hélia). To je začátek hvězdné nukleosyntézy těsně vázané na vývoj hvězd. Z protonů byly ve hvězdách vybudovány všechny chemické prvky (přesněji řečeno jádra jejich atomů). Protony jsou nejpočetnější částice ve slunečním větru, v primárním kosmickém záření a ve vnitřním radiačním pásu Země. Klidová hmotnost protonu je $1,6726\times 10^{-27}\text{ kg}$, klidová energie je 938 MeV , elektrický náboj je $1,602\times 10^{-19}\text{ C}$. Rozměr protonu je přibližně $1\text{ fermi} = 10^{-15}\text{ m}$. Proton je složen ze dvou kvarků „u“ a jednoho kvarku „d“, které jsou drženy pohromadě silnou interakcí.

Protono–protonový řetězec je několik fúzních reakcí, které probíhají v jádru hvězd s hmotností menší než 1,7 hmotnosti Slunce. Z převážné části probíhá v těchto krocích:



V první reakci srážka dvou protonů ${}^1\text{H}$ skončí vznikem *deuteronu* ${}^2\text{D}$, *pozitronu* e^+ a *elektronového neutrina* ν_{e} . Pozitron okamžitě anihiluje s elektronem a dá vzniknout dvěma gama fotonům. Neutrino nereaguje s hmotou a proběhne bez překážky z jádra hvězdy do kosmického prostoru. Reakce (1) je velmi pomalá, neboť má velmi malou pravděpodobnost. Poločas je kolem miliardy let. Naopak druhá reakce, fúze deuteria s protonem, proběhne během několika sekund. Vznikne izotop hélia a uvolní se gama foton. Dále je několik možností, jak vznikne obyčejné hélium (${}^4\text{He}$).

Nejpravděpodobnější z nich je reakce (3). Protože je to srážka dvou lehčích izotopů hélia (^3He), výstavba jednoho ^4He vyžaduje, aby reakce (1) a (2) proběhly dvakrát. Energie ε uvolňovaná protono–protonovým řetězcem v 1 cm^3 ve středové oblasti je závislá na hustotě ρ a teplotě T : $\varepsilon \sim \rho T^4$. Exponent 4 je jen přibližná hodnota. Jeho skutečná hodnota závisí na teplotě. Ve hvězdách s vyšší centrální teplotou probíhají jiné reakce, jejichž výsledkem je opět spojení čtyř protonů na jádro hélia. Jedná se o tzv. *uhlíkový cyklus*.

Deuteron je označení pro jádro deuteria, tedy částici složenou z jednoho protonu a jednoho neutronu. Deuterium je izotop vodíku o hmotnosti 2,0141 atomových hmotnostních jednotek. V protono–protonovém řetězci se v jádru hvězd nacházejících se na spodní části hlavní posloupnosti tvoří deuterium jako meziprodukt hned v první reakci řetězce, a to prostým složením dvou dostatečně energetických protonů a následující emisí jednoho pozitronu. V mezihvězdné hmotě bylo deuterium objeveno v roce 1965. Poměr D/H v mezihvězdné hmotě je $1,4 \times 10^{-5}$, na Slunci je méně než 10^{-6} a v oceánech Země $1,6 \times 10^{-4}$. Deuterium se v budoucnosti stane cenným palivem pro fúzi v termonukleárních reaktorech. Protože deuterium vyhoří již v zárodečném stadiu hvězd, má se za to, že vzniklo kosmologickou nukleosyntézou na počátku Vesmíru a v mezihvězdném prostoru procesem tříštění atomových jader při srážkách s částicemi kosmického záření.

4.13 Pohled do středu Slunce

Vždy, když se v jádru Slunce přemění proton na neutron, vznikne neutrino. Neutrina se pohybují přímočaře z nitra Slunce ven a s látkou téměř nereagují. Z každých dvou miliard neutrín vyslaných Sluncem dopadne na Zemi jen jedno jediné; téměř všechna sluneční neutrina letí přímo do hlubokých mezihvězdných prostorů. Zemí prochází každou sekundu 700 bilionů neutrín. Přinášejí s sebou přímou informaci o žhavém jádru Slunce. Kdyby naše oči byly citlivé na neutrina, viděli bychom neutrinové Slunce – tedy jádro, kde probíhá přeměna vodíku na hélium. Bohužel, neutrinové Slunce nevidíme, neboť neutrina proběhnou neuvěřitelně sítiní našeho oka, aniž by předala nějakou informaci mozku. Neutrina dokonce proběhnou celou naší Zemí. Zachytit je můžeme v hlubokých dolech, ve specializovaných detektorech, jakým je Super-Kamiokande.

Super-Kamiokande je japonsko-americký experiment pro studium neutrín (slunečních, atmosférických, ze supernov) a stability protonu (obecně nukleonu). V podstatě je to Čerenkovův detektor o hmotnosti 50 000 tun. Válcová nádoba z nerezové oceli o průměru 40 m a výšce 40 m je naplněna zcela čistou vodou (H_2O). Na všech vnitřních stěnách je rozmístěno celkem 13 000 velmi citlivých fotonásobičů. Všechny

ny jsou zaměřeny dovnitř. Tento registrační přístroj je umístěn v hloubce 1 000 m pod povrchem (ekvivalentní 2700 metrům vodního sloupce) v dole u japonského města Kamioka v prefektuře Gifu. Observatoř Kamioka je součástí Ústavu kosmického záření na univerzitě v Tokiu.

Neutrino (elektronové, mionové, tauonové), které se srazí s jádrem kyslíku (přesněji řečeno s jeho neutronem) v molekule vody, dá vzniknout nabitě částici (elektronu, mionu, tauonu), která se od jádra pohybuje přibližně ve směru příchozího neutrina. Její rychlost je jen o málo nižší než $300\,000\text{ km s}^{-1}$. Rychlost světla ve vodě je pouze tři čtvrtiny rychlosti světla ve vakuu ($220\,000\text{ km s}^{-1}$), tedy nižší než rychlost nabitě částice. Částice prolétající vodou se tedy pohybují nadsvětelnou rychlostí (ve vodě), a proto vybudí Čerenkovovo záření. Jeho záblesk se registruje fotonásobiči a pomocí počítačů lze stanovit směr částice, který přibližně odpovídá původnímu směru neutrina.

Detektoru Super-Kamiokande předcházela menší (4 500 tunový) Kamiokande. Koncovka -nde je zkratkou z anglického *nucleon decay experiment* (měření rozpadu nukleonu). Jeho úkolem bylo ověřit hypotézu, podle níž by se proton (nejlehčí nukleon) po velmi dlouhé době rozpadl na pozitron a elektronové neutrino. Pokus nepotvrdil předpověď, takže zákon zachování baryonového čísla zůstává v platnosti.

Dalším úkolem observatoře je sledovat atmosférická neutrina, která vznikají ve sprškách kosmického záření. Měření na mnoha tisících případech ukazují, že ze spodu přichází méně neutrin než shora. To je způsobeno oscilacemi neutrin, tj. jeden typ se mění v druhý. Například elektronové neutrino v mionové a naopak. Oscilace neutrin jsou možné pouze, pokud mají neutrina sice nepatrnou, ale nenulovou klidovou hmotnost. To je důležitý objev, neboť neutrin je ve Vesmíru několiksetmilionkrát více než jiných částic, například elektronů.

Směr mnoha tisíc zaregistrovaných neutrin prozradil, že jde o sluneční neutrina. Tak se podařilo poprvé „uvidět“ neutrinové Slunce. Koncentrace ke středu odpovídá jádru Slunce, odkud jsou neutrina vyzařována, ale rozptýl směřů je velký.

Neutrina jsou stabilní elementární částice bez elektrického náboje a s téměř nulovou hmotností. Podléhají jen slabé interakci a gravitaci. Neutrina vznikají například při beta rozpadu. Neutrina byla předpovězena v roce 1931, aby bylo možno vysvětlit chybějící energii a hybnost při beta rozpadu atomových jader. Neutrina mají poloviční spin a patří do skupiny fermionů. Spolu s elektrony, miony a tauony tvoří skupinu leptonů. Mají leptonové číslo +1. Jejich antičástice (antileptony) mají leptonové číslo -1.

Neutrina jsou „velmi plaché“ částice, které interagují s ostatními částicemi jen velice málo. Proto se je podařilo experimentálně polapit až v roce 1956. Jen jedno neutrino z každé stovky miliard neutrin uvolněných v nitru Slunce je slunečním plazmatem

zachyceno, ostatní proniknou přímo do kosmického prostoru. Z 10^{24} slunečních neutrin, která projdou za život naším organismem, se zachytí pouze jedno nebo dvě (za každou sekundu projde každým cm^2 naší pokožky 60 miliard slunečních neutrin). Země je pro neutrina průzračná, takže neutrinové detektory mohou být umístěny v hlubokých dolech, kde jsou činné nepřetržitě ve dne i v noci a ostatní částice neruší pozorování.

Existují tři druhy neutrin: elektronové neutrino (ν_e), které se vyskytuje v reakcích s elektrony, mionové neutrino (ν_μ) spojené s miony, a tauonové neutrino (ν_τ), které provází vznik či zánik tauonů. Existenci všech tří druhů neutrin se podařilo dokázat v laboratořích. Tauonové neutrino pozorovali v roce 2000 ve Fermiho laboratoři (v Batavii u Chicaga).

Elektronová neutrina (ν_e) se uvolňují v obrovském množství uvnitř hvězd, kde probíhají termonukleární reakce. Při nich se ve vznikajícím atomovém jádru slučují protony (p) a přitom se mění v neutrony (n) a vznikají neutrina: $p \rightarrow n + e^+ + \nu_e$. Tento rozpad je základním krokem nukleogeneze – vzniku jader těžších prvků z vodíku. Z hvězdy, jako je Slunce, uniká každou sekundu 10^{38} elektronových neutrin, neboť tolik protonů se přemění v neutrony.

Nesmírný tok neutrin je uvolňován z nitra kolabujících supernov. Detektor Kamio-kande zachytil neutrina ze supernovy z února roku 1987 (SN 1987A). Vyzářená neutrina vynášejí z hroutícího se nitra zanikající hvězdy teplo, takže hvězda se zhroutí pod vlastní tíhou v krátkém okamžiku. Bez neutrin by gravitační kolaps nebyl možný. Další informace o neutrinech naleznete u snímků 2.25, 9.17 a 11.2.

4.14 Cesta světla

Žhavé jádro je obklopeno zářivou vrstvou, která ho chrání před rychlým vychladnutím do okolního ledového kosmického prostoru. Foton gama uvolněný ve středu Slunce při tvorbě heliového jádra se srážkami změní na desítky rentgenových fotonů odpovídajících teplotě 15 milionů kelvinů. Taková teplota panuje ve středu Slunce. Cestou k povrchu Slunce se původní energie fotonu gama rozmělní do statisíců fotonů světelných. Cesta fotonů z jádra na povrch trvá zhruba milion roků. Jejich cesta zářivou oblastí je velice klikatá, neboť gradient teploty v zářivé vrstvě je malý. Pouť fotonů k povrchu Slunce připomíná opilého člověka bloudícího v noci lesem. Proto se uvolněná energie posouvá nahoru velmi pomalu, přibližně o 1 milimetr za deset sekund.

Není to podivné, že uvolněná sluneční energie potřebuje milion roků, aby urazila s mnoha přeměnami pouhou vzdálenost 700 000 km (tj. poloměr Slunce) a potom

z povrchu (tj. z fotosféry) na Zem vzdálenou 150 milionů km doběhne meziplanetárním prostorem za pouhých osm minut? A to beze změny – ve formě fotonů světla. Cestou k povrchu Slunce se původní energie fotonu gama (0,5 MeV) dále „drobí“ do fotonů méně energetických. Takže energie gama fotonu uvolněná při anihilaci $e^- + e^+ \rightarrow 2\gamma$ se cestou z jádra Slunce k jeho povrchu (to je do fotosféry) rozmělní do statisíců fotonů světelných (s energiemi 2 až 4 eV), které nakonec opouštějí fotosféru.

Fotony. Převážná část energie uvolněné při přeměně vodíku na hélium je ve formě fotonů. Jsou to rychle kmitající chomáčky elektromagnetické energie. Čím rychleji foton kmitá, tím větší energii unáší. Fotony gama obsahují nejvíce energie, neboť kmitají nesmírně rychle. Takové fotony jsou vyzářeny při termonukleárních reakcích v jádru Slunce. Avšak brzy po svém vzniku se fotony gama přemění na fotony rentgenové (to jest záření X). Jádro Slunce je prosyceno rentgenovými fotony. Jejich cesta z horkého jádra (15 milionů kelvinů) k mnohem chladnějšímu povrchu Slunce (6 tisíc kelvinů) je velmi obtížná a klikatá. Není tak přímočará jako cesta neutrin.

Bloudění fotonů. Fotony se sice pohybují největší možnou rychlostí (300 000 km za sekundu), avšak po několika decimetrech jsou pohlceny nějakým elektronem a hned poté opět vyzářeny. Přitom má vyzářený foton jiný směr, než měl foton před pohlcením. Dráha fotonu v nitru Slunce připomíná bloudění opilého člověka, který se vrací v noci lesem domů. Pokaždé, když vrazí do stromu, změní svůj směr. Je to zkrátka cesta velmi křivolaká, dlouhá a strastiplná – v obou případech: pro opilce bloudícího v noci v lese i pro foton v nitru Slunce. Při pohlcení jednoho fotonu jsou někdy vyzářeny fotony dva či více. Tak se fotony při svém bloudění v nitru Slunce postupně drobí na více fotonů o menší energii. Než energie fotonu gama z jádra Slunce dorazí k povrchu, rozdrobí se na statisíce fotonů světelných. Však to také trvá milion roků, než se po velkém bloudění a mnohém drobení dostanou fotony na povrch. Neutrino, jak jsme viděli, se na povrch dostane mnohem rychleji (za dvě sekundy). Není to zajímavé, že sluneční světlo, které dnes dopadá do našeho oka a které nás hřeje, bylo uvolněno v jádru Slunce v době, kdy pračlověk poprvé zapaloval oheň? Za dobu, než se fotony prodraly nitrem k povrchu Slunce, se zatím pračlověk vyvinul ve vzdělaného a inteligentního člověka *Homo sapiens*.

4.15 Jak opouští energie sluneční povrch?

Jak opouští energie sluneční povrch? Neutrální atom vodíku přijme na chvíli elektron a stane se dočasně záporným iontem. Při spojení se vyzáří infračervený foton o energii přibližně 1 eV. K této základní energii se do fotonu nakumuluje ještě kinetická energie

elektronu, který se připojil. Tímto mechanismem vznikají fotony světla a infračerveného záření vysílané z fotosféry. Tvoří tzv. stálou složku slunečního záření. Stálá složka je vlastně teplo vyzařované fotosférou.

Sporadická složka slunečního záření je dočasná a provází sluneční činnost (například erupce). Je to energie magnetického pole proměněná ve fotony. Magnetická energie Slunce je přeměněná pohybová energie konvektivních proudů a diferenciální rotace Slunce. Na spodní hranici konvektivní vrstvy dochází k jevu tekutinového dynama, při kterém se z dipólové složky pole rodí složka azimutální a naopak. Výsledkem je neustálé vznikání a udržování magnetického pole Slunce.

Diferenciální rotací Slunce (nebo plyné planety, hvězdy, mlhoviny) rozumíme různou úhlovou rychlost v různých šířkách a hloubkách. Slunce rotuje nejrychleji na rovníku a nejpomaleji v polárních oblastech. Opakem je rotace pevného tělesa (Země, Měsíce, terestrické planety, jádra komet, planetky, měsíce), při níž se točí všechny části tělesa stejnou úhlovou rychlostí.

4.16 Fotosféra

Fotosféra je nejhlubší a nejhustší vrstva hvězdné atmosféry. Je to viditelný povrch Slunce, ze kterého uniká do Vesmíru převážná část záření. Pod fotosférou je hustší a teplejší hvězdné nitro, z něhož neunikne žádný paprsek. Nad fotosférou je řidší a teplejší chromosféra. Fotosféra je nejchladnější vrstva hvězdy. Ve fotosféře se vytvářejí absorpční čáry, které se překládají přes její spojité spektrum. Podle jejich objevitele jim také říkáme Fraunhoferovy čáry. Pomocí nich lze určit vlastnosti hvězdy, například chemické složení, rotaci, radiální pohyb, teplotu, tlak, spektrální typ hvězdy nebo magnetické pole. Sluneční fotosféru vidíme jako bílé světlo.

Fotosféra je slovo složené z řeckých slov *photos* (světlo) a *sphaira* (koule). Sluneční záření je mohutný proud fotonů. Fotony, které vnímá sítnice (světelné) unášejí energii 2 eV (červené fotony) až 4 eV (fialové). V nich se rychle střídá elektrické a magnetické pole. Čím rychleji kmitají, tím větší energii mají. Tu nesou meziplanetárním prostorem rychlostí světla, $300\,000\text{ km s}^{-1}$. Všechny fotony seřazené podle energetického obsahu (čili vlnové délky) tvoří spojitý barevný pás nazývaný spektrum. Temné čáry ve spektru byly vytvořeny ve fotosféře pohlcením různými prvky. A právě studium těchto tmavých (tzv. Fraunhoferových) spektrálních čar je základem pro poznávání Slunce.

Země a sluneční energie – viz snímky 2.18, a 2.19, 4.27 a 4.29.

4.17 Granulace fotosféry

Granule jsou vrcholy stoupajících horkých proudů. Celý povrch Slunce neboli fotosféra je jakoby poset jasnými zrny – granulemi. Jde o projev konvektivních proudů, které přenášejí horké plazma ze slunečního nitra z hloubky asi 200 000 km na povrch do fotosféry. Mezi granulemi je temný, tzv. intergranulární prostor, v němž ochlazené plyny klesají zpět do nitra Slunce. Pravidelná granulace fotosféry je jen tu a tam přerušena slunečními skvrnami – chladnějšími oblastmi se silným magnetickým polem.

Proč v hloubce asi 200 000 km (tj. ve vzdálenosti půl milionu km od středu Slunce) přestává přenos sluneční energie zářením a přechází na konvekci? Jestliže je cesta fotonů v zářivé oblasti obtížná, stává se téměř nemožná pod povrchem Slunce. V zářivé vrstvě (tj. do vzdálenosti půl milionu km od středu) je tak vysoká teplota, že vodík je zcela ionizovaný. Ale výše, tj. ve vrstvě od hloubky zhruba 200 000 km je vodík většinou v neutrálním stavu (to znamená, že každý proton k sobě poutá jeden elektron). Elektrony neutrálních atomů dychtivě pohlcují dopadající foton. Proto je další cesta fotonů směrem k povrchu téměř nemožná. Přenos energie vrstvou neutrálního vodíku se nemůže dít pomocí fotonů (to jest zářením), jak tomu je v zářivé, zcela ionizované vrstvě. Proto Slunce volí jiný, mnohem účinnější způsob přenosu energie, a tím je konvekce (proudění).

Zhruba 200 tisíc km pod povrchem začínají stoupat oblaka horkého plynu. Jejich velikost je stovky až tisíce kilometrů. Stoupají k povrchu rychlostí asi půl kilometru za sekundu. Tato oblaka vystoupí až k viditelnému povrchu (tj. do fotosféry), takže je můžeme vidět jako jasná zrna. Říkáme jim granule. V dalekohledu se jeví jako bílá zrníčka rýže. Vyzařují energii a po několika minutách vychladnou, ztěžknou a klesají zpět do nitra. Jejich pohybová energie se částečně mění (jevem tekutinového dynama) v elektrické proudy. Magnetické pole proudů se projevuje jako sluneční činnost.

Detailní snímek granulace v blízkosti sluneční skvrny byl pořízen Švédským slunečním dalekohledem SST (*Swedish Sun Telescope*). Tento věžový sluneční čočkový dalekohled o průměru 97 cm byl uvedený do provozu na Kanárských ostrovech v roce 2002. Prostor dalekohledu je vakuován, dalekohled používá adaptivní optiku. Obraz je mimořádně ostrý a na Slunci rozliší detaily o velikosti pouhých 70 km.

4.18 Sluneční skvrny

Sluneční skvrna je oblast ve sluneční fotosféře, která má větší intenzitu magnetického pole a nižší teplotu než okolí. Jeví se jako tmavá skvrna na slunečním disku. Její teplota je kolem 4 000 K, zatímco okolní fotosféra má teplotu asi 5 800 K. Sluneční skvrny se

vyskytují v aktivních oblastech, kde vytvářejí skupiny skvrn. Životnost sluneční skvrny je od několika hodin u nejmenších skvrnek až po několik měsíců u těch největších. Nejmenší viditelné skvrnky se nazývají póry. Jejich průměr je několik set kilometrů. Největší skvrny mají průměr až 20 000 km a jsou viditelné pouhým okem. Jejich rozloha je srovnatelná s povrchem Země. Větší skvrny mají dvě výrazné části: střední tmavou umbru, která je obklopena světlejší penumbrou. Penumbra tvoří rozhraní mezi umbrou a fotosférou. V nejnižších vrstvách fotosféry pozorujeme proudění plynů ven ze skvrny, ve vysokých vrstvách naopak utékají plyny do skvrny. Tento proces se nazývá Evershedův jev.

Sluneční skvrny jsou obrovské oblasti s velmi silným magnetickým polem. Jejich magnetická indukce (0,2 až 0,4 T, 2 000 až 4 000 G) je nejsilnější magnetické pole na Slunci. V jejich prostoru je proto uskladněna ohromná magnetická energie.

Velikost skvrn je různá, od tisíce km až po několiknásobek velikosti Země. Magnetismus slunečních skvrn je důsledkem mohutných elektrických proudů, které tečou při povrchu. Na Slunci mohou téci velice silné proudy, neboť sluneční plazma je výborným vodičem elektřiny. Siločáry ve slunečních skvrnách jsou značně zakroucené a brzdí stoupající horká oblaka v konvektivní vrstvě. Tím je potlačen přenos energie z nitra do fotosféry a skvrny mají teplotu asi o 2 000 kelvinů nižší.

4.19 Chromosféra

Nad fotosférou se nachází teplejší a řidší vrstva zvaná chromosféra. Prostírá se do výšek několika tisíc kilometrů nad fotosférou. Zatímco fotosféra vysílá bílé světlo, záření chromosféry je mnohem slabší a pouze v některých emisních čarách. Ty vznikají přeskokem mezi vyšší a nižší elektronovou hladinou v atomárním obalu. Horní dvě fotografie jsou pořízeny v čáře H alfa, která odpovídá přechodu elektronu mezi třetí a druhou hladinou vodíkového atomu. Tmavá dlouhá vlákna jsou protuberance – oblaka vyčnívající vysoko nad chromosféru, která zasahují do koróny. Jsou to dlouhé magnetické trubice nadnášející poměrně chladné plazma. Jeho teplota je kolem 10 tisíc kelvinů. Protuberance pohlcují a rozptylují záření chromosféry, která je pod nimi, a proto jsou tmavé. Avšak nad okrajem Slunce – tj. proti tmavé obloze – protuberance jasně září a patří k nejkrásnějším a často nejdramatičtějším jevům ve Sluneční soustavě. Dolní snímek je ve vápníkové čáře K. Dobře viditelné jsou bílé flokule, které korespondují s přítomností magnetického pole, které vidíte na magnetogramu napravo. Tmavá a světlá barva značí opačnou polaritu magnetického pole.

Magnetogram je mapa magnetického pole na povrchu Slunce. Automaticky ji pořizuje sluneční magnetograf. Z magnetogramu lze vyčíst intenzitu a polaritu magnetického pole v každém bodě zmapované oblasti. Magnetogramy dovolují sledovat dlou-

hodobý vývoj nejen celkového magnetického pole Slunce, ale i vznik a krátkodobé změny lokálních magnetických polí. Magnetická pole jsou příčinou veškeré sluneční činnosti, proto mají magnetogramy pro sluneční fyziku základní význam.

Balmerovy čáry vznikají přeskokem elektronu mezi druhou (tj. první vybuzenou) energetickou hladinou vodíkového atomu a hladinami vyššími. Přeskokem $2 \rightarrow 3$ vzniká čára H_α , $2 \rightarrow 4$ čára H_β , $2 \rightarrow 5$ H_γ , $2 \rightarrow 6$ H_δ . Tyto čtyři čáry jsou ve viditelné části spektra. Vyšší čáry jsou v ultrafialové části spektra. Značíme je buď dále písmeny řecké abecedy za symbolem vodíku H, nebo častěji pořadovými čísly odpovídajícími horní hladině přeskočů: $H_\epsilon = H_7$, $H_\zeta = H_8$ atd. Hrana série má vlnovou délku 364,6 nm. Ve spektru hvězd jsou Balmerovy čáry nejintenzivnější u spektrální třídy A. Posloupnost Balmerových čar ve vodíkovém spektru se nazývá *Balmerova série*.

4.20 Chromosféra – spikule

Spikule jsou výtrysky plazmatu ze sluneční chromosféry do řídké žhavé koróny. Mají v průměru asi 1 000 kilometrů a proudí nahoru rychlostí asi 20 kilometrů za sekundu. Dosahují do výšky 10 000 až 20 000 kilometrů nad povrch Slunce. Na začátku a na konci zatmění Slunce se na malou chvíli objeví kolem Měsíce chromosféra se spikulami, které připomínají „hořící prérui“. Tryskají v milionových množstvích z celého povrchu Slunce. Jsou vyvrženy peckovým efektem proměnlivých lokálních polí. Lze je pozorovat po několik minut, pak se rozpouštějí v horké koróně, nebo padají zpět do chromosféry. Video bylo pořízeno japonskou sondou Hinode.

Spikule („bodce“, „špice“) jsou útvary ve sluneční atmosféře. Nejlépe se pozorují v čáře H_α . Jsou to výtrysky plazmatu o teplotě kolem 10 000 K, které tryskají ze sluneční chromosféry do řídké žhavé koróny. Jejich průměr je asi 1 000 km a proudí nahoru rychlostí asi 20 km s⁻¹. Dosahují výšky 10 až 20 000 km nad povrchem Slunce. Spikule je možné vidět při zatmění Slunce nebo v protuberančním dalekohledu. Spikule tryskají z celého povrchu Slunce. V každém okamžiku jich je přibližně milion. Jsou patrně pokračováním stoupajících konvektivních proudů (granulí). Jejich doba života je jen několik minut, poté se rozplynou v horké koróně a zbytek dopadne zpět k povrchu.

4.21 Spektrální čáry v chromosféře a koróně

Zatímco chromosféra září ve světle a koróna v rentgenovém záření, přechodná vrstva září v extrémním ultrafialovém záření. Denně jsou na internetu publikovány snímky ze slunečních observatoří SOHO, SDO, Hinode i dalších. Červené části spektra dominuje

vodíková čára H alfa. Vzniká pohlcením spojitého spektra při buzení vodíkových atomů z druhé hladiny do třetí. Optický filtr, který propouští jenom záření v čáře H alfa se nejčastěji užívá k pozorování chromosféry a protuberancí. Ve fialové části spektra dominují spektrální čáry K a H ionizovaného vápníku. Vznikají pohlcením v chromosféře. Přítomnost magnetického pole se projeví zjasněním ve středu čar. Na snímcích chromosféry přes filtr K se přítomnost magnetického pole projeví jako jasné flokule.

Přechodná vrstva je poměrně velmi tenká (asi 3 000 km) vrstva sluneční atmosféry mezi sluneční chromosférou a sluneční korónou. Prudce v ní s výškou stoupá teplota, a to od deseti tisíc kelvinů do milionů kelvinů. Na grafu lze vidět, jak rychle přibývá ionizace s výškou až do koróny. Římská číslice u prvku znamená stupeň ionizace. Protože v latině není symbol pro číslo nula, označuje se neutrální atom římskou jednotkou I, jednou ionizovaný atom římskou dvojkou II atd.

Flokule jsou jasná místa ve sluneční chromosféře. Jsou dobře viditelná ve vápníkové čáře K. Jas flokulí je způsoben tím, že do nich z nitra proudí žhavé plazma, neboť svislé magnetické siločáry usnadňují konvekci. Měření pomocí slunečního magnetografu ukazují, že jas flokulí je tím větší, čím je intenzita jeho magnetického pole vyšší.

4.22 Koróna z HAO a SOHO

Na snímku vlevo, který byl pořízen při zatmění Slunce, lze vidět rozsáhlou bílou korónu, proudy slunečního větru a červené protuberance. Bílá barva koróny je světlo z fotosféry rozptýlené na volných elektronech vysoce ionizované žhavé koróny. Proudů elektronů a iontů slunečního větru se pohybují v magnetických silových trubicích. Na pravém snímku je přechodná vrstva mezi sluneční chromosférou a sluneční korónou. Prudce v ní s výškou stoupá teplota, a to od 10 tisíc kelvinů do milionů kelvinů. Zatímco chromosféra září ve světle a koróna v rentgenovém záření, přechodová vrstva září v extrémním ultrafialovém oboru.

HAO (High Altitude Observatory) je astronomický ústav Coloradské univerzity v Boulderu. Mimo výuky astrofyziky se zabývá teorií a pozorováním Slunce, především sluneční chromosféry a sluneční koróny. Koronální stanice ústavu je v místě molybdenových dolů Climax ve Skalistých horách. Je vybavena koronografem, koronometrem a protuberančním dalekohledem.

Snímek napravo je z observatoře SOHO. Je pořízen v extrémním ultrafialovém oboru a byl složen ze tří snímků v nepravých barvách (modrá odpovídá 17,1 nm, zelená 19,5 nm a červená 28,4 nm). Dobře jsou patrné korunální díry a filamenty (vlákna) v polárních oblastech, jež mají nižší teplotu než okolí.

4.23 Stavba koróny

Tento vysoce kvalitní obraz sluneční koróny je výsledkem počítačového zpracování řady snímků pořízených při zatmění Slunce. Jas vnitřní části koróny je o mnoho řádů vyšší než jas vnější koróny. Proto se pořizují série snímků s různou expoziční dobou, které se speciální technikou sešívají po mezikružích. Světovou špičkou v tomto umění je prof. Miloslav Druckmüller z brněnského Vysokého učení technického. Červené oblasti nad měsíčním okrajem jsou protuberance zářící především v červené čáře Balmerovy série H alfa. Podél jemných siločar magnetického pole uniká sluneční vítr do meziplanetárního prostoru.

Koróna je nejvyšší a nejteplejší vrstva hvězdné atmosféry. Je zdrojem rentgenového záření hvězd. Nejlépe je prostudována sluneční koróna.

Sluneční koróna je nejvyšší vrstva sluneční atmosféry. Začíná nad poměrně tenkou přechodnou vrstvou, v níž prudce stoupá teplota od 10 tisíc do milionů kelvinů, a prostírá se daleko do meziplanetárního prostoru. Teplota sluneční koróny je kolem 2 milionů kelvinů. Je tedy podstatně teplejší než sluneční fotosféra. To je způsobeno jednak rázovými vlnami přicházejícími z fotosféry, jednak magnetickými poli, která se v konvektivní vrstvě stále obnovují a v atmosféře disipují (tj. mění se v teplo). Hlavním mechanismem ohřevu je rozpad Alfvénových magnetoakustických vln. Proměnlivá magnetická pole vyvolávají (indukují) v okolním prostoru elektrické síly, a protože je atmosféra vodivým plazmatem, tečou v ní proměnné elektrické proudy, které ji zahřívají.

Magnetická pole vytvářejí ve sluneční koróně uzavřené smyčky (angl. *loops*) a otevřené dlouhé oblouky (angl. *arches*), které jsou dobře patrné na snímcích v rentgenovém a extrémním UV záření. Smyčky spojují opačné polarity téže aktivní oblasti, zatímco oblouky spojují dvě různé aktivní oblasti. Výrazné jsou zejména nad aktivními oblastmi, kde je hustší a teplejší (koronální kondenzace) plazma. Naopak mimo aktivní oblasti, kde je slabé neuzavřené magnetické pole, je hustota a teplota plazmatu snižena. Na snímcích se jeví jako korunální díry. Tvar a rozlehlost koróny se mění během slunečního cyklu. V maximu sluneční činnosti rozsáhlá koróna obklopuje celé Slunce ze všech stran, v minimu je omezena do rovníkových oblastí.

Podle původu světla se rozlišuje:

1. *L-koróna*, vrstva nejbližší k chromosféře. Její záření se skládá z řady zakázaných optických čar vysoce ionizovaných prvků (železa, vápníku, chrómu, křemíku apod.). Ve světle byly pozorovány při zatměních a v koronografech jen zakázané čáry koróny, například zelená čára 530,3 nm iontu železa Fe XIV, červená čára 637,4 nm Fe X, žlutá čára 569,4 nm Ca XV. Koróna pozorovaná přes filtry těchto vlnových délek se pak nazývala zelená, červená, žlutá koróna;

2. *E-koróna*, která zahrnuje všechny emisní čáry vyzařované sluneční korónou. Patří do ní nejen zakázané čáry ve světle, ale též dovolené čáry těchto i jiných vysoce ionizovaných prvků (například Fe XXV). Při slunečních erupcích atomová jádra některých prvků vysílají gama čáry. Pojem L-koróny se rozšířil ze zakázaných světelných čar až k rentgenovým emisním čarám na jedné straně a infračerveným čarám na straně dlouhých vlnových délek. Zvláště výrazné jsou dovolené koronální čáry ve spektru erupcí. Toto rozšíření umožnila až astronomie v oborech gama, RTG, EUV, UV a IR;
3. *K-koróna* se spojitým spektrem bez absorpčních čar. Je to světlo fotosférické, rozptýlené na elektronech, které se v koróně pohybují vysokou rychlostí. V důsledku Dopplerova posuvu jsou absorpční čáry zcela rozmazané;
4. *F-koróna* (Fraunhoferova koróna), rovněž rozptýlené fotosférické světlo, avšak jeho rozptyl vzniká na prachových částicích meziplanetární hmoty v těsné blízkosti Slunce. Protože se tyto pevné částice pohybují poměrně pomalu, nejsou absorpční čáry rozmazané. K-koróna a F-koróna se označují jako tzv. *bílá koróna*.

Základní poznatky o sluneční koróně byly získány při slunečních zatměních a pomocí koronografů umístěných na vysokohorských observatořích. Velký pokrok v poznávání sluneční koróny umožnily kosmické sondy (Skylab, SOHO, Yohkoh, Hinode, SDO, Trace, Stereo) a sluneční radioastronomie.

4.24 Smyčkové protuberance

Erupce způsobené přepojením magnetických siločar jsou doprovázeny výtryskem rychlých elektronů, protonů a jiných iontů. Ty jsou zhruba z poloviny zachyceny v magnetických silových trubicích nad erupcí a vytvoří protuberanci ve tvaru smyčky. Srážkami se vyrovnává teplota jednotlivých částic a okolní plazma se zahřívá. Energie částic, která je kolem jednoho keV, se přitom přemění na teplo plazmatu zachyceného v magnetické silové trubici. A právě žhavé plazma ve vrcholech smyček je zdrojem rentgenového záření.

Žhavé plazma v magnetických silových trubicích své teplo rychle vyzáří, jeho teplota klesne za několik minut na 10 tisíc kelvinů, protony se spojí s elektrony, vodík září a v čáře H alfa se silové trubice objeví jako smyčkové protuberance.

Maxwellovo rozložení rychlostí je statistické rozložení rychlostí v souboru částic (atomů, iontů, molekul, elektronů apod.) v plynu (nebo plazmatu) v rovnovážném stavu. Jednotlivé částice mají sice různé rychlosti, avšak při určité teplotě T mají částice stejného druhu určitou střední hodnotu rychlosti. Počet částic o hmotnosti m , které se pohybují s velikostí rychlosti v rozmezí v až $v + dv$, je $f(v) dv$, kde funkce $f(v)$

je dána Maxwellovým vztahem: $f(v) = \text{konst } v^2 \exp [-mv^2/2kT]$, kde k je Boltzmannova konstanta. Střední kinetická energie částic je $3 kT/2$.

Energie korpuskulárního záření, v němž mají částice přibližně stejnou (makroskopickou) rychlost, se po zachycení srážkami rychle rozdělí podle Maxwellova rozdělení rychlostí. Tento proces nazývaný termalizace (maxwellizace) probíhá v laboratoři při vstřikování svazku částic do magnetické pasti, na Slunci ve smyčkových protuberancích a v magnetosféře Země (ale i u jiných planet) při zachycení slunečního větru, který doplňuje plazmosféru.

4.25 Vztah Slunce a Země

Magnetosféra Země nás chrání před nežádoucím dopadem plazmoidů ze slunečních erupcí. Protony, elektrony a jiné nabitě částice letícího oblaku jsou zachyceny magnetosférou, rozkmitají její siločáry a dojde k tzv. magnetické bouři, při které nabitě částice sklouznou po siločarách k pólům a při dopadu do atmosféry vybudí polární záře.

Plazmoid je kompaktní plazmový útvar, někdy nazývaný plazmový oblak, zhustek, shluk, cluster. Plazmoid s sebou může unášet tzv. zamrzlé magnetické pole. Plazmoidy vznikají při erupcích a jako koronální výrony hmoty putují Sluneční soustavou.

Koronální výron hmoty (*Coronal Mass Ejection*, CME) je nejdramatičtější projev sluneční činnosti, při němž je z koróny vyvrženo velké množství žhavých plynů. Poprvé byl tento pohyb ve sluneční koróně zachycen na sérii fotografických snímků koróny při zatměních v letech 1936 a 1945. Mnoho snímků bylo pořízeno identickými dalekohledy podél pásu úplného zatmění Slunce, takže bylo možné studovat časové změny koronálních struktur.

Později australští astronomové pozorovali koronální výrony na rádiových vlnách (radioheliografem) a zjistili, že tvoří pokračování eruptivních protuberancí. Systematická pozorování změn v koróně v bílém světle umožnil koronograf na SOHO.

Ke koronálnímu výronu hmoty dochází obvykle v tzv. koronálním zvonu, který lze pozorovat nad klidnými protuberancemi. Navazuje zpravidla na počáteční fázi výbuchu, kterou je sluneční erupce a velká eruptivní protuberance (pozorovaná v čáře H_α). Jakmile klidná protuberance přejde v eruptivní protuberanci, spolu s ní je vyvržen i koronální zvon. S magnetickým polem chladné eruptivní protuberance (10 000 K) a žhavého koronálního zvonu (2 miliony kelvinů) uniká do meziplanetárního prostoru několik miliard tun slunečního plazmatu rychlostí několika set kilometrů za sekundu. Takovému letícímu oblaku plazmatu se říká plazmoid.

4.26 Polární záře

Polární záře se ve vědecké literatuře označuje slovem aurora. Jde o světélkování atmosféry ve výškách 70 km až 1 000 km. Polární záře se vyskytuje v krajinách kolem pólů. Jsou způsobené dopadem částic slunečního větru podél siločar zemského magnetického pole do vysoké atmosféry. Zde elektrony a protony excitují atomy a molekuly atmosféry, která charakteristicky září. Snímky z družic ukazují polární záře jako prstenec kolem magnetického pólu Země. Lidově se polární záři říká „severní záře“ nebo „jižní záře“, odborně aurora borealis a aurora australis. Polární záře se také vyskytuje na Jupiteru a Saturnu.

Polární záře – viz snímek 1.19.

4.27 Země a sluneční energie

Na naši Zemi dopadá vně atmosféry tok energie slunečního záření 1,4 kW na 1 m². Tuto hodnotu nazýváme sluneční konstantou. Na celou Zem dopadá trvale 180 000 TW nejčistší a nejkvalitnější energie. A bude dopadat ještě sedm miliard roků. Zadarmo a všude. Celé lidstvo potřebuje dohromady 14 TW energie, kterou získává většinou z fosilních zdrojů, například uhlí a ropy. Jde také o sluneční energii, ale pošpiněnou ležením pod zemí po miliony roků. Tato forma energie je drahá, vyčerpatelná, znečišťuje náš kosmický domov, a je poskvrněná krví nevinných životů ve válkách, které se o fosilní zdroje vedou.

Sluneční záření zahřívá Zem, rozdmýchává větry, udržuje koloběh vody, dodává biosféře 90 TW a udržuje její život, osvětluje její polovinu a umožňuje vidění. Jeho energie ve fosilních palivech podstatně zvýšila životní úroveň většiny lidstva. Je to také sluneční energie z dob před mnoha miliony roků zachycená chlorofylem dávných plavin, přesliček, kapradí a fytoplanktonu. Byla však dlouhým ležením pod zemí zašpiněna a dnes nám tyto nečistoty otravují životní prostředí.

Přišla doba, abychom užívali dnešní sluneční energii (přímou jako sluneční záření) nebo nepřímou (jako teplo, vítr, tok vody, cirkulaci atmosféry, biomasu). Jen tak uchováme svou planetu i pro naše potomky.

V poslední době se člověk snaží napodobit hvězdy a vytvořit jakési „malinké Slunce“ na povrchu Země. Za teplot sto milionů stupňů by přeměňoval těžký vodík na hélium a získával velké množství energie. Mluví se o tzv. fúzních (nebo termojaderných či termonukleárních) reaktorech.

Termojadernou fúzi se zatím podařilo uskutečnit jen na krátkou dobu, za cenu půl miliardy dolarů a s nepatrným ziskem energie. V jižní Francii několik bohatých stá-

tů buduje nákladný tokamak ITER. Rozhodující osobnosti asi nevědí, že na nebi už existuje téměř pět miliard roků Slunce, přírodní fúzní reaktor, naprosto bezpečný, bez radioaktivity, který Zemi dodává třinácttisíckrát více energie, než potřebuje na všechno celé lidstvo dohromady. Je zadarmo a přitom je to nejkvalitnější energie na Zemi. Lze ji totiž nejučinněji přeměnit v jiné potřebné druhy energie. Slunce je zdrojem veškerého tepla a pohybu na naší planetě, včetně energie pro biosféru a člověka. Bez Slunce, bez jeho záření, by věci nebyly tím, čím jsou:

*Slunce je veliký básník
a napsalo krásnou báseň
zlatým perem
na naši Zem.*

(Jiří Wolker)

4.28 Země jako transformátor slunečního záření

Země působí jako transformátor záření. Přijímá od Slunce světlo s maximem intenzity na vlnové délce 0,5 mikrometru, to je půl tisícin milimetru. Země pak do kosmu vysílá infračervené neboli tepelné záření s maximem u 10 μm , což je setina milimetru. Energie, kterou Země přijímá od Slunce je ve stejném množství vysílána zpět do Vesmíru. Je vysílána celou Zemí jako tepelné záření. Je-li množství vyzářené energie stejné jako od Slunce přijaté, je Země v zářivé rovnováze. Globální teplota se nemění. Cokoliv zvětší nebo zmenší dopadající nebo vyzařovanou energii, naruší zářivou rovnováhu a globální teplota Země vzroste nebo se zmenší. Například vzrůst množství skleníkových plynů v atmosféře znamená částečný pokles vyzařované energie, které vede ke globálnímu oteplování. Teplota Země v průběhu milionů let není stálá a kolísá z nejrůznějších příčin.

4.29 Osudy slunečního záření na Zemi

Na Zemi může dopadnuté sluneční fotony postihnout různý osud. Především jsou pohlceny a jejich energie změněna v tepelný pohyb atomů a molekul. Mohou být rozptýleny od atmosféry a odraženy od oblaků nebo od povrchu Země zpět do kosmického prostoru. Mohou být zachyceny zelenými rostlinami a předávat energii všemu živému v biosféře. Mohou pak pracovat ve svazech dělníka, v kybernetickém stroji nebo v myšlence našeho mozku. Velká většina slunečních fotonů je pohlcena a jejich energie se změní v neuspořádaný pohyb molekul. Jinými slovy: energie fotonů se změní v teplo látky, na niž dopadnou. Energie, kterou ze Slunce přinesly, pak rozdmychává větry, zvedá oblaka z moří a pohání řeky. Je to energie ze slunečních fotonů, která osvětluje a otepluje naše domovy, pohání

auta, letadla, stroje v továrnách i na polích. Zkrátka, všechny pohyb na Zemi a všechny život je projevem energie, kterou s sebou přinesly fotony ze Slunce.

Osudy slunečního záření na Zemi v číslech: Ze Slunce dopadá na naši planetu 180 000 TW světla (100 %). Z toho se odráží v atmosféře a na povrchu přibližně jedna třetina. Atmosféra pohlcuje jednu pětinu a na povrch Země dopadá jedna polovina. Půl promile (90 TW) uskládňuje fotosyntéza do biomasy. Dvě třetiny dopadajícího slunečního záření (120 000 TW) se na Zemi po různých proměnách nakonec mění v infračervené (tepelné) záření, které uniká zpět do Vesmíru. Unikající infračervené fotony mají energii dvacetkrát menší (čili vlnovou délku dvacetkrát větší) než fotony dopadajícího slunečního světla. Země je tedy transformátorem slunečního záření na tepelné záření. Znehodnocuje dvacetkrát vysoce kvalitní světelné záření o teplotě 6 tisíc K na tepelné záření o teplotě kolem 300 K.

Země a sluneční energie – viz také snímky, 2.18, 2.18 a 4.27.

4.30 Využití sluneční energie

Sluneční energie se po dopadu na Zemi může přeměnit na chemickou energii biomasy, tepelnou energii neuspořádaného pohybu molekul látky, elektrický proud vytvářený spořádaným pohybem elektronů ve vodiči nebo na kinetickou energii dopravních prostředků. Bezpočetné generace mnohých národů tušily význam Slunce pro život. Uctívaly ho, klaněly se mu, zdravily ho, stavěly mu chrámy, tesaly sochy, zpívaly hymny, tančily na jeho počest a přinášely oběti. Jejich vztah k přírodě nebyl lhostejný a jejich srdce nebyla okoralá. Dnes konstruuujeme důmyslná zařízení, která mění energii slunečního záření na všechny druhy energie potřebné pro život. Tím se zvyšuje životní úroveň, která je úměrná spotřebě energie. Je důležité, aby tento způsob zvyšování životní úrovně neníčí životní prostředí.

Namísto chrámů stavíme sluneční observatoře, které umísťujeme nejen na povrchu, ale i pod zemí a do kosmického prostoru. I když Slunci oběti nepřinášíme, rozumíme jeho životu a vědecky – tedy s jistotou – jsme poznali, že jsme uhnětení ze stejných chemických prvků jako „bratr Slunce“ a naprosto energeticky závislí na „Pánu Slunci“, jak to před osmi stoletími řekl František z Assisi.

4.31 Sluneční energie v biosféře

Fotosyntéza uskládňuje energii slunečního záření do složitých molekul bohatých na energii, například jde o cukry a škroby. V potravě tuto energii získáváme v chemické formě jako molekuly uhlovodíků. Bez tohoto zdroje potravy (tj. přeměny energie fotonů v ener-

gii chemickou) by většina biosféry nemohla existovat. Byly by sice houby, ale nebyla by zelenina, ovoce, obilí, ani živočichové, kteří jsou zcela závislí na rostlinách jako potravě.

Slunce je nesmírný energetický marnotratník – jen miliontinu vyzářené energie dává svým planetám a Zemi jen půl miliardy. Ale přitom dává energii chudobce tak pečlivě, jakoby nemělo nic jiného na starosti.

Metabolismus znamená uvolňování energie z potravy a je tedy obrácený proces k fotosyntéze. Je to látková a energetická výměna, příjem a zpracování živin. Vdechovaný kyslík se v *mitochondriích* buněk slučuje v molekulách s uhlíkem a vodíkem na vodu a oxid uhličitý. Přitom se asi z poloviny uvolní energie uskladněná fotosyntézou jako teplo. Asi polovina buduje molekuly pro organismus.

Látková přeměna je soubor všech reakcí, při nichž dochází k přeměně látek a energií v buňkách. Podle směru probíhající změny, která se s komplexní organickou molekulou děje, rozdělujeme metabolismus na anabolismus (výstavbový proces, biosyntéza) a katabolismus (rozkladový proces).

4.32 Fotosyntéza

Uvnitř rostlinných buněk, jejichž stěny jsou z celulózy, jsou zelené chloroplasty. Obsahují zeleň listovou neboli chlorofyl a probíhá v nich fotosyntéza. Zelené rostliny odebírají vodě kyslík a uvolňují ho do atmosféry. To je jeden z kroků fotosyntézy. Zelené rostliny ukládají fotosyntézou sluneční energii do cukrů, škrobu a jiných organických látek a tvoří potravu pro biosféru, tedy i pro nás). Živočichové kyslík vdechují. V buňkách jejich organismu se slučuje s atomy uhlíku a vodíku z molekul potravy na oxid uhličitý a vodu. Přitom se uvolní pro organismus ta sluneční energie, kterou do molekul potravy fotosyntézou vložily zelené rostliny.

Je pozoruhodné, že molekula chlorofylu v rostlinách a molekula hemoglobinu v naší krvi jsou si velmi podobné. Uvolňování energie z potravy probíhá v jiných organelech – tzv. mitochondriích.

Náš skladatel Petr Eben zhudebnil báseň Františka z Assisi „*Cantico delle creature*“. Nikdo nevyjádřil vztah člověka ke Slunci lépe než právě František z Assisi:

*„Laudato si, mi Signore,
con tucte le tue creature,
spezialmente messor lo frate sole,
lo quale jorna,
et allumini per lui.“*

*„Bud' pochválen, můj Pane, od všech Tvých tvorů,
zvláště pak od Pána bratra Slunce,
jenž přináší den a jímž dáváš světlo;
je krásný a září velkým jasnem,
který je obrazem jasu Tvého, Nejvyšší.“*

Komu by nezjihlo srdce při pomýšlení na pokorného velikána středověké lyriky, pro něhož voda byla sestrou a Slunce bratrem? Ekologové by nenašli lepšího patrona, než je František. Jeho vztah ke všem věcem je projevem hlubokého kosmického vědomí. V prostředí s bídými astronomickými znalostmi o Vesmíru poznal intuicí skutečnost, k níž se dopracovala věda až dnes – to jest až za osm století:

Slunce je naším bratrem a pánem

Atomy, z nichž je složen náš organizmus, planeta Země i Slunce, vznikly v téže supernově před sedmi miliardami roků. Slunce se svými planetami se zrodilo z téže mateřské mlhoviny před necelými pěti miliardami roků. V ní byly ty atomy vodíku, uhlíku, dusíku, kyslíku i železa, které se dostaly do Země a ze Země si je vypůjčil náš organizmus. Jiné atomy mateřské mlhoviny se dostaly do Slunce. Látkově je tedy Slunce naším bratrem. Po stránce energetické je však naše závislost na slunečním záření naprostá. Vždyť každý tep našeho srdce, každý pohyb našich svalů, každý nervový vzruch v našem mozku je přeměněná sluneční energie. Dostali jsme ji od Slunce ve formě jídla přes fotosyntézu zelených rostlin.

Energeticky je tedy Slunce naším absolutním pánem. Pánem nesmírně bohatým a štědrým, který nám nabízí naprosto čistou energii. A zadarmo, spravedlivě všem – chudým i bohatým. Proč tedy okrádáme naše vnuky a pravnučky o cenné suroviny – uhlí, ropu a zemní plyn? A při tom jim znečišťujeme a otravujeme Zemi – náš a jejich domov. Chováme se arogantně k přírodě, jejíž jsme součástí. Stáváme se lhostejnými nejen k ní, ale i k jiným darebáctvím denně předváděným ve sdělovacích prostředcích.

Sluneční energie – viz snímek 11.28.

4.33 Koloběh vody

Koloběh vody neboli hydrologický cyklus je cirkulace vody poháněná sluneční energií a gravitací Země. Ročně se oběhu účastní přibližně 600 bilionů krychlových metrů vody, což jsou přibližně 0,04 % z celkového množství vody na Zemi. Z toho 86 % se vypaří ze světových oceánů a zbytek z kontinentů. 79 % se vrací jako srážky zpět na povrch oceánů. Tato část oběhu vody na Zemi, které se účastní téměř 4/5 celkového obíhajícího množství,

se nazývá malý oběh vody. Probíhá jen nad oceány. Zbytek je zanesen nad pevninu, kde spadne ve formě srážek. Spadlá voda se jednak vrací vodními toky do moří, jednak doplňuje zásoby podzemních vod nebo se vypaří. To je tzv. velký oběh vody.

4.34 To nejlepší z SDO

Observatoř SDO létá nad našimi hlavami od února roku 2010. Čtveřice dalekohledů o průměru 20 cm fotografuje Slunce na různých vlnových délkách každých 12 s. Dosud žádný přístroj nebyl schopen chrlit snímky s takovou frekvencí. Těsně po sobě jdoucí záběry umožňují vytvářet videosekvence časového vývoje nejrůznějších útvarů při povrchu Slunce se zcela mimořádným rozlišením. Takřka v přímém přenosu se můžeme dívat na vývoj protuberancí, erupcí, koronálních výronů látky i dalších rychlých dějů v deseti spektrálních oborech. Pokochejte se na závěr záběry Slunce z této observatoře nové generace.

Za první dva roky zaznamenala observatoř SDO přes 1 000 událostí na povrchu Slunce. Šlo o různé erupce, vzplanutí, protuberance, výrony koronální hmoty atd. Čtveřice dvacetimetrových dalekohledů s filtry v deseti frekvenčních pásmech přinesla strhující snímky sluneční látky divoce se zmítající ve sluneční atmosféře. Můžeme si prohlížet vzplanutí třídy X, spojování a růst aktivních oblastí i další zajímavé jevy. Sledování útvarů v různých vlnových délkách umožnilo monitorovat oblasti s různou teplotou plazmatu.

Observatoř SDO snímkuje celé Slunce, a proto bylo možné spatřit, jak jsou magneticky provázány i velmi vzdálené oblasti sluneční látky. Elektrony kroužící kolem siločar magnetického pole září v ultrafialovém oboru. UV snímky proto umožnily studium topologie magnetických siločar včetně jejich rozvlnění Alfvénovými vlnami. Alfvénovy vlny se projevují jako vlající zprohýbané siločáry magnetického pole podobné trávě vlnící se ve větru. Právě tyto vlny odnášejí energii z podpovrchových vrstev Slunce a zahřívají sluneční korónu na několik milionů stupňů.

V roce 2011 observatoř SDO jako první pozorovala vypaření komety v atmosféře Slunce. Přístroj EVE, který je určený pro sledování fluktuací ultrafialového záření Slunce, detekoval u šestiny z 200 pozorovaných erupcí dosvit v ultrafialové oblasti, o jehož existenci se dosud nevědělo. K analýze pořízených magnetogramů byla v roce 2011 vyvinuta zcela nová technika jejich zpracování, která umožňuje vytvořit vektorový magnetogram (nese informaci nejenom o polaritě polí, ale i o jejich směru). Ukázalo se, že v době vzniku erupce se v okolí vířících skvrn prudce mění vodorovná složka magnetického pole.

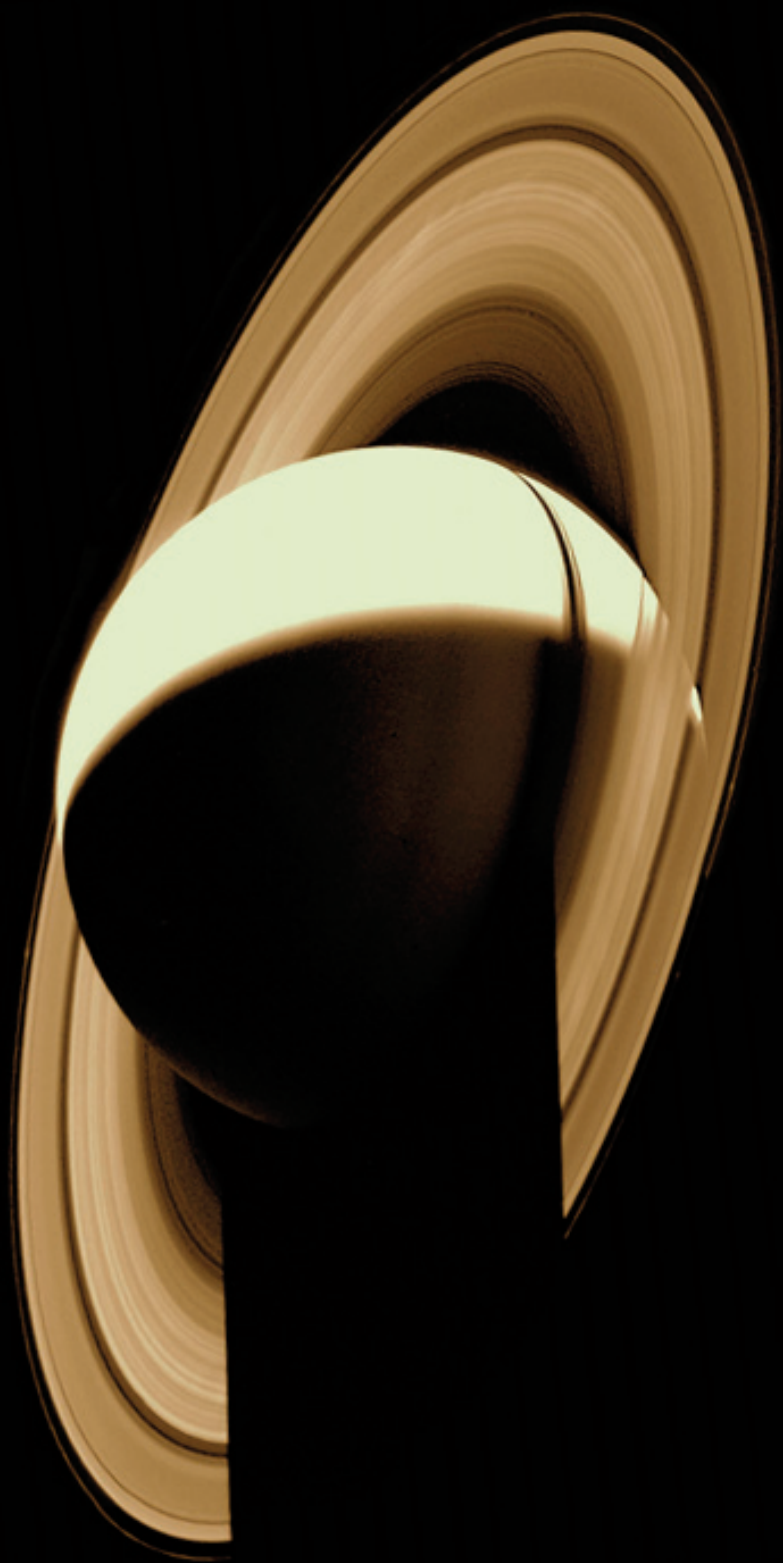
SDO – viz snímek 4.8.

Zdroje ke čtvrté prezentaci

- 4.1 <http://sohowww.nascom.nasa.gov/gallery/images/mdi20031028.html>
- 4.2 <http://www.jb.man.ac.uk/astronomy/nightsky/AList/ACent.jpg>
- 4.3 <http://www.egiptoforo.com/forums/showthread.php?t=7460&page=51>
<http://crazydog.cz/fotogalerie/original/radegast.jpg>
<http://www.theoi.com/Gallery/T17.1.html>
<http://www.bikertony.org/6YearTrip/PicIndia96/19.jpg>
<http://learnlearn.net/Historie,religion,kunst/Bronsejernalder.htm>
- 4.4 <http://gandalfsgallery.files.wordpress.com/2010/01/wheatfieldswithreaperatsunrise-vincentvangogh.jpg>
<http://www.umelecky-klub.cz/zbozi-image/redakce/large/42730monet--imprese--vychod-slunce.jpg>
<http://www.pbase.com/image/21634332>
http://www.chihuly.com/the-sun-2006-newyorkbot_detail.aspx
<http://365fotoadayproject.wordpress.com/2012/04/22/the-temple-of-the-sun-by-dale-chihuly/>
- 4.5 http://www.backseatbettys.com/solarSite/downloads/hiRes_00-SS.jpg
- 4.6 archiv autora; http://en.wikipedia.org/wiki/Milky_Way
- 4.7 <http://chandra.harvard.edu/photo/2005/casa/>
<http://www.ipac.caltech.edu/2mass/gallery/fest1-457atlas.jpg>
<http://hubblesite.org/newscenter/archive/releases/star/protoplanetary%20disk/2001/13/image/c/>
<http://www.spitzer.caltech.edu/images/1527-ssc2005-26b-Portrait-of-Our-Dusty-Past>
- 4.8 http://3.bp.blogspot.com/_5afhVbaggHRs/TOSUZ-Zh1oI/AAAAAAAAAAno/5e0M_no_taY/s1600/IMG_1827_edited.jpg
http://www.delange.org/National_Solar_Observatory_Sacramento_Peak/National_Solar_Observatory_Sacramento_Peak.htm
<http://www.staff.science.uu.nl/~rutte101/dot/albums/photographs/2005-tvw-roque.jpg>
http://www.kis.uni-freiburg.de/typo3temp/pics/090514-131454_GREGOR_VTT_Kopie1_01_d75692347e.jpg
http://www.physics.arizona.edu/~milsom/photo/arizona/scenic_views/scenery2.html
<http://www.aip.de/en/institute/locations/>

- the-potsdam-telegrafenberg-historical-site/
 pictures_tour_babelsberg/einsteinturm_7052_xl.jpg
http://www.nasa.gov/images/content/507772main_soho.jpg
http://www.nasa.gov/images/content/541940main_hinode-orig_full.jpg
http://www.nasa.gov/mission_pages/sdo/multimedia/gallery/gallery-index.html
- 4.9 <http://sci.esa.int/science-e/www/object/index.cfm?fobjectid=12340>
http://soho.esac.esa.int/gallery/Spacecraft/soho_photo2.html
 kresba AGA
- 4.10 http://www.don-lindsay-archive.org/creation/solar_neutrinos.htm
<http://civiliz.chat.ru/sunsys/syssun.html>
<http://www.hao.ucar.edu/education/slides/slide10.php>
<http://sohowww.nascom.nasa.gov/gallery/images/trico1.html>
http://nssdc.gsfc.nasa.gov/solar/sample_images.html
<http://www.eso.org/public/images/eso0125a/>
- 4.11 kresba Ivan Havlíček (v publikaci P. Kulháněk, J. Rozehnal: Hvězdy, planety Magnety, Mladá fronta, Kolumbus 2007)
- 4.12 kresba AGA
- 4.13 http://www.don-lindsay-archive.org/creation/solar_neutrinos.html
- 4.14 kresba AGA
- 4.15 kresba AGA; http://chinook.kpc.alaska.edu/~ifafv/lecture/miscell/fraunhof/sun_spectrum.jpg
- 4.16 <http://svs.gsfc.nasa.gov/vis/a000000/a002200/a002269/index.html>
- 4.17 http://www.solarphysics.kva.se/gallery/movies/2004/THUMB_gcont_13May2004_2h_bottom.mpg.jpg
http://www.solarphysics.kva.se/gallery/images/2002/np1_fig1_2columns_color.gif
- 4.18 http://www.solarphysics.kva.se/gallery/movies/2010/THUMB_cawb_spot_02Jul2010_color.mov.jpg
<http://eol.jsc.nasa.gov/scripts/sseop/photo.pl?mission=AS17&roll=148&frame=22727>
- 4.19 <http://blogs.jccc.edu/astronomy/2009/02/27/solar-mosaics/>
<http://civiliz.chat.ru/sunsys/syssun.html>
<http://www.astrobin.com/2221/>
http://umbra.nascom.nasa.gov/images/latest_hmi_mgram.gif

- 4.20 http://www.esa.int/esaSC/SEMGUB29R9F_index_1.html#subhead3
- 4.21 kresba AGA
- 4.22 <http://sohowww.nascom.nasa.gov/gallery/images/trico1.html>
http://sohodata.nascom.nasa.gov/cgi-bin/data_query_search_movie
<http://www.hao.ucar.edu/education/slides/slide10.php>
http://swrl.njit.edu/ghn_web/ima/mlso_domes.gif
- 4.23 Miloslav Druckmüller (VUT Brno), Martin Dietzel, Peter Aniol, Vojtěch Rušin
- 4.24 http://soi.stanford.edu/results/SolPhys200/Schrijver/images/TRACE171_991106_023044.gif
<http://nsosp.nso.edu/esf/>
http://soi.stanford.edu/press/ssu11-01/TRACE/T171_X14_010415.mov
- 4.25 http://weather.cpst.net.cn/2006_11/163754693.html
- 4.26 NASA; apod.nasa.gov/apod/ap070409.html
apod.nasa.gov/apod/ap960619.html
earthobservatory.nasa.gov/IOTD/view.php?id=44348
www.noaa.gov/features/monitoring_0209/auroras.html
- 4.27 Archiv autora
- 4.28 <http://i.imgur.com/vfay6.jpg>
- 4.29 kresba AGA
- 4.30 http://apod.nasa.gov/apod/image/0312/helios_cthomas_big.jpg
<http://mikyunglim.wordpress.com/2011/04/22/rainforest-rain/>
archiv autora
- 4.31 Archiv autora
- 4.32 <http://sandithom.fr/TPE/undeux.php>
<http://pic2.gophoto.us/key/chloroplasten#>
http://www.wallcoo.net/nature/sz194-Tree-and-grassland_blue_sky/wallpapers/1280x1024/lone_tree_on_grassland_JA116_photo.html
- 4.33 <http://ga.water.usgs.gov/edu/graphics/watercycle-print-11x17.jpg>
- 4.34 <http://svs.gsfc.nasa.gov/vis/a010000/a010900/a010966/index.html>



5. Naše planety

Země s Měsícem patří do společenství mnoha těles, tělísek a prachu, která obklopují hvězdu zvanou Slunce. Jejich velikost je rozmanitá, od droboulinkých mikroskopických meteoroidů až po obří planetu Jupiter. Všem dohromady říkáme Sluneční soustava (nebo sluneční systém). Slunce je největší ze všech těles a tělísek Sluneční soustavy. Proto je drží gravitační silou ve své blízkosti. Nutí je, aby kolem něho obíhaly, a nedovolí, aby od něho utekly k jiným hvězdám. Hlavními členy Sluneční soustavy jsou Slunce a osm planet. Některé planety jsou provázeny jedním nebo více měsíci, které obíhají blízko kolem své planety. Pět planet je známo již od starověku. Jsou to ty nejjasnější, které můžeme pozorovat pouhým okem: Merkur, Venuše, Mars, Jupiter a Saturn. Ve starověku a středověku někteří lidé věřili (a někteří i dnes věří), že poloha planet na obloze ovlivňuje lidské osudy. Této podivné víře se říká astrologie. Není to věda.

V posledních desetiletích jsou planety předmětem intenzivního výzkumu a poutají pozornost široké veřejnosti. Díky televizi a tisku známe obrázky planet zblízka. V novinách se denně píše o planetách a zvířetníkových znameních. Horoskop v rádiu nám denně radí, co dělat a čeho se v ten den vystríhat. Co jsou planety? Mohou ovlivňovat lidský osud? Jsou planety u jiných hvězd? Na kterých planetách je život? Jak je poznáváme a co o nich víme?

Planety nejsou božstva, jak se domnívali lidé před dvěma tisíci roky. Neřídí lidské osudy, jak se až dodnes domnívají – a to bez důvodu – někteří lidé. Naopak, pohyb planet je řízen odvčným zákonem. Nepobíhají mezi hvězdami nazdařbůh, ale pohybují se po přísně vymezených drahách. Lidé poznali planety ve třech krocích. Nejprve se pokoušeli vysvětlit zdánlivý pohyb planet na hvězdném nebi. Odpověď hledali babylonští kněží (první astronomové-astrologové) už šest století před naším letopočtem. Určovali polohu planet z hliněných tabulek v knihovně v Ninive, kterou tam pečlivě zaznamenávali předešlé generace jejich předchůdců. Pohnutkou ke studiu drah planet nebyla jen praktická potřeba předpovídat polohu planet v budoucích dnech, ale i přirozená zvědavost, základ vědeckého poznání. Poznatky pak přebírali a zpřesňovali Řekové a Římané. Propracovanou představu o pozorovaném pohybu planet na obloze podává alexandrijský matematik a astronom Klaudius Ptolemaios v díle *Almagest*. Každá planeta má svou sféru (to jest čírou, průzračnou kulovou vrstvu), která se otáčí kolem Země. Dráha planety je tedy kružnice. Avšak odchylky (anomálie) jsou značné, takže je zaveden *epicykl*: malá kružnice, jejíž střed zůstává ve sféře. Planeta se pohybuje po epicyklu. Střed sféry jsou mimo Zemi (*excentr*) a velká kružnice ve sféře se proto nazývá *deferent*. Ptolemaios přidává ještě *ekvant*, aby

vystihl nerovnoměrnosti zdánlivého pohybu planet. Vhodnou volbou poloměrů deferentu a epicyklu, jakož i excentru bylo možné dobře vyjádřit, jak se planety po obloze pohybují. Přesněji řečeno, kde je můžeme vidět v určitou dobu v budoucnosti, u kterých hvězd a v kterém souhvězdí či zvěretníkovém znamení.

Jak se však pohybují skutečně? Na to dává odpověď až renesance, dvě tisíciletí po prvních astronomech v Ninive. Tedy ne kolem Země, ale kolem Slunce (Koperník). Dráhy planet nejsou kružnice, ale elipsy (Kepler). Když známe zákony, podle nichž se řídí skutečný pohyb planet v prostoru, je snadné vypočítat jejich dráhy zdánlivé a tedy i polohu na obloze v libovolný okamžik do minula i do budoucna. Proč se planety pohybují? Netahá je koňské spřežení, jak znázorňují krásné antické sochy a mozaiky. Nejezdí na lodi, jak jsou znázorněny na obrazech ze Súdánu. Nelétají, jak to znázorňují reliéfy v Persepolis. Ani je před sebou nevalí posvátný brouk Skarabeus. V pohybech planet je přesný řád, daný třemi *Keplerovými zákony*, které Kepler objevil na základě pozorování.

Z Keplerových zákonů lze odvodit jednoduchý výraz pro sílu F působící mezi Sluncem (jehož hmota je M) a planetou (jejíž hmota je m a vzdálenost od Slunce r):

$$F = G M m / r^2.$$

Číslo G (gravitační konstanta) je stejné pro všechny planety. Tomuto jednoduchému vztahu říkáme *gravitační zákon*. Někdy se mu říká zákon všeobecné přitažlivosti nebo Newtonův zákon, neboť Newton ho poprvé z Keplerových zákonů odvodil. Vyjadřuje velikost gravitace (gravitační síly), kterou se přitahují Slunce s planetou. Gravitační síla působí mezi každými dvěma tělesy ve Vesmíru, nejen mezi Sluncem a planetami. Měsíce jsou přitahovány ke svým planetám, hvězdy ve hvězdokupě jsou k sobě poutány gravitací, všechny hvězdy v Galaxii jsou k sobě vázány gravitací. Ale i my jsme k naší planetě připoutáni gravitační silou. Zkrátka, gravitační síla působí v celém Vesmíru. Gravitačnímu zákonu podléhají nespočetné miliardy kosmických těles. Není žádné výjimky. On řídí pohyby všech planet: Keplerovy zákony jsou jeho důsledkem, vyplývají z něho a lze je z něho odvodit. „Antičtí bohové“ – planety – nejenže nejsou vládci nad našimi osudy, ale jsou naprostými poddanými gravitační síly. Poslušně se pohybují po drahách určených gravitačním zákonem. Je to obdivuhodný zákon. Sesadil všemocné astrologické vládce a změnil je na poslušné poddané.

*„Cesty, kterými lidé pronikají k podstatě nebeských dění,
mi připadají téměř stejně podivuhodné jako tyto jevy samy.“*

(Jan Kepler)

5.1 Úvod

Představa antických a středověkých astronomů o pohybech planet, Slunce a Měsíce se velmi odchylovala od skutečnosti. Podle geocentrického názoru byla Země středem Vesmíru. Kolem ní byly průzračné (křišťálové) koule těles Sluneční soustavy – Měsíce, Slunce a pěti známých planet. Planety Uran a Neptun tehdy ještě známy nebyly. Ve vnější sféře byly otvory, jimiž prosvítalo nebeské světlo – hvězdy. Trvalo velmi dlouho – asi dvě a půl tisíciletí – než se podařilo vysvětlit pohyby planet. Od klínopisných záznamů v knihovně krále Assurbanipala v Ninive až po zákony Keplerovy a Newtonův zákon gravitační o to usilovali všichni velcí pozorovatelé a myslitelé.

Období, kdy se pozorovalo pouhým okem, lze považovat za „astronomický starověk“. Vynálezem „přibližovacího zařízení“ (dalekohledu) na začátku 17. století v Holandsku začíná druhá éra výzkumu nejen planet, ale Vesmíru vůbec – je to „astronomický středověk“. Co jsou planety? Jaké jsou jejich vlastnosti, jak a kdy vznikly? Tak se ptali astronomové, kteří už dovedli přesně určovat dráhy planet, komet, planetek i měsíců. S postupující dobou přibývalo dokonalejších dalekohledů, které rozpoznávaly menší podrobnosti a „viděly“ slabé planety i jejich měsíce – pouhému oku dosud nedostupné.

Doplňky k dalekohledům rozkládaly světlo ve spektrum, které přinášelo vědcům informace o chemickém složení planet, jejich teplotě, pohybu aj. Fotografie uchovávala se vši přesností po mnohé roky pozorované jevy, které by lidská paměť neobsáhla. Fotoelektrické fotometry značně předčily lidské oko v určení jasnosti. Dalekohledy citlivé na záření rádiové, infračervené, ultrafialové, rentgenové a gama značně rozšířily barevnou citlivost našeho vidění Vesmíru. Pomocí pozemských dalekohledů astronomové určili

1. vzdálenosti planet od Slunce,
2. tvar, velikost a sklon drah,
3. trvání jednoho oběhu kolem Slunce a rychlost, s jakou planety kolem Slunce obíhají,
4. sklony os, kolem nichž se planety otáčejí, a rychlost jejich rotace,
5. velikost planet,
6. hmotnost planet – to jest množství hmoty, z níž jsou vybudovány,
7. průměrnou hustotu planet. U planet blízkých Slunci (terestrických) je hustota kolem 5 g cm^{-3} , u obřích planet je kolem 1 g cm^{-3} .

5.2 Sluneční soustava dnes

Dnes dobře víme, že Slunce, Země, planety a jejich měsíce tvoří jen nejvnitřnější část Sluneční soustavy. Její rozměry jsou přibližně 60 astronomických jednotek, tedy šedesátinásobek vzdálenosti Země od Slunce. Za poslední planetou, Neptunem, se rozprostírá Kuiperův pás, ve kterém je velké množství menších těles. K nejznámějším z nich patří trpasličí planeta Pluto. Kuiperův pás má průměr přibližně 1 000 astronomických jednotek. Za Kuiperovým pásem leží Oortův oblak kometárních jader. Jde o pozůstatky látky z období tvorby Sluneční soustavy a obrovskou zásobárnu vody pro celou Sluneční soustavu. Oortův oblak má rozměr přibližně 100 000 astronomických jednotek. To jsou necelé dva světelné roky.

Jednotkou vzdáleností ve Sluneční soustavě je vzdálenost Slunce-Země. Nazývá se astronomická jednotka. Značí se a.j., aj. nebo často AU či au (podle anglického názvu *Astronomical Unit*). Přesnou definici astronomické jednotky naleznete u snímku 1.24.

Hlavní tělesa obíhají kolem Slunce prakticky ve stejné rovině, v rovině ekliptiky (ekliptika je myšlená kružnice na nebeské sféře, kterou opisuje střed Slunce při jeho zdánlivém pohybu po obloze). Planety, planety, krátkoperiodické komety a Kuiperův pás tvoří disk podél roviny ekliptiky. Tato tělesa provázející Slunce vznikla z plochého protoplanetárního disku před 4,5 miliardami roků.

Původní tvar a velikost globule (mlhoviny, ze které Sluneční soustava vznikla) je dochován v **Oortovu oblaku**, obrovském množství špinavých ledovců rozložených do kulového prostoru kolem Slunce. Odtud občas některý ledovec sklouzne mezi planety blízko ke Slunci, zahřeje se a vytvoří kometu s velkou hlavou (*kómou*) a *ohonem*. Po průletu se vrátí zpět do ledových končin Sluneční soustavy. Takovým kometám říkáme dlouhoperiodické komety, protože se navrací zpět po mnoha staletích až tisíciletích. A přilétají ze všech směrů – z čehož usuzujeme na rozlehlý – přibližně kulový tvar Oortova oblaku. Na tuto skutečnost upozornil význačný holandský astronom, profesor Jan Oort. Po něm byla tato „obalová ledovcová část“ Sluneční soustavy nazvána.

Kuiperův disk (Kuiperův pás) je plochý prstenec ledových těles (kuiperoidů, transneptunických těles), který lemuje planetární soustavu za dráhou Neptunu. Celkový počet těles v pásu se odhaduje na sto tisíc. Vnitřní poloměr prstence je přibližně 30 AU, vnější okolo 500 AU. Z Kuiperova pásu přicházejí krátkoperiodické komety. To jsou komety s oběžnou dobou kratší než 200 roků (například Halleyova kometa, která oběhne Slunce jednou za 76 roků). Pás byl předpovězen americkým astronomem holandského původu Gerardem Kuiperem (1905–1973) v roce 1951.

5.3 Vnitřní část Sluneční soustavy

Pojďme si nyní prohlédnout vnitřní část Sluneční soustavy. Ústředním a nehmotnějším tělesem Sluneční soustavy je Slunce. Je třístatisíkrát hmotnější a objemově milionkrát větší než Země. Mohutnou gravitační silou drží všechna tělesa při sobě a tvoří z nich systém. Kolem Slunce jsou zakresleny dráhy planet od Merkuru až po Saturn. Vlevo dole vidíme Jupiter. Mezi drahou Jupiteru a Marsu je pás planetek, drobných těles Sluneční soustavy. Protáhlou elipsou je vyznačena dráha Halleyovy komety. Její ohon směřuje od Slunce. Světlý spodní levý roh je okraj Mléčné dráhy.

V těžišti Sluneční soustavy je hvězda Slunce. V jejím hlubokém nitru se z hmotnosti protonů (přesněji řečeno z jejich klidové energie 938 MeV) uvolňuje energie (z každého protonu 7 MeV). Přeměnou vodíku v hélium se ve středové oblasti uvolňuje nepředstavitelně velký tok energie. Ta má nejprve formu gama fotonů (z anihilace dvojice elektron a pozitron), rentgenového záření a tepelného pohybu částic (především protonů, alfa částic a volných elektronů). Od žhavého středu (15 milionů K) se fotony záření pozvolna posouvají směrem k chladnému povrchu (6 tisíc K).

Přitom se původní fotony gama a rentgenové rozdrobí na mnoho tisíců fotonů vyzařovaných z povrchu Slunce jako světlo. Souhrn energie všech fotonů (tj. celkový tok energie) však zůstává zachován. Množství energie uvolněné v jádru Slunce fúzí protonů je $3,8 \times 10^{26}$ joulů za sekundu. Přenosem od středu k povrchu Slunce se změní jen vlastnost energie: původní gama záření je znehodnoceno ve světlo. Sluneční energii dostává život na Zemi ve formě světla – naštěstí, vždyť gama a rentgenové záření přímo ze středu Slunce by všechn život v krátké době zničilo.

Než se uvolněná energie dostane od středu k viditelnému povrchu Slunce trvá celý milion roků. Odtud za osm minut doběhne elektromagnetické záření jako fotony na naši planetu, kde je zdrojem energie pro biosféru. Biosféra prostřednictvím fotosyntézy dostává 90 TW (T neboli tera značí trilion, číslo s osmnácti nulami). Dospělý člověk z tohoto množství spotřebuje asi 150 W, což za den je energie 12 MJ (3 tisíce velkých kalorií).

Sluneční rodina je systém, jehož hlavním členem je Slunce. Kolem něho obíhá osm planet, trpasličí planety, planetky a komety. Kolem některých planet a planetek obíhají měsíce (družice). Základní silou, která drží sluneční rodinu pohromadě, je gravitace. Sluneční rodina je příkladem různých těles – systémů vytvořených čtyřmi interakcemi z kvarků a elektronů. V meziplanetárním prostoru jsou atomy, molekuly, prachové částice a větší meteoroidy.

Viz také snímek 1.16.

5.4 Planety zdálky

Unikátní záběry Sluneční soustavy, na které se díváte, byly pořízeny 14. února 1990 kamerou na sondě Voyager 1 ze vzdálenosti 6,5 miliardy kilometrů z výšky 32 stupně nad rovinou ekliptiky. Země byla v tu dobu pro Voyager 1 srpečkem v blízkosti Slunce, a je proto v pruhu rozptýleného světla. Merkur a Mars chybí, neboť byly v záři Slunce.

Země je členem početné Sluneční soustavy. Zrodila se současně s ostatními planetami z jednoho protoplanetárního disku kolem Slunce – podobně jako kuřata v jednom hnízdě. Podobné soustavy jsou u mnoha jiných hvězd. Výzkum z poslední doby nasvědčuje tomu, že jen v Mléčné dráze jsou miliardy hvězd provázených planetami.

Voyager – viz snímek 1.15.

5.5 Planety zblízka

Planeta je skalnaté nebo plynné těleso obíhající kolem Slunce nebo kolem jiné hvězdy. Kolem Slunce obíhá osm planet: Merkur, Venuše, Země, Mars, Jupiter, Saturn, Uran a Neptun. Pluta astronomové nepovažují za planetu, ale za trpasličí planetu. Ve srovnání s ostatními planetami je malý, má značně protáhlou dráhu a rovina dráhy je skloněna k rovině ekliptiky pod velkým úhlem. Planety obíhající kolem jiných hvězd nazýváme exoplanety nebo mimosluneční planety.

Rodina slunečních planet má dvě rozdílné skupiny. Do té první patří planety podobné Zemi: Merkur, Venuše, Země a Mars. Nazýváme je terestrické planety. Obíhají v blízkosti Slunce. Jsou skalnaté a sestávají výhradně z těžších prvků. Druhou, vzdálenou skupinu planet ve Sluneční soustavě, tvoří obří plynné planety: Jupiter, Saturn, Uran a Neptun. Jsou složeny především ze dvou nejlehčích prvků – z vodíku a hélia.

Tento základní rozdíl mezi planetami terestrickými a obřími vznikl při zrodu Sluneční soustavy. V době před více než čtyřmi a půl miliardou roků bylo vznikající Slunce (Protoslunce) obklopeno diskem pevných částic a plynů. Byly to především (z 98 %) lehké plyny: vodík, helium, čpavek, metan, oxid uhličitý, molekuly vody. Pevné částice byly pouze jakousi „nečistotou disku“, neboť představovaly pouhých dvě procenta jeho hmoty. Sestávaly z těžkovitelných sloučenin železa, niklu, vápníku, křemíku, hořčíku, hliníku a kyslíku. Z rodícího se Slunce dul diskem bouřlivý vítr rychlostí několika tisíc kilometrů za sekundu. Vymetl z vnitřních oblastí planetárního disku lehké plyny. Odvál je do prostor vzdálených pět až třicet astronomických jednotek. Ve vnitřní části disku zůstaly jen pevné částice (tedy jen nečistota). Z nich gravitace vytvořila čtyři horninové planety podobné Zemi. Naopak, z lehkých plynů

nahromaděných do vzdálených prostor Sluneční soustavy vznikly obří plynné planety: Jupiter, Saturn, Uran a Neptun. V nich je nahromaděno (téměř) vše z původního protoplanetárního disku. Vždyť Jupiter „nahamounil“ 318krát více látky disku, než má Země, nehmotnější mezi terestrickými planetami.

5.6 Pohyb ve Sluneční soustavě

Gravitační přitažlivost Slunce způsobuje, že se planety pohybují podle tří Keplerových zákonů. Pouze tři, na rozdíl od složitých dopravních předpisů na naší Zemi, které stanovil člověk. První zákon říká, že se planety pohybují kolem Slunce po eliptických drahách a Slunce se nachází v jednom z ohnisek. Druhý zákon hovoří o rychlosti oběhu. Planeta se pohybuje tak rychle, aby plocha opisovaná úsečkou spojující planetu se Sluncem byla za stejnou dobu stejná. Proto se planeta blíže u Slunce pohybuje rychleji, než když se nachází ve větší vzdálenosti. Poslední zákon se týká oběžné doby planet. Planety vzdálenější od Slunce mají delší oběžnou dobu než ty bližší. Země oběhne Slunce jednou za rok, zatímco Neptun, který je třicetkrát dále, oběhne Slunce za 165 let. Matematické vyjádření říká, že druhá mocnina oběžné doby dělená třetí mocninou velké poloosy oběžné dráhy je konstanta shodná pro všechny planety.

Keplerovy zákony platí nejen pro planety, ale pro všechna tělesa planetární soustavy, tj. planetky, komety, meteoroidy, prachová zrna i tělesa, která vytvořil člověk a zanechal v meziplanetárním prostoru. Tři zákony pohybu těles ve Sluneční soustavě (tři Keplerovy zákony) vyplývají z Newtonova gravitačního zákona. A naopak – lze z nich Newtonův gravitační zákon odvodit.

Keplerovy zákony jsou fundamentální zákony pohybu planet, které z přesných pozorování Tychona Brahe odvodil Johannes Kepler:

1. Dráha planety je elipsa, v jejímž jednom ohnisku se nachází Slunce.
2. Plochy opsané průvodičem planety (spojnicí planety se Sluncem) za stejnou dobu jsou stejné. Proto se rychlost planety ve dráze zmenšuje, když se od Slunce vzdaluje.
3. Poměr druhých mocnin oběžných dob planet (T^2) a třetích mocnin velkých poloos (a^3) je pro všechny planety stejný. Jestliže jsou oběžné doby měřeny v rocích a střední vzdálenosti v astronomických jednotkách, potom lze třetí zákon (dosti přesně) psát ve tvaru: $T^2 = a^3$ pro kteroukoli planetu.

Keplerovy zákony nejsou platné jen v naší Sluneční soustavě, lze je aplikovat i na pohyb extrasolárních planet nebo dvojic vzájemně se obíhajících hvězd. Lze z nich také určit hmotnost černé díry z parametrů drah hvězd obíhajících kolem ní.

5.7 Slovníček pojmů

Často se v médiích dozvíte o tom, že nějaká planeta je v konjunkci či v opozici se Sluncem. Jde o názvy, kterým souhrnně říkáme aspekt planety. Aspekt je významná poloha planety nebo Měsíce vzhledem ke Slunci a k Zemi nebo i mezi planetami navzájem. Aspekt užívá astrologie, která nesprávně přisuzuje právě těmto polohám určité vlivy na lidský osud. Hlavními aspekty převzatými do astronomie jsou konjunkce, opozice a kvadratura. Tím, že aspekt udává polohu na dráze, informuje o viditelnosti planety. Jednotlivé aspekty se liší úhlovou vzdáleností od Slunce. Tě odborně říkáme elongace.

Astrologie (hvězdoprapectví) je pradávný názor, že osudy národů a jednotlivců souvisí s jevy na obloze. Astrologie vznikala ve vyspělých civilizacích Blízkého východu v 2. tisíciletí př. n. l. Vyvíjela se z meteorologických a zemědělských poznatků předávaných z generace na generaci (například doba setí podle východu hvězd či souhvězdí nebo předvídaní počasí podle barvy zapadajícího Slunce či okolku kolem Měsíce apod.). Později byly pod vliv hvězd zařazovány i další jevy včetně lidských osudů. Řecký básník Hesiodos (8. až 7. stol. př. n. l.) v didaktické básni *Erga kaj hemerai* (Práce a dny) udává termíny pomocí postavení hvězd: nejen jednotlivých zemědělských prací, ale také vhodnou dobu pro početí syna či dcery. Odtud byl jen krok k názoru, že postavení planet ve zvěřetníkových souhvězdích při zrození člověka předurčuje jeho celý život.

Astrologie spočívá na přesvědčení o jednotě Vesmíru čili na představě, že ve Vesmíru souvisí vše se vším. Raná astrologie představuje kořeny vědeckého poznání, neboť hledala souvislosti a pravidelnosti. Odpradávná byla těsně spjata s astronomií. Astrologické teorie starověku jsou shrnuty v Ptolemaiově *Tetrabiblos* z poloviny 2. stol. n. l. Zprávy o zodiakálních znameních z roku 419 př. n. l. lze najít na tabulkách uložených v Berlínském státním muzeu.

Z astrologie se vyvinula astronomie. Až do středověku byl každý hvězdář astrologem, neboť honorováno bylo jen sestavování horoskopů a předpovídání budoucnosti. Tak například i slavný Kepler, objevitel zákonů o pohybech planet, byl dvorním astrologem císaře Rudolfa II. Dodnes je mnoho lidí přesvědčeno, že osud člověka je ovlivňován rozložením planet (včetně Slunce a Měsíce, považovaných v astrologii za planety). Moderní přírodní vědy astrologii odmítají.

5.8 Kamenné (terestrické planety)

Mezi kamenné neboli terrestrické planety patří: Merkur, Venuše, Země a Mars. Terestrický znamená zemský, Zemi podobný. Latinské slovo terra znamená země nebo půda. Terest-

rické planety obíhají nejblíže Slunci a rotují poměrně pomalu. Mají pevný povrch složený z hornin (především z různých křemičitanů) jako Země. Mají menší hmotnost a značně menší objem než obří planety, ale jejich průměrná hustota je mnohem vyšší. V porovnání s obřími planetami jsou kamenné planety obaleny poměrně tenkou atmosférou. Merkur má zcela zanedbatelnou atmosféru. Atmosféra terestrických planet je druhotná, vznikla odplyněním nitra tělesa.

Základní parametry terestrických planet najdete v kapitole Tabulky.

5.9 Merkur – Hermes

Merkur – řecký Hermes – byl bratrem Apollona, boha Slunce. Snad proto jsou oba tak blízko. Merkur byl rozporuplný bůh: na jedné straně býval kdysi bohem moudrosti a vynalezl flétnu a lyru. Dohlížel nad správným vzděláním a výchovou mládeže ve věku mezi 5. až 15. rokem. Člověk se v tomto období pohybuje rychle a lehce jako Merkur, snadno se učí a získává pod vedením Merkurovým chytrost, vědomosti a výmluvnost. Na druhé straně byl Merkur sám lstivý zloděj, který ukradl bratrovi Apollonovi stádo padesáti krav. Byl také ochráncem zlodějů a kupců. Pro jeho mrštnost a hbitost jej jeho otec Zeus udělal poslem bohů. Tak se vlastně stal patronem poštáků.

Ptolemaios nabádal: „*Když posíláš dopisy, pozoruj, zda délka Merkuru narůstá, jinak by totiž dopis nedošel.*“ Zatím u nás ještě před odesláním dopisu nevyhlížíme z okna, zda délka Merkuru narůstá. Kdybychom se měli složitě radit s Merkurem při odeslání každého dopisu, asi bychom raději nikomu dopisy nepsali.

V umění byl Merkur (Hermes) zobrazován jako hezký jinoch plný síly. Často měl okřídlený klobouk a okřídlené trepy. Známa je krásná socha Praxitelova v Olympii: Hermes unáší do úschovy svého brášku Dionýsa, aby se o tomto Jupiterově (nemanželském) synu nedozvěděla Juno, manželka Jupiterova. Aby kluk neplakal, Hermes mu v pravé ruce nabízí hrozen vína – symbol Dionýsův.

5.10 Merkur ze sondy Messenger

První fotografie Merkuru pořídila sonda Mariner 10 v roce 1974. Tehdy také detekovala magnetosféru Merkuru. Od té doby byl Merkur na okraji zájmu světových kosmických agentur. Další sonda, Messenger, poprvé prolétla v blízkosti Merkuru až v roce 2008. V roce 2011 byla navedena na oběžnou dráhu kolem Merkuru a začala provádět systematický výzkum této mimořádně zajímavé planety. Na planetě Merkur jsou různé útvary – roviny, impaktní krátery, toky lávy, dlouhé útesy i sopky. Merkur je nejmenší planetou, je

jen o málo větší než náš Měsíc. A v mnohém je mu podobný. Nalevo si prohlédněte oblast kolem jižního pólu. Dole je detail s krátery a tokem lávy. Merkur je planeta extrémů. Je nejteplejší planetou a zároveň patří k těm nejstudenějším. Merkur nemá atmosféru, takže větry nemohou přenášet teplo z horkých oblastí do studených. Na rovníku v poledne taje olovo, neboť tam je teplota 470 °C. U pólů objevily mohutné pozemské radary vysoce odrazivou látku odpovídající vodnímu nebo jinému ledu.

Mariner je společné označení pro deset sond NASA určených k výzkumu vnitřních planet Sluneční soustavy. K Marsu byly poslány sondy s označením 3, 4, 6, 7, 8 a 9. První sonda, Mariner 3, odstartovala dne 5. prosince 1964. Na řadu sond k Marsu navázal Mariner 10, který prolétl kolem Venuše a poté jako jediná sonda z počátku kosmické éry zamířil k Merkuru, kde na přelomu let 1974 a 1975 pořídil fotografie Merkuru a první informace o jeho magnetosféře. Existence magnetosféry u tak malého tělesa, jakým je Merkur, byla pro všechny velkým překvapením.

Messenger je sonda NASA, která zkoumá planetu Merkur. Startovala v srpnu 2004, v letech 2006 a 2007 prolétla dvakrát kolem Venuše. Kolem Merkuru poprvé prolétla v lednu 2008. Další průlety proběhly v říjnu 2008 a září 2009. V březnu 2011 byla navedena na oběžnou dráhu kolem Merkuru a od té doby provádí komplexní měření včetně podrobného průzkumu Merkurovy magnetosféry objevené v roce 1974 Marinerem 10. Název sondy je zkratkou z anglického *ME*rcury, *S*urface, *S*pace *EN*vironment, *GE*ochemistry, and *R*anging.

5.11 Venuše – Afrodita

Venuše (řecky Afrodita, staročesky Krasopani) se podle pověsti zrodila z mořské pěny. Zrození Venuše bylo námětem mnoha uměleckých děl. Byla bohyní krásy, lásky a plodnosti. Seznam Venušiných milostných dobrodružství je dlouhý. Mnohé z nich byly zobrazovány ještě v novověku. V antice byla uctívána v chrámech, zobrazována na mozaikách a opěvována v básních. Venušiny sochy dochované z antiky patří bezesporu k nejobdivovanějším dílům světového sochařství vůbec.

Zrození Venuše ztvárnili například Apelles ze 4. stol. př. n. l., Botticelli, Tizian, Rubens. Novověká zobrazení Venušiných milostných dobrodružství pocházejí od Tiziana, Cranacha, Veronesa, Velasqueze, Rembrandta, Reniho a dalších.

Podle Ptolemaia přináší Venuše svým svěřencům slávu a čest, duševní pohodu i blahobyť, šťastná manželství, hodně dětí, vzrůst majetku, elegantní životní styl, přístupné jednání... Způsobuje tělesné zdraví, přináší vyrovnané počasí, jasné nebe, hojně deště, hojnost domácích zvířat a nadbytek obilí. Osoby pod jejím vlivem jsou veselé, příjemné, žijící v rozkoši, zženštilé, kultivované, se vztahem k umění...

5.12 Boticelli – Zrození Venuše

Boticelliho obraz Zrození Venuše, který pochází z patnáctého století, patří k nejznámějším obrazům období renesance. Na obraze je ztvárněna Venuše, jak se zrodila z kapky krve Urana, která dopadla na hladinu oceánu.

Sandro Boticelli (1445–1510), vlastním jménem Alessandro di Mariano Filipepi byl významným italským renesančním malířem, představitelem Florentské školy. Obraz Zrození Venuše je dnes vystavován v Galerii Uffizi ve Florencii. Byl namalován temperou na plátno kolem roku 1484 na zakázku pro bratrance Lorenza I. Nádherného.

5.13 Venuše

Planeta Venuše je zahalena do hustých oblaků z kapiček kyseliny sírové. Na její povrch nevidíme žádným dalekohledem a do nedávné doby o něm nebylo nic známo. V posledních desetiletích byla navštívena asi dvaceti sondami, které blízko ní proletěly nebo kroužily jako umělé měsíce a dvě dokonce přistály na jejím povrchu. Radary na sondách obíhajících kolem Venuše pronikly pomocí centimetrových vln hustým oblačným závojem a zmapovaly její povrch, kde je díky skleníkovému jevu teplota 460 °C a hustá atmosféra vytváří tlak 90 atmosfér. Dlouhé kanály, připomínající řečiště byly vyhloubeny žhavou tekutou lávou, která na horké Venuši vychlázala jen pozvolna. Planeta Venuše je spíše bohyní pekla než bohyní krásy. Nemá – až na jméno – vůbec nic společného ani s půvabnou bohyní antiky.

Na vytváření Venušina povrchu se zúčastnily síly vnitřní, vlivy kosmické (dopady planetek, komet a meteoritů) a působení vlastní atmosféry (chemické procesy a vítr). Proudění v nitru planety způsobilo na jejím povrchu zlomy, vrásnění a sopečnou činnost. Malých sopek jsou statisíce. Sopky jsou širší a nižší než na Zemi. Hromadné výtoky z velkých sopek odtékaly obrovskými proudy do vzdáleností stovek až jednoho tisíce kilometrů, kde vytvářely rozsáhlá lávová pole. Lávové toky jsou několik kilometrů široké, kdežto na Zemi jen několik metrů. Více než 80 % povrchu Venuše je pokryto sopečnými usazeninami. Podle odrazivosti radarových vln lze soudit, že láva má drsný povrch a že se většinou jedná o lávu čedičovou.

Atmosféra Venuše je hustá a především z těžkých molekul oxidu uhličitého (97 %). Proto je tlak na jejím povrchu asi stokrát větší než na povrchu Země. Je to tlak jako pod kilometrovým sloupcem vody. Silná vrstva hustých oblaků kyseliny sírové odstiňuje sluneční světlo, takže na povrchu je trvalé přitímní. Oxid uhličitý je skleníkový plyn, který zabraňuje úniku infračerveného záření a vychládání povrchu Venuše. Vysoká teplota na povrchu je důsledkem skleníkového efektu.

5.14 Venušin povrch

Povrch Venuše je plošší než povrch Země či Měsíce. Rozdíl mezi nejvyšším a nejhlubším místem je pouze 13 kilometrů, kdežto v případě Země je rozdíl mezi Mariánským příkopem a Mont Everestem 20 km. Přitom 80 % povrchu Venuše je v rozmezí jen jednoho kilometru.

Na snímcích pořízených ruskou sondou Veněrou vidíme vyprahlý povrch připomínající pozemskou poušť. Ploché kameny s ostrými hranami byly vyleptány chemicky či vytvořeny větrem. Voda na Venuši není. Na snímcích nalezneme velké množství sopek, které ještě nedávno chrlily do okolí lávová řečiště. Dalším rysem na povrchu jsou mladé krátery impaktního původu. Stopy starších kráterů byly dávno zahlazeny sopečnou (vulkanickou) činností.

Na všechna tělesa Sluneční soustavy dopadaly z meziplanetárního prostoru meteoroidy – kousky pevné látky různé velikosti: od miligramových prášků až po mnohakilometrová tělesa (planetky či komety). Na povrchu skalnatých planet a měsíců zůstal na místě dopadu šrám. Velká tělesa vyhloubila krátery, jejichž velikost závisela na velikosti dopadajícího tělesa a na jeho rychlosti. Takové krátery – na rozdíl od sopečných – se nazývají impaktní nebo dopadové. Na povrchu Venuše jich sonda Magellan našla přes devět set, což je překvapivě malý počet při srovnání s Merkurem či Měsícem. Vysvětlení je jednoduché: povrch Merkuru, Měsíce či Marsu je starý téměř pět miliard roků, kdežto Venušin pouze několik set milionů roků. Venušiny krátery jsou mladé, dosud neovlivněné destruktivním působením okolí.

5.15 Země – Gaia

Gaia je v řecké mytologii bohyní země zrozenou z Chaosu. Je také matkou dalších bohů. Gaia měla výjimečné postavení. Nesídlila na Olympu. Když byla zrozena Gaia, Olymp ještě nebyl sídlem bohů, protože bohové ještě nebyli. Nebyla proto ani pokládána za bohyni planety jako Venuše. Země ještě tehdy v mysli lidí nebyla sesterskou planetou Venuše.

5.16 Země

Země je pro nás nejdůležitější planetou, je naším domovem. Je jedinou planetou, o které prokazatelně víme, že je na ní život. V tomto cyklu je Zemi věnována samostatná prezentace. Proto si nyní jen prohlédněte první snímek Země z blízkosti Měsíce. Poslala ho roku 1966 umělá družice Měsíce Lunar Orbiter 1. Lunar Orbiter 1 měl mimo jiné za úkol hledat vhodné místo pro přistání lodí Apollo.

5.17 Mars – Ares

Římský bůh Mars byl synem Jupitera a jeho manželky Juno. Pro Římany byl po Jupiterovi nejdůležitějším bohem. Stavěli mu chrámy, byl mu zasvěcen první měsíc martius v římském roce a toto pojmenování pro měsíc března se dodnes dochovalo u většiny evropských národů. Mars byl bůh Slunce, úrody a plodnosti. Později byl ztotožňován s řeckým bohem války Áreem, který byl synem Dia a Héry. Mars jako otec Romulův byl považován za otce římského národa. Posvátný Martův štít, který prý spadl z nebes, byl symbolem neporazitelnosti Říma. Bůh Mars byl spojován s planetou Mars pro její červenou barvu, barvu krve.

*Mars – no ten ještě by prošel přec,
jen kdyby nebyl tak rudý –
to je to: hbitým že pijákem
voják as po světě všudy.*

(Jan Neruda, Písně kosmické)

5.18 Mars

Obrovský šrám na povrchu Marsu se nazývá Údolí Marineru, latinsky Vales Marineris. Je to rozsáhlý systém kaňonů v rovníkové oblasti Marsu. Systém je 4 000 km dlouhý a ve středu 600 km široký. Obsahuje tři rovnoběžné, částečně propojené kaňony, jejichž hloubka dosahuje 7 až 9 km. Tento útvar není výsledkem vodní eroze, ale souvisí s dopadem velké planety na opačné polokouli Marsu. V místě dopadu vznikla obří pánev Hellas, na protilehlé straně planety vyvýšenina Tharsis a řada sopek. Tři z nich jsou u levého okraje Marsu. Popraskanou kůru dnes vidíme jako Údolí Marineru.

Obrovská sopečná činnost v oné době způsobila oteplení, roztavení ledů a permafrostu v půdě. Svědčí o tom široká řečiště veletoků, ve srovnání s nimiž je pozemská Amazonka malým potůčkem.

5.19 Mars – výzkum vozítka

Pojízdnými geologickými laboratořemi byla vozítka Opportunity a Spirit umístěna na povrchu Marsu v roce 2004. Přímý výzkum povrchu vhodně doplnil data z velkého množství misí, které byly k rudé planetě vyslány. Častým cílem bylo zatím neúspěšné hledání pozůstatků života na Marsu. Na plastickém globu vidíte výraznou čtveřici sopek, nalevo je Olympus Mons, největší sopka na Marsu s výškou 25 kilometrů. Červenou barvou je

zobrazena vyvýšenina Tharsis, která vznikla jako vyboulení povrchu v důsledku obřího impaktu na opačné polokouli Marsu. S tímto impaktem souvisí i popraskaná kůra pod rovníkem, vzniklým kaňonům se říká Údolí Marineru. Řečiště na prostřením snímku svědčí o tom, že dříve tudy protékala voda.

Pod povrchem Marsu je *permafrost* – led mezi částicemi půdy. Bouřlivé písčité bouře vytvářejí písčité duny. Vývoj Marsova povrchu se značně lišil od vývoje povrchu Země – především rozdrobením zemského povrchu na pohyblivé litosférické desky.

V minulém století bylo mnoho lidí přesvědčeno, že na našem vnějším sousedu je život. Americký astronom Percival Lowell pečlivě zakreslil mapu Marsu, na níž bylo pět set kanálů. Lowell se domníval, že polární čepičky jsou vodní led a kanály rozváděly vodu do oblastí s vegetací. Od té doby, kdy umělé observatoře obíhaly kolem Marsu a automatické laboratoře přistály na jeho povrchu, víme, že pět set kanálů na Lowellově mapě je jen zdánlivé seskupení tmavých míst na světlejším povrchu. Voda – nutná podmínka pro život – se na Marsu vyskytuje, ale jen v pevném skupenství (ranní jinovatka na dně kráterů, peříčková oblaka, led v polárních čepičkách a permafrost pod povrchem). Řečiště vyschlých řek, bohaté větvené kaňony, obrysy připomínající ostrovy a pevniny však svědčí o tom, že na našem kosmickém sousedu v minulosti byla příznivá teplota a množství vody v tekutém stavu. Při oteplení způsobeném sopečnou činností led a permafrost roztály a tekoucí voda vyhloubila údolí. Na Marsu jsou velké sopky a největší z nich – *Olympus Mons* – soptila nejvíce asi před 200 miliony roků. V dávné minulosti, před 3,9 miliardami roků, mohl být na Marsu život.

5.20 Mars – zajímavosti

Nalevo nahoře vidíme řečiště Nanedi Vales. Toto 800 kilometrů dlouhé údolí bylo pravděpodobně vytvořeno tekoucí vodou. Vlevo dole je fotografie velmi zajímavého dvojitého Lowellova kráteru. Na jeho dně je dobře patrná jinovatka. Na dolním prostředním snímku je 154 kilometrů široký kráter Gale. Nachází se u Marsova rovníku a v jeho blízkosti v roce 2012 přistálo robotické vozítko Curiosity. Meteorit zobrazený v pravém sloupci k nám na Zemi připutoval až z Marsu. Obsahuje cyklické uhlovodíky neobvyklého složení a tvaru, které by mohly být fosilními jednobuněčnými organizmy. Někteří vědci jsou ale přesvědčeni, že takové útvary mohly vzniknout i chemickou cestou, například při růstu krystalů.

ALH84001 je meteorit nalezený v Antarktidě na úpatí pohoří Allan Hill v roce 1984. Byl identifikován jako meteorit vyražený z povrchu Marsu. Dokazují to bublinky plynů v meteoritu, které jsou shodné s Marsovou atmosférou. Meteorit obsahuje

cyklické uhlovodíky neobvyklého složení a tvaru, z čehož někteří vědci vyvozují, že se jedná o fosilní jednobuněčné mikroorganismy, které před 3,6 mld. let žily na Marsu. Později v něm byly identifikovány magnetické krystalky, stejné, jaké mívají na Zemi bakterie žijící ve vodě. Slouží jim jako orientační čidlo při hledání potravy. Dosud se však vedou spory, zda jde skutečně o zbytky živých mikroorganismů z Marsu. Jsou desetkrát menší než nejmenší mikroorganismy na Zemi a podle mnoha vědců mohly tyto útvary vzniknout i chemickou cestou.

Nanedi Valles je soustava řečišť na Marsu. Podrobný snímek pořídila evropská družice Mars Explorer. Údolí 800 km dlouhé má příkré svahy a bylo zřejmě vytvořeno velkým přívalem vody. Jeho šířka je od jednoho do pěti kilometrů a místy je až půl kilometru hluboké. Pravděpodobně vzniklo v době mohutné činnosti sopek v oblasti *Tharsis* (*Olympus Mons* a tři sousední sopky). Zahřátím povrchu se uvolnilo velké množství vody. Krátkodobé veletoky vyhloubily řečiště, jaká na Zemi nemají obdoby.

Lowell je dvojitý impaktní kráter s vodní jinovatkou na dně. Po východu Slunce jinovatka mizí. Dvojitost kráteru je možné vysvětlit tak, že impaktní planetka byla dvojitá. Dvojitých planetek je větší množství – vznikají zpravidla rozpadem jednoduché planety.

Kráter Gale se nachází blízko Marsova rovníku. Snímek pořídila sonda Mars Odyssey z oběžné dráhy kolem Marsu. Kráter je 154 km široký. Pozoruhodná je hora uvnitř kráteru. Je 5 km vysoká a vrstevnatá. Vrstvy byly vytvořeny v dávných dobách při usazování sedimentů z vody. Na severním úpatí přistálo třetí Marsovo vozítko Curiosity (mise Mars Science Laboratory). Jeho úkolem je prozkoumat vrstevnatost hory a odpovědět na otázku, zda bylo v kráteru Gale vhodné prostředí pro život mikrobů.

5.21 Obří plynné planety

Obří planety jsou čtyři plynné planety ve vnější části planetární soustavy: Jupiter, Saturn, Uran a Neptun. Jsou mnohem větší a hmotnější než Země a jsou převážně z lehkých plynů vodíku a hélia. Někdy se též nazývají „planety podobné Jupiteru“ nebo „plynné planety“. Na první pohled jsou odlišné od terestrických planet s pevným povrchem. Je pravděpodobné, že i ony mají malé pevné jádro převážně ze železa. Jejich husté atmosféry jsou primární, tj. vznikly při tvoření planet z protoplanetárního disku. Viditelný „povrch“ obřích planet není pevný, ale je to plynná vrstva, z níž ještě pronikne světlo ven. „Povrch obřích planet“ má tedy stejný význam jako „povrch hvězd“. Význačnou vlastností obřích planet jsou jejich prstence.

Jupiter a Saturn mají vlastní zdroj energie: gravitace stlačuje vodík natolik, že při tlaku tří milionů atmosfér má vlastnosti supravodivého kovu. Plyny, z nichž vznikly, byly v proplydu vypuzeny z vnitřní části soustavy mohutným větrem, přesněji „vichřicí“ z Protoslunce. Planety blízké Slunci (kamenné) proto obsahují velmi málo těchto dvou nejhojnějších prvků ve Vesmíru. Největší z obřích planet (Jupiter) je objemem tisíckrát větší než Země a tisíckrát menší než Slunce.

Vzdálenosti obřích planet: Jupiter (5 AU), Saturn (10 AU), Uran (20 AU), Neptun (30 AU).

5.22 Jupiter – Zeus

Římský Jupiter či řecký Zeus byl nejvyšším pánem nad oblohou. Tuto funkci zdědil po dědečkovi Uranovi. Vládl i na pevné zemi – to zase zdědil po babičce Gaie. Vládl všemu živému, bohům i lidem. K dobrým lidem byl Jupiter laskavý. Měl lidské slabosti a páchal různé neplechy. Jupiterova četná dobrodružství byla častým námětem pro umělecká díla od antiky až po novověk. Na snímku vidíte jeho sochu z Vatikánského muzea.

V antické mytologii byl synem Titána Chronose (Saturna) a bratr Neptuna (Poseidona) a Pluta (Háda). Po dědečkovi Uranovi se stal nejvyšším pánem nad oblohou a po babičce Gaie i pánem pevniny. Vládl všemu živému, bohům i lidem. Dokonale ovládal počasí (meteorologové dodnes nevědí, jak to dělal). Své nepřátele drtil bleskem jako Perun – nejvyšší bůh Slovanů. O rodinné půtky nejvyššího pána s věrnou, ale žárlivou manželkou (Herou–Junou), ani o škodolibou zábavu ostatních deseti nebešťanů, nebyla na Olympu nikdy nouze. Řekové i Římané však (a právě proto) měli nejvyššího boha v oblibě a ve velké úctě – vždyť si ho vytvářeli sami podle svých představ. Rozhodně ho měli raději než jeho otce Saturna. Z mnoha chrámů jemu zasvěcených byl nejznámější chrám v Olympii (dnes v troskách). Feidias v něm vytvořil proslulou sochu (jeden ze sedmi divů světa). Kopie Jupiterovy (Diovy) hlavy s bujnými kadeřemi se zachovala na starých mincích. Římané mu vystavěli velký chrám na Kapitolu, neboť byl ochráncem jejich velké říše. Sem přicházeli římscí mladíci, když poprvé oblékli tógu dospělých mužů. Konzulové zde nastupovali svůj úřad za přítomnosti senátu. Vojevůdcové tam nechávali oběti před odchodem do bitvy a po vítězném tažení se tam vraceli ve slavnostním průvodu složit dík. Svátky měsíčního úplňku – Idy – byly zasvěceny oslavě Jupitera. V ten den mu obětovali bílé jehně. Do dějin vešly březnové Idy roku 44 př. n. l., kdy byl v senátě zavražděn Julius Caesar.

Jupiterova četná dobrodružství byla vhodným námětem pro mnoho uměleckých děl od antiky až po novověk (Rembrandt, Rubens, Tizian, Poussin, Mozart, Holt aj.).

5.23 Jupiter

Jupiter je největší planetou Sluneční soustavy. Objemově je 1000× větší než Země a jen 1000× menší než Slunce. Svou hmotností je blízko rozhraní mezi planetou a hvězdou. Jeho hmotnost však nestačí k zažehnutí termionukleární reakce. Jupiter je složen převážně z vodíku a hélia, jeho průměrná hustota je $1,4 \text{ g cm}^{-3}$, tedy jen nepatrně vyšší než hustota vody. Na planetě nenalezneme pevný povrch. Planeta velmi rychle rotuje, otočí se kolem osy jednou za 10 hodin. Rychlá rotace způsobuje vydouvání rovníkových vrstev a vznik pestré zbarvených pásů. Charakteristickým útvarem Jupiterovy atmosféry je Velká červená skvrna, větší než naše planeta. Je pozorována po několik staletí. Jak je patrné z detailních snímků, jde o obří vír v atmosféře. Jupiter navštívily dvě sondy Pioneer, dvě sondy Voyager a sonda Galileo, kterou vidíte na předposledním obrázku.

Jupiter má rozsáhlou soustavu Měsíců (přes 60) a slabé prstence. Jupiter je stejně jako Saturn, Uran a Neptun plynná planeta. Je složen především z vodíku a hélia, s nepatrnou příměsí metanu, amoniaku, vodní páry a dalších látek. Složením odpovídá Slunci, neboť obě tělesa vznikla z téže mateřské pramlhoviny: 1 atom hélia připadá přibližně na 20 atomů vodíku (resp. na 10 molekul vodíku H_2).

Stavba Jupiteru. Z prachových zrn pramlhoviny vzniklo ve středu Jupiteru malé skalnaté jádro z křemičitanů a železa o poloměru zhruba 10 000 km a teplotou kolem 30 000 K. Obal jádra do vzdálenosti asi 50 000 km od středu tvoří tekutý kovový vodík. Tlak v jádře (způsobený tíhou horních vrstev) je několik milionů atmosfér a vodík je natolik nahuštěný, že dochází k jeho ionizaci a k degeneraci elektronů. Volné elektrony jsou vlastností kovů. Kovového vodíku pozvolna přibývá, neboť každý rok se přemění velkým tlakem několik málo centimetrů tekutého molekulárního vodíku na kovový. Při tom se uvolňuje teplo, takže Jupiter vyzařuje ve formě infračerveného záření dvakrát tolik energie, než přijímá od Slunce. Kdyby přestalo zářit Slunce, Jupiter by měl teplotu 100 K ($-173 \text{ }^\circ\text{C}$) a vyzařoval by tepelné záření s maximem kolem 40 μm . Pro srovnání, geotermální teplo Země by ji zahřálo na 10 K, takže by vyzařovala pouze submilimetrové záření.

Nad tekutým kovovým vodíkem se prostírá do vzdálenosti necelých 70 000 km od středu tekutý molekulární vodík. Povrch Jupiteru tedy tvoří chladné vodíkové moře. Výšku v Jupiterově atmosféře však nelze udávat v km nad vodíkovým mořem (proto byla výška sondy Galileo při jejím průletu udávána atmosférickým tlakem).

Atmosféra. Nad vodíkovým mořem se prostírá plynný obal do výšky přibližně 1 000 km. Přímému pozorování jsou přístupny jen vnější části plynného obalu (atmosféra), které jsou prohřívány slunečním teplem. Podrobné informace o atmosféře na Jupiteru a o jeho měsících získaly sondy Pioneer 10 a 11 (1973 a 1974), Voyager

1 a 2 (1979), ale především atmosférická sonda Galileo, která prováděla různá měření *in situ* (přímo při pádu atmosférou). Nejnižší teplota (110 K) byla naměřena v místě, kde je tlak 0,1 atmosféry. Větry o rychlosti 600 km h^{-1} vanou i v nejhlubších měřených výškách (20 atmosfér, asi 150 km pod vrcholem oblaků).

Vrcholy Jupiterových oblaků vnímáme jako „povrch“, i když žádný pevný povrch neexistuje. Viditelná oblaka v atmosféře jsou načervenalá, žlutá, bílá, namodralá, hnědá. Tuto barevnou pestrost se dosud nepodařilo uspokojivě vysvětlit. Vodík a hélium, které jsou nejvíce zastoupeny v celém Jupiteru včetně jeho atmosféry, jsou bezbarvé. V malém množství jsou přimíseny i jiné prvky, jako je uhlík, kyslík, dusík, síra a fosfor. Pod vlivem ultrafialového slunečního záření, bombardováním ionty a elektrony z radiačních pásů a působením elektrických výbojů (blesků) reagují tyto prvky v atmosféře mezi sebou a vytvářejí četné barevné sloučeniny, z nichž mnohé kondenzují do kapiček a krystalků. Zatím co u nás jsou oblaka z vody, oblaka na Jupiteru (i na Saturnu) obsahují amoniak (NH_3), metan (CH_4), vodní sníh (H_2O), oxid uhelnatý (CO), fosfan (PH_3) aj. Barevnost oblaků pravděpodobně pochází z těchto látek.

Rovnoběžně s rovníkem se v Jupiterově atmosféře tvoří světlá pásma a tmavé pruhy. Světlá pásma jsou stoupavé proudy, které se rozpínají a ochlazují. Při teplotě 156 K se tvoří oblaka amoniakových krystalků, unášena stoupavým proudem vodíku a hélia, která jsou vyšší a chladnější než okolí. Naopak sestupující proudy plynů v tmavých pruzích houstnou, zahřívají se a krystalky se rozpouštějí. Tmavá barva asi pochází od hydrogensulfidu amonného (NH_4SH). Vzhled Jupiterovy atmosféry se stále mění, během dnů i několika hodin. Ale už více než 100 let setrvává 20° pod rovníkem Velká červená skvrna – obrovský vír chladných oblaků rotující proti směru hodinových ručiček (obdobu tlakové výše na Zemi). V oblacích je řada dočasných malých vírů. Hnací silou atmosférické cirkulace je vlastní vnitřní teplo Jupiteru.

Magnetosféra. V důsledku rychlé rotace planety tečou v tekutém kovovém vodíku mohutné elektrické proudy, které vytvářejí Jupiterovu magnetosféru. Ta je mnohem silnější a rozsáhlejší než zemská magnetosféra a její ohon dosahuje až k planetě Saturn. Jsou v ní mohutné radiační pásy. Kdybychom mohli Jupiterovu magnetosféru vidět, jevila by se nám na obloze velká jako Měsíc (i přes obrovskou vzdálenost Jupiteru). Plazma zachycené v rotující magnetosféře je zdrojem rádiových vln (o vlnových délkách od decimetrů až po 30 kilometrů).

V polárních oblastech Jupiteru se vyskytují polární záře podobné pozemským. Budí je však nejen částice slunečního větru, ale i částice vyvržené z měsíce Io. Pozorovány jsou výboje z oblaků směrem nahoru, které se podobají ionosférickým výbojům na Zemi (od bouřkových oblaků do ionosféry).

Velká červená skvrna – viz snímek 12.15.

Galileo (sonda) – viz snímek 3.4.

5.24 Saturn – Chronos

Římský Saturn či řecký Chronos byl nejmladším Titánem. Svrhl svého otce Urana a stal se nejvyšším vládcem světa. Podle řeckých pověstí se bál svých dětí, a proto je po narození polykal. Je obrazem zániku všeho v čase. Chronos znamená řecky čas. V umění je Saturn či Chronos často znázorňován jako kostlivec s kosou. Je to kosa, kterou zmrzačil svého otce Urana a která zkracuje nit života. Kostlivec je symbolem smrti a pomíjivosti.

Podle antické mytologie měli první bohové – Uran (Nebe) a Gaia (Země) – dvanáct Titánů, z nichž nejmladším byl Chronos (Kronos). Stal se druhým nejvyšším vládcem světa poté, co svrhl svého otce Urana. Jeho manželkou byla sestra Titánka Rheia. Chronos se bál svých dětí, a proto je po jejich narození spolkl. Je to obraz (metafora) zániku v čase, neboť Chronos zosobňoval čas. Posledního z dětí – Dia (Jupitera) – však Rheia zachránila. Když Zeus zvítězil nad Chronosem a ostatními Titány, stal se vládcem všech bohů. Chronos se stal králem Latia (krajiny kolem Říma). Byl bohem zemědělství, chránil přírodu, dal lidem mravní řád, naučil je pěstovat ovocné stromy a vinnou révu. Na jeho panování se v Římě dlouho vzpomínalo jako na „zlatý věk lidstva“.

Ve starém Římě byl Chronos oblíbeným božstvem. Římané ho nazývali Saturnus. Saturnovi byly zasvěceny svátky zimního slunovratu (*saturnalia*). Tehdy (po 17. prosinci) se na pět dnů zastavil veřejný život, lidé se obdarovávali, pořádaly se hodokvasy, hry a gladiátorské zápasy. Mezi pány a otroky panovala rovnost a volnost. Otroci si oblékali tógu a stolovali u jednoho stolu s pány. Byla to památka na zlatý věk, kdy vládl Saturn.

5.25 Saturn

Saturn je druhou největší planetou Sluneční soustavy. Je charakteristický dobře viditelným prstencem. Saturn je od Slunce desetkrát dále než Země, a proto je jeho teplota velmi nízká, pohybuje se kolem $-150\text{ }^{\circ}\text{C}$. Průměrná hustota planety je $0,7\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ – je nejnižší z celé Sluneční soustavy, dokonce nižší než hustota vody. Saturn oběhne Slunce jednou za 30 let, kolem vlastní osy se otočí za pouhých 10 hodin. Rychlá rotace způsobuje vznik pásů. V atmosféře jsou pozorovány velké žluté či bílé skvrny. Atmosféra je tvořena oblaky čpavku, vodíku a hélia. V nitru je snad malé jádro z křemičitanů obklopené kovovým

vodíkem. Vítr v atmosféře dosahuje rychlosti až $1\,800\text{ km h}^{-1}$. Magnetické pole má dipólový charakter s osou téměř rovnoběžnou s rotační osou. K poznání Saturnu nejvíce přispěla sonda Cassini.

Saturn je obří planeta, šestá nejvzdálenější od Slunce. Za jasné noci ho lze snadno na obloze rozeznat pouhým okem. Galileo byl první, kdo pozoroval Saturn dalekohledem v roce 1610. Prstence však objevil a vysvětlil až Christiaan Huyghens v roce 1659. I v menším amatérském dalekohledu uvidíme Saturnovy prstence a velké Saturnovy měsíce.

Atmosféra je složena téměř výhradně z vodíku a hélia. Saturn má velkou hmotnost a nízkou teplotu, takže úniková rychlost na jeho povrchu výrazně přesahuje tepelnou rychlost molekul jeho atmosféry. Proto si uchoval původní chemické složení protoplanetárního disku, z něhož vznikl. Prakticky všechen amoniak je vymrzlý pod $-135\text{ }^{\circ}\text{C}$, takže horní vrstva oblaků je tvořena z krystalků amoniaku. Voyager 1 zjistil, že v horní atmosféře je asi objemových 7 % hélia a prakticky celý zbytek tvoří vodík. Protože hélium by mělo být více (tolik jako v Jupiteru a na Slunci), domnívají se odborníci, že těžší hélium pozvolna klesá vodíkovou atmosférou. Tato gravitační diferenciace uvolňuje teplo, takže Saturn vyzařuje více energie, než dostává od Slunce.

V důsledku rychlých větrů jsou na Saturnu (podobně jako na Jupiteru) tmavší **pruhy** a světlá pásma mezi nimi. Nejsou však tak kontrastní, důvodem je metanový zákal ve velkých výškách. Na rovníku je jasné žlutavé pásmo. Rovnoběžně s ním běží několik pruhů ve vyšších šířkách. Výrazným oblačným útvarem v atmosféře jsou symetrické světlé ovály, které jsou stále a v různých zabarveních. Jsou obdobou pozemské tlakové výše, avšak o mnohem větších rozměrech. Například hnědá skvrna (na 42° severní šířky) má v malé ose rozměr $5\,000\text{ km}$.

Rotace Saturnovy **magnetosféry** se projevuje v kolísání jasnosti rádiového signálu na kilometrových vlnových délkách. Magnetosféra je zakotvená ve vodivém jádře. Na osvětlené polokouli Saturnu v oblasti severní šířky 80° je intenzivní rádiový zdroj o výkonu $10\,000\text{ MW}$. V jižní šířce -80° je symetrický, poněkud slabší rádiový zdroj. Poloha obou zdrojů je stálá vzhledem ke Slunci a zdrojem záření jsou patrně elektrony ze slunečního větru, které kloužou podél siločar a vyzařují cyklotronové záření. Měřená intenzita zdroje kolísá s přesnou periodou 10 hodin 39 minut a 24 sekundy. To je rotační perioda magnetosféry a jádra. Vzhledem k ní se měří pohyby v Saturnově atmosféře.

Polární záře jsou projevem slunečního větru v magnetosféře a vysoké atmosféře. Na Saturnu byla zaznamenána jejich ultrafialová emise v šířkách nad 65° . Chemici se domnívají, že energie polárních září napomáhá vzniku složitých uhlovodíků; ty pak

způsobují různobarevné odstíny na Saturnu. Nevysvětlen je výskyt polárních září ve středních šířkách na osvětlené polokouli Saturnu.

Větry v Saturnově atmosféře se projevují pohybem oblaků. Nejrychlejší větry dují u rovníku (500 m s^{-1}). Ve vyšších šířkách jejich rychlost pozvolna klesá. Převážná část větrů je ve východním směru (tj. předbíhají rotaci jádra). V západním směru jsou jen slabší větry v severních šířkách.

5.26 Ve stínu Saturnu

Tento snímek pořídila sonda Cassini, když se nacházela ve stínu Saturnu. Sonda tedy měla při fotografování zatmění Slunce. Prstence jsou z částecek a zrněk vodního ledu. Do- cela vlevo nad jasným prstenem je světlá tečka – naše Země. Tak malá je ze vzdálenosti 10 astronomických jednotek – tj. půldruhé miliardy kilometrů. Na téhle tečce žije 7 miliard lidí. Člověk je ve skutečnosti „nikým“ ve srovnání s okolním Vesmírem. Člověk však není jen sto tisíc kvadrilionů kvarků a elektronů. Samotná sonda Cassini dokazuje duchovní velikost člověka. Je sice hmotně nesmírně malý vzhledem k nekonečnému Vesmíru, avšak svým duchem je člověk obrovský, neboť nekonečný Vesmír poznává, rozumí mu a předví- dá jeho budoucnost.

Kosmický výzkum začal v srpnu 1979 Pioneerem 11, který ho obletěl ve výšce 20 930 km nad vrcholem oblaků. V listopadu 1980 přeletěl nad Saturnem Voyager 1 a v srpnu 1981 Voyager 2 za letu Jupiter–Saturn–Uran–Neptun. Nejvýznamnější sondou zkoumající Saturn se stala Cassini, která k Saturnu doletěla v roce 2004.

5.27 Uranus

Uranus je bůh obří planety a celé oblohy, který byl zrozen z chaosu. Byl manželem matky země, Gaie. Na přání Gaie – Uranovy manželky – Saturn uřízl svému otci Uranovi kosou přirození, aby ji stále neobtěžoval. Z kapky Uranovy krve, která spadla do moře, se zrodila Venuše. Uranus byl bohem Vesmíru uznávaným v celém antickém světě. Rapsodové ho spolu s matkou Zemí (Gaiou) kladli na začátek božského rodokmenu: Uran–Saturn–Ju- piter. Časový sled vládnoucích bohů tedy odpovídá u planet přibližování ke Slunci.

Giorgio Vasari (1511–1574), jehož freska *Kastrace Urana* je na snímku, byl italský architekt, dvorní malíř Medicejských a životopisec florentských umělců. Freska po- cházející přibližně z roku 1560 se nachází ve Starém paláci (Palazzo Vecchio) v italské Florencii.

5.28 Uran

Uran je sedmou planetou Sluneční soustavy. Je prvou planetou objevenou pomocí dalekohledu. Objevil ji v souhvězdí Blíženců anglický hudebník a astronom-amatér William Herschel v roce 1781. Kolem Slunce obíhá Uran ve vzdálenosti 3 miliardy kilometrů. Je tedy dvakrát vzdálenější než Saturn a dvacetkrát než naše Země. Pohyb Uranu na dráze je valivý, protože osa jeho rotace je skloněna do roviny oběhu. Je to asi důsledek obrovské srážky s velkou planetkou. Stejně jako ostatní obří planety je Uran složen převážně z vodíku a hélia, má prstence, rozsáhlou rodinu měsíců a silné magnetické pole.

Uran je nejvzdálenější planetou, kterou lze ještě – za dobrých podmínek a dobrým zrakem – vidět pouhým okem. Svědčí o tom i ta okolnost, že na několika mapách oblohy z období 1690–1780 byl zaznamenán. A právě tyto záznamy pomohly vypočítat dráhu Uranu. Uran je dvacetkrát dál od Slunce než Země, desetkrát než Saturn a jen pětkrát než Jupiter. Planeta Uran nebyla známa ve starověku ani ve středověku, proto bychom marně pátrali po její roli v tehdejší astrologii. Je slabá a objevil ji před dvěma sty roky pomocí dalekohledu William Herschel. Naši předkové tehdy pro tuto planetu zvolili název Nebešťanka. Ale dnes už jsme na ten název docela zapomněli.

Uranův průměr je 4× větší než průměr Země a jeho úhlový průměr je 4'. Protože ani velkými pozemskými dalekohledy nelze rozlišit podrobnosti menší než 1', byl po dvě století Uran znám jako namodralý kotouček bez detailů. Téměř všechny naše vědomosti o Uranu získal Voyager 2 při průletu v lednu 1986, kdy pořídil 7 000 podrobných snímků planety, Uranových měsíců a Uranových prstenců, tisíce infračervených a ultrafialových spekter a miliony údajů o rádiovém záření a magnetickém poli.

Nápadný a dosud nevysvětlený je sklon rotační osy Uranu. Ta leží téměř v jeho oběžné rovině. To znamená, že během Uranova roku (který trvá 84 pozemské roky) míří ke Slunci (a Zemi) střídavě severní a jižní pól. Den na pólu trvá 42 let a je vystřídán stejně dlouhou nocí. Prstence a měsíce obíhají v rovině rovníku, tedy kolmo k oběžné dráze, takže celý Uranův systém se kolem Slunce „valí“. V důsledku tohoto výjimečného střídání ročních období a pohybů v atmosféře se Uran značně liší od Jupiteru a Saturnu. Infračervená spektra Uranu ukázala, že je složen ze stejných prvků jako Slunce – tedy především z vodíku a hélia. To znamená, že atmosféra má původní složení protoplanetárního disku a není produktem vývoje planety (jak je tomu u atmosféry Země). Voyager objevil rozsáhlou atmosféru molekulárního vodíku a hélia, obklopenou ještě rozsáhlejší korónou atomárního vodíku.

Podle výpočtů nedosahuje tlak v nitru dostatečných hodnot, aby se vytvořil kovový vodík jako u Jupiteru a Saturnu. Jádro, o něco větší než Země, je složeno z křemičitanů a železa. Jeho středová teplota je 7 000 K. Jádro je roztavené a elektrické proudy

udržované samobuzeným dynamem vytváří Uranovu magnetosféru. Plášť kolem jádra je asi 10 000 km silný a je pravděpodobně z ledů vody, metanu a čpavku. Plynná atmosféra o tloušťce 7 500 km je složena z vodíku a hélia, k nimž jsou v malém množství přimíseny jiné plyny (například metan). Uran nemá vlastní zdroj energie jako Jupiter, Saturn nebo Neptun.

Voyager 2 poslal podrobné snímky povrchu pěti Uranových měsíců. Objevil deset černých měsíčků v blízkosti samotné planety. A další malé jsou objevovány. Navíc je Uran obklopen devíti prstenci o šířce několika kilometrů. Odrážejí pouze 2 % slunečního záření. Jsou z ledu s velkým množstvím uhlíku.

5.29 Neptun – Poseidon

Planeta Neptun byla objevena v souhvězdí Vodnáře, a proto dostala jméno římského boha vod Neptuna (řeckého Poseidona). Neptun byl v antické mytologii synem Saturna a bratrem Jupitera. Pomáhal olympským bohům v boji proti Titánům, v jejichž čele byl Saturn. Dostal darem zlatý trojzubec, kterým lámal skály, působil zemětřesení a rozpoutával nebo tišil mořské bouře. Bydlel v paláci na mořském dně, kde byl svrchovaným pánem. Vládl všemu živému v mořích. Jeho chrámy byly v přístavech a na mysech. Dochovaly se mozaiky, sochy, reliéfy i mince, na nichž je zobrazen jako majestátný starý muž s mohutnou kšticí, plnovousem a s trojzubcem v ruce. Ten se dodnes užívá jako symbol pro planetu.

Gian Lorenzo Bernini (1598–1680), jehož socha Neptun a Triton je na snímku, byl italský sochař. Vyobrazená socha má výšku 182 cm a je uložena v Muzeu Viktorie a Alberta (*Victoria and Albert Museum*) v Londýně.

5.30 Neptun

Neptun je v pořadí vzdálenosti od Slunce osmou planetou Sluneční soustavy. Existence planety byla předpovězena na základě poruch dráhy Uranu, Jeho objev byl velkým triumfem tehdy se rozvíjející nebeské mechaniky. Typicky modrá barva je způsobena přítomností metanu. Neptun je velmi podobný Uranu, je složený převážně z vodíku a hélia, má rozsáhlou rodinu měsíců a prstence, které byly objeveny v roce 1981 při zákrytu jedné hvězdy Uranem. Jako všechny obří planety má i Uran výrazné magnetické pole.

Planeta Neptun byla objevena teprve v polovině devatenáctého století. Přesněji řečeno: osmá planeta byla nejprve vypočtena z odchylek Uranu od dráhy, po které by se měl podle Keplerových zákonů pohybovat. Odchytky způsobovala (do té doby neznámá) planeta za Uranem. Z odchylek od pravidelné dráhy bylo vypočteno místo

rušící planety a potom, v roce 1846, byla na vypočteném místě skutečně dalekohledem nalezena. Její polohu vypočítali z poruch Uranovy dráhy dva astronomové: Francouz Urbain Jean Joseph Le Verrier a nezávisle na něm Angličan John Couch Adams. Dne 23. září 1846 ho na vypočteném místě objevil Johann Gottfried Galle na Berlínské hvězdárně.

Neptun (staročesky Vodan) je nejvzdálenější ze čtyř obřích planet. V prosinci 1612 a v lednu 1613 byl Neptun v blízkosti Jupiteru. Galileo Galilei ho zanesl do svých náčrtků pozorování Jupiteru v domněnku, že je to hvězda. Netušil, že vidí další planetu. Neptun je příliš vzdálen, než abychom ho uviděli pouhým okem. Je 30× dále od Slunce než Země. V dalekohledu se jeví jako malý modrý kotouček o průměru 2".

Podrobné informace o Neptunu, jeho měsících, prstencích a jeho povrchu získala sonda Voyager 2. Byla vypuštěna v roce 1977 a po cestě navštívila Jupiter (1979), Saturn (1981) a Uran (1986). Voyager 2 pozoroval Neptun nepřetržitě od června do října roku 1989. Opakovaná pozorování této planety, i když ne tak podrobná, provádí občas Hubbleův dalekohled.

Neptun je podobný většímu Uranu. I když je z plyných planet nejmenší, jeho objem je 60× větší než objem Země. Z plyných planet je nejhustší – je o 64 % hustší, než kdyby byl z vody. Z jeho měsíců je nejzajímavější velký Triton. Je nejzáhadnější ze všech měsíců Sluneční soustavy, neboť vykonalá retrogradní pohyb.

Neptun má překvapivě modrou barvu. Jejím původem není Rayleighův rozptyl na molekulách, který je příčinou modré oblohy na Zemi. V atmosféře Neptunu je metan, který pohlcuje dlouhovlnný konec slunečního spektra. Odráží se jen jeho modrá část, která dává Neptunu jeho typickou barvu. Na 1 m² povrchu Neptunu dopadá asi 1000× méně sluneční energie než na 1 m² na Zemi. Přesto je velmi dynamickou planetou. Vanou na něm nejprudší větry ze všech ostatních planet (v blízkosti Velké tmavé skvrny mají rychlost až 2 400 km h⁻¹), a to od východu k západu – tedy proti rotaci planety. Tmavé skvrny připomínají hurikány na Jupiteru. Největší z nich – Velká tmavá skvrna – je tak velká, že by se do ní vešla Země. Je patrně stejného původu jako Velká červená skvrna v Jupiterově atmosféře. Je však mnohem proměnlivější. Vysvětlena však zatím není žádná z nich. V atmosféře se vyskytují i jasná dlouhá oblaka, připomínající naše cirry. Vzhledem k prudkým větrům nelze rotaci Neptunu určit přesně. Z rádiových pozorování a z rotace magnetosféry (změřené Voyagerem 2) vychází rotační perioda Neptunu 16,11 hodin.

Magnetosféra Neptunu napomáhá porozumět jeho nitru: musí být částečně kapalné a elektricky vodivé; navíc musí mít zdroj energie, která udržuje kapalinu v pohybu. Magnetická osa je odkloněna o 47° od osy rotační a navíc je posunuta o půl polo-

měru od středu planety. Proto je magnetická indukce na jedné polokouli (měřeno na rovníku) přes 100 μT a na opačné 10 μT (zemské pole je 32 μT). Orientace pole je stejná jako na Jupiteru a Saturnu, ale opačná než u zemského magnetického pole. S magnetosférou souvisejí i polární záře, které v Neptunově atmosféře Voyager 2 pozoroval. Složité vlastnosti Neptunovy magnetosféry se odrážejí v komplikovaných procesech v polárních zářích, které se odehrávají nad rozsáhlými částmi planety, a to nejen v polárních oblastech. Výkon polárních září je mnohem menší (50 MW), než je tomu u polárních září na Zemi (100 GW). K dvěma známým Neptunovým měsícům (Triton a Nereida) objevil Voyager dalších šest malých (Proteus, Larissa, Despina, Galatea, Thalassa a Naiad). Poskytl také podrobná data o Neptunových prstencích, které pozemští astronomové objevili v roce 1981 při zákrytu hvězdy Neptunem.

5.31 Měsíce a prstence ve Sluneční soustavě

Zatímco prstence byly objeveny jen u obřích planet, měsíce nacházíme u mnoha planet i planetek. Výjimkou jsou Merkur a Venuše, kolem kterých žádná přirozená oběžnice nekrouží. Země má jediný Měsíc, Mars má dva malé nepravidelné měsíce. Obří planety mají velké rodiny měsíců, které poněkud připomínají Sluneční soustavu v malém. Jupiter i Saturn mají přes 60 přirozených měsíců a další jsou postupně nacházeny. Na obrázku je fotomontáž Saturnu s jeho typickými prstenci a největšími měsíci.

Měsíc (družice, satelit, měsíček) je těleso, které obíhá kolem planety nebo planetky. Měsíce jsou buď přirozené, nebo vytvořené člověkem (umělé). Například Hubbleův dalekohled a televizní družice jsou umělé měsíce Země. Také kolem jiných planet a našeho Měsíce obíhají nebo obíhaly umělé měsíce. Jsou to výzkumné sondy. Například Messenger kolem Merkuru, Venus Expres u Venuše, Smart u Měsíce, Mariner u Marsu, Galileo u Jupiteru, Cassini u Saturnu. Náš Měsíc, Jupiterův Io a Saturnův Titan jsou měsíce přirozené. Merkur a Venuše nemají přirozené měsíce.

Prstenec je velké množství částic (prachových i ledových), které obíhají kolem obřích planet. Tvoří tenký disk (maximálně sto metrů tlustý) nad rovníkem planety. Nejznámější a nejlépe viditelné jsou Saturnovy prstence. Terestrické planety nemají prstence. Z vnitřní části protoplanetárního disku byly molekuly vytlačeny větrem mladého Slunce.

Saturnovy prstence poprvé spatřil Galileo Galilei, ale jako prstence je identifikoval až Christiaan Huygens v roce 1655. Prstence Uranu byly objeveny při zákrytu jedné hvězdy Uranem v roce 1977. Podobně byly v roce 1984 objeveny prstence Neptunu. Jupiterovy prstence byly objeveny v roce 1979 kosmickou sondou Voyager 1.

5.32 Největší měsíce v porovnání s jinými objekty

Největším měsícem Sluneční soustavy je Ganymed obíhající kolem Jupiteru, druhý v pořadí je Titan, největší Saturnův měsíc. Ganymed i Titan jsou dokonce větší než planeta Merkur. Ta je nejmenší planetou Sluneční soustavy. Trpasličí planeta Pluto je mezi velkými měsíci pouhým drobečkem a v Kuiperově pásu za drahou Neptunu jsou další podobná tělesa, některá z nich jsou dokonce větší než Pluto. Říkáme jim trpasličí planety.

U osmi planet Sluneční soustavy bylo dosud zjištěno 172 měsíců. Velké měsíce Jupiteru, Saturnu, Uranu a Neptunu mají přímý pohyb, tj. pohyb souhlasný s rotací planety. Tato skutečnost dokazuje, že vznikaly z *protosatelitního disku* stejným způsobem jako planety z *protoplanetárního disku*, tedy současně s planetou. Mimo těchto pravidelných měsíců s přímým pohybem mají obří planety také měsíce s nepravidelným a retrográdním pohybem. Planety je patrně zachytily už jako hotová tělesa. Blízko letící měsíc musel ztratit značnou část své pohybové energie, aby došlo k zachycení. K tomu došlo patrně třením v protoplanetární mlhovině v posledním období vzniku planet. Jiným způsobem vznikl Měsíc Země, pravděpodobně byl vytvořen materiálem vyvrženým ze Země po nárazu většího tělesa.

Většina měsíců se nachází kolem obřích planet, kde je nízká teplota. Proto ledy (především vodní, ale i oxidu uhelnatého, oxidu uhličitého, metanu, amoniaku a molekulárního dusíku) byly důležitým stavebním materiálem pro jejich vznik. Některé měsíce Uranu a Neptunu, oba měsíce Marsu (Phobos a Deimos) a nepravidelná retrográdní Phoebe mají povrch stejný jako uhlíkaté chondrity.

Velké měsíce po svém vzniku prodělávaly vnitřní změny. Hlavním zdrojem jejich tepla byla pohybová energie dopadajících planetezimál. Radioaktivita (uranu, thoriumu a draslíku) a slapové síly měly na zahřívání také značný podíl. V rozehrátém nitru velkých měsíců mohla probíhat gravitační diferenciace.

5.33 Měsíce Země

Zemi obíhá jen jeden přirozený Měsíc, mezinárodní kosmická stanice s lidskou posádkou a velké množství umělých družic a jiných těles vytvořených lidskou rukou. Je mezi nimi řada družic, které bychom mohli označit jako pilíř naší civilizace. Slouží dopravě, televizi, komunikaci, meteorologii, astronomii, geodesii, určení přesné polohy přijímače, oceánografii, studiu biosféry a dalším účelům. Všechny jsou zásobovány sluneční energií. Odejměte jim fotovoltaické panely a zůstane z nich neužitečné kosmické smetí. Podle odhadu odborníků obíhá kolem Země 6 tisíc tun neaktivních pozůstatků družic a jiného člověkem zavlečeného kosmického odpadu.

Úplněk Měsíce. Světlé oblasti jsou původní nejstarší vyvýšený povrch, nazývaný pevnina. Je to původní žhavý tekutý povrch, který vychladnul a ztuhlul. Tmavé oblasti jsou ztuhlou lávou, která se vylila z nitra Měsíce později. Nazýváme je (nevhodným původním názvem) moře. Není to vodní hladina, jak se domnívali astronomové v době Galilea a Keplera. Je to hladký tmavý čedič. Stáří moří je různé – od 3,8 do 3,2 miliard roků.

Kosmický odpad tvoří úlomky a zbytky objektů vypuštěných do prostoru kolem Země (raket, družic). Nekontrolovatelně obíhají Zemi a jejich vzájemné rychlosti dosahují až 10 km s^{-1} . Jen družic bylo po Sputniku do konce 20. století vypuštěno přes 5 000. Mnohé z nich zanikly v atmosféře, mnohé jsou nečinné, některé se rozpadly a tvoří část kosmického odpadu. Podle hrubých odhadů jen 5 % objektů obíhajících Zemi je funkčních a 95 % objektů vytvořených lidskou rukou jsou neúčinné zbytky starých družic a nosných raket. Každým rokem přibývá bezpočet dalších objektů (různých úlomků, odštěpků barvy, dlaždiček z krytů atd.). Hlavním zdrojem odpadu jsou exploze raket a rozpady velkých objektů. Odpad vzniká i při srážkách objektů.

Není přesně známo, kolik je kosmického odpadu v okolí Země. Větších předmětů (nad 10 cm) je sledováno opticky a radary více než 17 000, z nichž 5 500 pochází z rozpadu družic. Počet středně velkých úlomků (1 až 10 cm), které ještě mohou poškodit nebo zničit aktivní družici, je odhadován zhruba na 100 000. Malých částic jsou desítky milionů.

Kosmický odpad představuje nebezpečí srážky pro nové družice, kosmické sondy a kosmické stanice s lidskou posádkou. Na stacionárních a na polárních drahách je koncentrace smetí největší a existuje vyšší nebezpečí srážky.

Kam s ním? Vyčištění kosmického smetiště není dnes možné ani technicky, ani finančně. Nezbyvá než minimalizovat znečišťování. Zásadou (která platí i pro pozemská smetiště) je neznečišťovat víc, než se stačí uklidit. Některý kosmický odpad shoří třením v hustších vrstvách atmosféry. Nespotřebované palivo se vypouští, aby se zabránilo explozi rakety. U dosloužilých geostacionárních družic (ve výšce 36 000 km nad povrchem Země) se využívá zbytku pohonných látek k vyzvednutí na vyšší dráhu, kde žádné aktivní družice nejsou. Velké družice, nosné rakety, popř. kosmické stanice (například Mir) jsou navedeny do místa v Tichém oceánu mezi Novým Zélandem a Chile, které se nazývá „hřbitov kosmického odpadu“.

Nikdy neděláme jen jednu věc. Lidská činnost zanechává smetiště nejen zde na Zemi, ale i v kosmu. Tímto nebezpečným kosmickým odpadem se zabývá řada odborníků, konají se mezinárodní konference na toto téma, je důležitým předmětem činnosti

OSN a je mu věnován speciální časopis. Zatímco přirozené částice – meteoroidy – proběhnou okolím Země za desítky sekund, bude provázet lidské kosmické smetí naši planetu po staletí až tisíciletí.

5.34 Měsíce Marsu

Mars má dva malé nepravidelné měsíce Phobos a Deimos. V českém překladu jejich názvy znamenají Strach a Hrůza. V řecké mytologii šlo o dva koně zapřažené do Marsova válečného vozu. Větší z obou měsíců se nazývá Phobos a vidíme ho napravo. Rozměr má zhruba 27 kilometrů a jde o zachycenou planetku. Menší Deimos je 15 kilometrů veliký. Sonda Viking 1 ho zkoumala v roce 1977 ze vzdálenosti 50 kilometrů a pořídila fotografie povrchu s rozlišením 3 metry.

Deimos. Menší a vzdálenější z obou Marsových měsíců. Objevil ho v roce 1887 Asaph Hall při velmi příznivé opozici Marsu. V roce 1977 pořídila sonda Viking 1 fotografie ze vzdálenosti 50 km a změřila tepelné záření Měsíce. Tvar Měsíce připomíná bramboru.

Phobos. Větší z obou Marsových měsíců. Jeho dráha je pouhých 6 000 km nad povrchem planety. Ze všech měsíců Sluneční soustavy je nejbliže ke své planetě. Oběhne Mars 3× za den ve stejném smyslu, jako se Mars otáčí. Předbíhá tedy Marsovu rotaci, takže za jeden den vyjde 2× na západě a zapadne 2× na východě. Zatmění Phobose (tj. jeho průchod Marsovým stínem) je velmi častou událostí. Za jeden Marsův rok, což je 687 dnů zemských a 670 dnů marsovských, nastane celkem 1 330 zatmění Phobose, přičemž jedno zatmění může trvat až 50 minut.

5.35 Galileovské Měsíce Jupiteru

Galileovy měsíce jsou nejvěšší z více než šedesáti Jupiterových měsíců. Pozoroval je na počátku 17. století Galileo Galilei prvním jednoduchým astronomickým dalekohledem. Měsíc Io má i v současnosti na povrchu aktivní vulkány soptící lávu. Jeho nitro je zahříváno slapovými silami a elektrickými proudy. Io významně deformuje magnetosféru Jupiteru. Měsíce Europa a Ganymed mají hluboké oceány slané vody skryté pod ledovým příkrovem. Často se uvádí, že v obou může být chemotrofní život – podobný tomu, jaký je u černých kuřáků na dně zemských oceánů.

Io je Galileův měsíc nejbližší k Jupiteru. Objevil ho v lednu 1910 Galileo Galilei. Kepler ho pojmenoval podle dcery říčního boha Inacha a kněžky bohyně Héry. Krásná Io marně prchala před láskou dotírajícího Dia. Héra milence vypátrala a ze žá-

livosti přeměnila Io v bílou krávu. Na útěku před Hérrou se kráva brodila Thráckou úžinou, která je dodnes nazvána „dobyččí brod“ čili Bospor.

Io je první jiné těleso Sluneční soustavy, na němž byla zjištěna intenzivní sopečná činnost, a to jak Voyager, tak automatickou observatoří Galileo. V činnosti je devět sopek, které vyvrhují materiál rychlostí 1 km s^{-1} do výše až 300 km. Ze všech těles v celé Sluneční soustavě je Io vulkanicky nejaktivnější.

Příčinou sopečné činnosti na Io je vysoká teplota v nitru. Zatímco v Zemi je teplo uvolňováno radioaktivitou a diferenciací jejího jádra, Io je zahřívána slapovým působením Jupiteru, Европы a Ganymeda. Dostane-li se Io mezi Jupiter a některého z obou vzdálenějších měsíců, gravitační přitažlivost z protilehlých stran způsobí její protažení až o 100 m. Potom se vrátí do normálního tvaru. Opakovaná deformace v pevném materiálu Io způsobuje její zahřívání. (Podobně například při opakovaném ohýbání drátu nebo hřebíku se ohýbané místo zahřeje). Je to tzv. přílivové zahřívání (slapový ohřev).

Sopečné oblasti na Io mají teplotu kolem 17°C , zatímco klidné okolí pouze -143°C . Teplé oblasti jsou patrně lávová jezera, překrytá pevnou kůrou.

Io je složena převážně z křemičitanových hornin. Podle výzkumů sondy Galileo má velké železné jádro. Právě toto jádro vytváří magnetosféru kolem Io. Do prostoru její magnetosféry nemůže proniknout magnetosféra Jupiteru. Je to obdoba heliosféry v mezihvězdném magnetickém poli.

Při průletu Jupiterovou magnetosférou se Io stává elektrickým generátorem. Pohybuje-li se totiž vodič napříč siločar, na jeho koncích se budí elektrické napětí. Io je vodivá (díky železnému jádru, ale též volným iontům a elektronům v magnetosféře) a přebíhá přes ni magnetosféra Jupiteru. Na opačných koncích průměru Io se tak indukuje napětí asi 400 000 V a proud několika milionů ampér. Joulovo teplo přispívá k zahřívání nitra měsíce Io.

Europa je nejmenší ze čtyř Galileových měsíců Jupiteru. Je poněkud menší než Měsíc, ostatní tři jsou větší. Objevil ji Galileo Galilei 7. ledna 1610. Kepler ji pojmenoval podle fénické princezny, dcery krále Agenory z Tyru. Podle antické báje se Europa zalíbila Diovi natolik, že ji přeměnil v bílého býčka, unesl ji rodičům a přeplaval s ní z Fénicie na Krétu.

Europa je nejhladší těleso ve Sluneční soustavě. Výškové rozdíly nejsou větší než 1 km. Povrch je velmi jasný, 5× jasnější než povrch Měsíce. Nahnědlé a našedlé drsnější oblasti jsou pokryty malými pahorky. Ostatní oblasti jsou rozsáhlé hladké ledové roviny rozpraskané v kry. Trhliny v ledu jsou přímé nebo zakřivené, některé až

několik tisíc km dlouhé. Jejich šířka je až 20 km. Trhlinami vytéká voda zbarvená kalem pocházejícím z jádra.

Povrch Europy je velmi podobný Severnímu ledovému oceánu. Některé ledové kry na jejím povrchu jsou až 30 km velké a dokonce pootočené. Pod ledovou kůrou (v hloubce asi 10 km) je patrně oceán. Voda v tekutém stavu je ohřívána gravitačním „přetahováním“ mezi Jupiterem a Ganymedem. Je to tedy podobný zdroj tepla jako u Io. V pevném jádru Europy jsou zřejmě i radioaktivní prvky (uran, thorium, draslík), které přispívají k ohřevu nitra. Svým jádrem se Europa podobá terestrickým planetám. Výzkumy sondy Galileo nasvědčují tomu, že v jejím jádru (tvořeném převážně z křemičitanů) je malé železné jádérko.

Ganymed je třetí Jupiterův měsíc objevený Galileem a pojmenovaný Keplerem. Je nejjasnější a největší z Galileových měsíců. S průměrem 5 256 km je největším měsícem ve Sluneční soustavě. Je větší než planeta Merkur a trpasličí planeta Pluto.

Podrobné snímky Ganymeda ukazují dva rozdílné druhy povrchu. Tmavší oblasti jsou hustě pokryty krátery. To svědčí o jejich velkém stáří. Některé z kráterů jsou zčásti nebo úplně ponořeny. Zcela odlišné jsou oblasti pokryté dlouhými rovnoběžnými brázdami, širokými 5 až 10 km. Ganymed má vlastní magnetické pole.

Callisto je poslední ze čtyř velkých Jupiterových měsíců, objevený Galileem roku 1610. Jméno navrhl Kepler. Stejně jako jména ostatních tří Galileových měsíců, i Callisto připomíná Diovy milostné zálety. Callisto (Kallisto) byla dcera arkádského krále Lykaona a nejkrásnější dívka v celé zemi. Zeus ji svedl a narodil se jim syn Arkas. Žárlivá Héra – Diova manželka – ji proměnila v medvědice. Mezi lovci, kteří ji obklíčili, poznala svého syna Arkada, který na ni namířil kopí. Aby zabránil matkovraždě, v posledním okamžiku zasáhl Zeus a proměnil i svého syna Arkada v malého medvěda. Oba je umístil na oblohu, kde jsou jako souhvězdí Ursa Major (Velká medvědice) a Ursa Minor (Malý medvěd). Keplerovým pojmenováním se dostala arkádská krasavice na oblohu podruhé – jako Jupiterův měsíc.

V pořadí vzdáleností od Jupiteru je celkově osmým a Galileovým čtvrtým měsícem. Po Ganymedovi je druhý největší. Ze všech měsíců Sluneční soustavy je třetí největší, velikostí srovnatelný s Merkurem. Má největší hustotu kráterů z těles Sluneční soustavy. Jeho kůra je velmi stará, přes 4 miliardy let, podobně jako jasné pevniny na Měsíci. Nebyla obnovována jako například u Io. Proto nese stopy všech dopadů planetek, planetezimál, komet i meteoritů.

Callisto je ze 40 % z ledu a ze 60 % z křemičitanů a železa. Atmosféra nebyla zjištěna. Její povrch není bičován energetickými ionty Jupiterova hlavního radiálního pásu, neboť Callisto obíhá těsně vně. Zato dopad planetek a komet vyhloubil do ledové

kůry otvory, kterými vytryskla voda na povrch a vytvořila jasné paprsky a kolem největších kráterů (impaktních pánví) soustředné prstence.

5.36 Titan – největší Saturnův Měsíc

Titan je největší Saturnův měsíc s průměrem 5 150 km. Byl objeven Christiaanem Huygensem v roce 1655. Má hustou atmosféru, v níž převažuje dusík s trochou metanu. Tlak atmosféry na povrchu je 1,5 atmosféry, teplota $-180\text{ }^{\circ}\text{C}$. Měsíc Titan je větší než planeta Merkur. Na povrchu se nacházejí rozsáhlá metanová jezera. Titan zkoumala v roce 1980 sonda Voyager 1 a v roce 2005 na Titanu přistálo evropské pouzdro Huygens, které bylo součástí mise Cassini. Často se spekuluje o možnosti primitivních forem života na Titanu.

Titan byl šestým měsícem objeveným v planetární soustavě (po Měsíci a Galileových měsících). Huygens si všiml, že Titan obíhá v rovině Saturnových prstenců jednou za téměř 16 dnů. Pojmenován byl po Titánech, dětech Urana (boha nebes) a Gaie (bohyně Země). Nejmladším z Titánů byl Saturn.

Titan má atmosféru, v níž v roce 1944 Gerard Kuiper objevil metan CH_4 . Hlavní složkou jeho atmosféry je molekulární dusík (N_2). Ultrafialové sluneční fotony štěpí metan na reaktivní radikál metyl ($-\text{CH}_3$) a vodíkový atom (H). Z nich pak vznikají složitější uhlovodíky, jako etan (C_2H_6), eten (C_2H_4) a etyn (C_2H_2), které jsou vytvořeny při fotochemických reakcích metanu a dusíku a kondenzují v nejchladnějších vrstvách atmosféry ve výškách 50 až 100 km. Kondenzací vznikají částice o velikosti několika desetin mikrometru. A právě tyto částice vytvářejí hustý oranžový zákal zahalující rovnoměrně celý Titan.

Titan představuje výjimečné těleso, neboť v jeho atmosféře je rozsáhlá vrstva organického smogu, je pokryt organickým oceánem a na dně oceánu je usazena silná vrstva složitých organických molekul; takových molekul, z nichž na Zemi před 4 miliardami let pravděpodobně vznikala život.

5.37 Prstence

Prstence byly nalezeny u všech obřích planet Sluneční soustavy. Na snímku se díváte na jemnou strukturu Saturnova prstence vyfotografovanou ze sondy Cassini. Prstence tvoří obrovské množství částic, které obíhají kolem planety. Z nich je zformován tenký disk rozprostřený v rovině rovníku. Tloušťka disku činí pouhé stovky metrů. Velikost částic je v širokém rozmezí, od drobných prachových částic až po malé měsíčky obíhající v prstencích. Částice jsou z vodního ledu, rozdrobených hornin a směsi obou, takže jejich odrazivá schopnost je různá.

První záznamy o pozorování prstenců pochází od Galileo Galileie z roku 1610, jako prstence je ale rozpoznal až Christiaan Huygens v roce 1659. Až v roce 1859 dokázal James Clark Maxwell matematicky, že Saturnovy prstence nemohou být pevné jednolitě desky, ale musí být složeny z velkého množství částic, které obíhají kolem Saturnu různou rychlostí jako drobné měsíčky. Ty by měly obíhat kolem Saturnu podle Keplerových zákonů. To znamená, že čím jsou částice dále od planety, tím pomaleji by měly obíhat. Americký astronom James Keeler pomocí spektra prstenců dokázal, že jde o odražené sluneční záření, jehož Fraunhoferovy čáry byly posunuty více v částech prstenců blíže k Saturnu než pro vnější část prstenců, jak odpovídá Keplerovým zákonům. Skrze jednotlivé části prstenců se prolétají tzv. pastýřské měsíce, které s prstenci velmi silně interagují.

5.38 Prstence – ostatní obří planety

Astronomové se dlouho domnívali, že Saturnovy prstence jsou ojedinělým jevem ve Sluneční soustavě. V roce 1977 byly objeveny Uranovy prstence při pozorování zákrytu jedné hvězdy Uranem. O dva roky později Voyager 1 poslal k Zemi snímky Jupiterových prstenců. Zákryt hvězdy Neptunem v roce 1980 prokázal existenci Neptunových prstenců, jejichž snímky pořídil v roce 1989 Voyager 2.

Prstence jsou v blízkosti obřích planet v prostoru, kde je slapová síla planety větší než soudržná (kohezivní) síla materiálu, z něhož jsou částice. Velikost tohoto prostoru odvodil v polovině 19. stol. Francouz Edouard Roche a je známa pod jménem Rocheova mez (zhruba $2,5\times$ poloměr planety). Těleso (měsíc, kometa, planetka), které se dostane do Rocheovy meze, je gravitačním působením planety roztrháno na drobné kusy, které pak obíhají každý samostatně kolem planety.

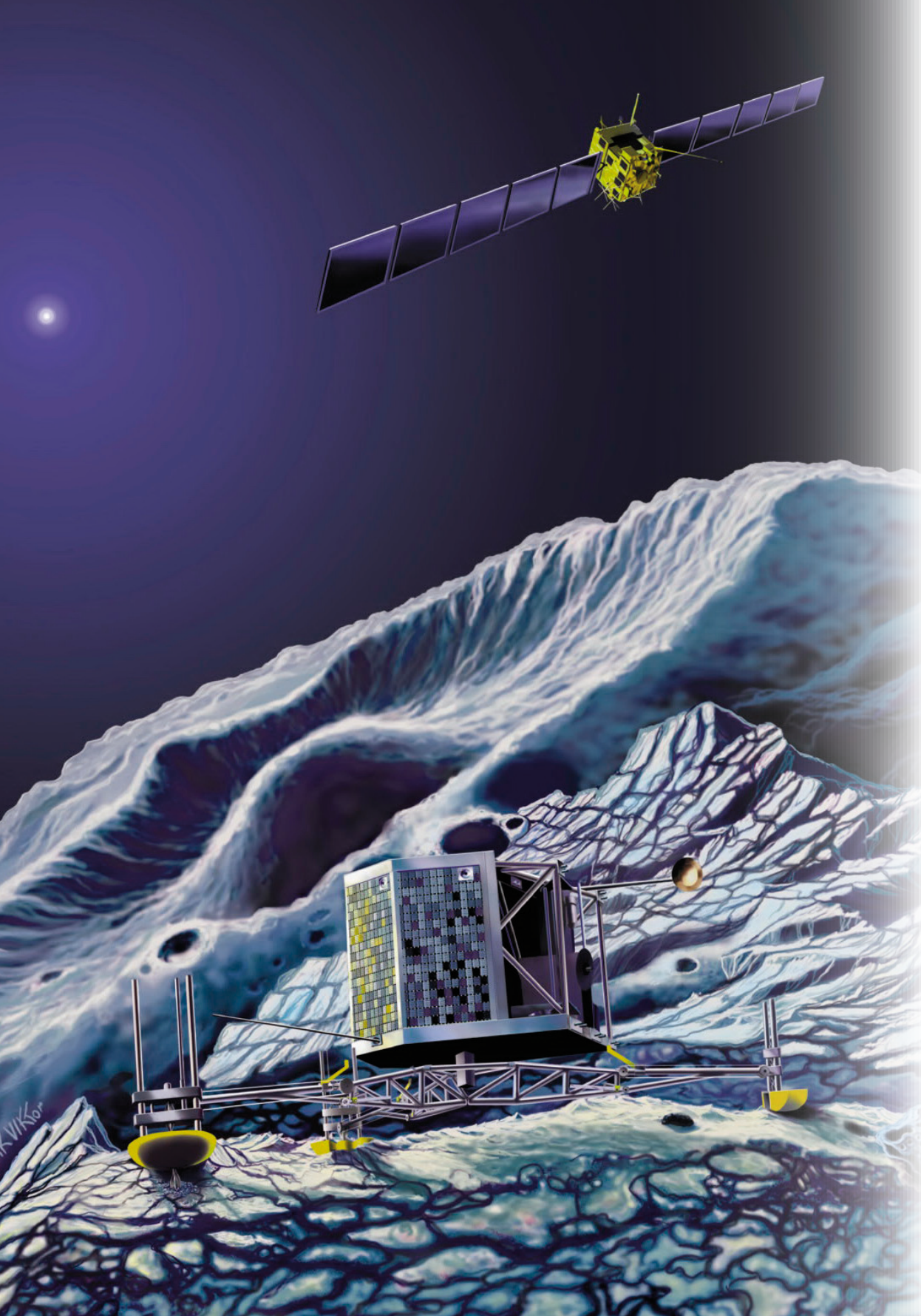
Zdroje k páté prezentaci

- 5.1 Archiv autora
- 5.2 Kresba Ivan Havlíček (v publikaci P. Kulhánek, J. Rozehnal: *Hvězdy, planety Magnety*, Mladá fronta, Kolumbus 2007)
- 5.3 J. Kleczek, P. Jakeš: *Das Weltall und Unsere Erde*; Dausien
- 5.4 NASA/Voyager; photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA00453
photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA00451
- 5.5 http://www.backseatbettys.com/solarSite/downloads/hiRes_00-SS.jpg

- 5.6 Archiv autora
- 5.7 Archiv autora
- 5.8 <http://planetfacts.org/wp-content/uploads/2011/04/Terrestrial-3.png>
- 5.9 http://ca.wikipedia.org/wiki/Fitxer:Hermes_di_Prassitele,_at_Olimpia,_particular.jpg
- 5.10 http://planetary.s3.amazonaws.com/assets/images/1-mercury/mercury_MESSENGER_M2_Global_Color_perry_full.jpg
http://www.nasa.gov/images/content/602320main_messenger_orbit_image_20111109_1_full_full.jpg
http://www.boston.com/bigpicture/2009/06/mercury_and_messenger.html
- 5.11 <http://www.lvmregion.cz/images/obce/vestonice/vestonice02.jpg>
http://ateo.cz/f/originals/v/venus_de_milo.jpg
http://panamarte.net/wp-content/uploads/2012/05/venus_10.jpg
- 5.12 <http://www.ibiblio.org/wm/paint/auth/botticelli/botticelli.venus.jpg>
- 5.13 http://www.dlr.de/DesktopDefault.aspx/tabid-4530/3681_read-10939/gallery-1/gallery_read-Image.1.4352/
http://workingmomadventures.files.wordpress.com/2011/12/venus_clouds.jpg
<http://www.spacechronology.com/venus-elevation-map-magellan-nasa.jpg>
<http://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/pia00104>
- 5.14 <http://planety.mysteria.cz/venuse/venuse3b.jpg>
<http://planety.mysteria.cz/venuse/venuse4b.jpg>
<http://www.solarviews.com/cap/venus/flight2.htm>
- 5.15 http://en.wikipedia.org/wiki/File:Tellus_-_Ara_Pacis.jpg
- 5.16 http://www.trekkies.cz/storage/obrazky/2005/200510132049_zeme03.jpg
http://apod.nasa.gov/apod/image/0811/earthmoon_nasa_big.png
<http://svs.gsfc.nasa.gov/vis/a000000/a003400/a003404/index.html>
<http://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/spacecraftDisplay.do?id=1966-073A>
- 5.17 http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Ludovisi_Ares_-_1889_drawing.jpg
- 5.18 http://nssdc.gsfc.nasa.gov/photo_gallery/photogallery-mars.html
- 5.19 http://www.geowall.org/data/astronomy/Mars_Adler/
<http://www.razorrobotics.com/images/space-robots/>

- [mars-rover-2004-large.jpg](#)
<http://www.link2universe.net/wp-content/uploads/2012/01/oceanus-borealis.jpg>
<http://www.solarviews.com/cap/mars/network.htm>
- 5.20 http://www.esa.int/esaMI/Mars_Express/SEM7F6OFGLE_1.html
<http://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA02836>
http://apod.nasa.gov/apod/image/1107/GaleCraterMars_themis.jpg
<http://www.lpi.usra.edu/lpi/meteorites/Themeteorite.gif>
<http://www.lpi.usra.edu/lpi/meteorites/Thinsection.html>
<http://www.lpi.usra.edu/lpi/meteorites/Photomicrograph.gif>
- 5.21 http://solarsystem.nasa.gov/multimedia/display.cfm?IM_ID=180
- 5.22 <http://www.misasignaturas.es/?p=124>
- 5.23 http://solarsystem.nasa.gov/multimedia/display.cfm?Category=Spacecraft&IM_ID=462
<http://hubblesite.org/newscenter/archive/releases/solar%20system/jupiter/2006/19/image/c/>
<http://saturn.jpl.nasa.gov/video/videodetails/?videoID=5>
<http://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA01384>
- 5.24 <http://eeeweems.com/goya/saturn.html>
- 5.25 <http://mek.kosmo.cz/sondy/usa/cassini/cprob1.gif>
<http://vt-2004.astro.cz/teorie/G5/images/vt2004-if-g5-fig1.jpg>
http://planety.astro.cz/obr/planety/saturn/saturnb_full.jpg
http://apod.nasa.gov/apod/image/0401/lordofrings_hst_big.jpg
- 5.26 http://apod.nasa.gov/apod/image/0901/newrings_cassini_big.jpg
- 5.27 http://www.terminartors.com/files/artworks/1/4/3/14315/Vasari_Giorgio-The_Mutiliation_of_Uranus_by_Saturn.jpg
http://s4.hubimg.com/u/4480779_f260.jpg
- 5.28 http://amuseum.cdstm.cn/AMuseum/universe/image/solar_uranus_index_01.jpg
<http://www.spacetelescope.org/static/archives/images/screen/opo0405d.jpg>
<http://lide.uhk.cz/fim/student/schejmi1/img/uran.jpg>
http://www.aldebaran.cz/bulletin/2006_31/uran.jpg
- 5.29 [http://www.fransite.net/Klassiek/Grieks/kunst/Zeus%20\(or%20Poseidon\),%20from%20the%20sea%20off%20Cape%20Artemision](http://www.fransite.net/Klassiek/Grieks/kunst/Zeus%20(or%20Poseidon),%20from%20the%20sea%20off%20Cape%20Artemision),

- %20Greece,%20ca_%20460-450%20BCE_jpg_orig.html
<http://www.imagiva.com/bernini-gian-lorenzo/neptune-and-triton-1.html>
- 5.30 http://ucchan.img.jugem.jp/20120618_805484.jpg
- 5.31 http://planet.astro.cz/obr/planet/saturn/saturn_family_full.jpg
- 5.32 http://www.sunflowercosmos.org/gallery/images/z_largest_moons_smallest.jpg
- 5.33 http://www.esa.int/esaMI/ESOC/SEM2VM5NDF_mg_6_s.html
<http://saleil.blogspot.cz/2009/02/space-junk-and-satellite-killers.html>
<http://svs.gsfc.nasa.gov/vis/a000000/a003800/a003810/index.html>
- 5.34 http://www.pixheaven.net/html/geoman/apprendre/images/mars_satellites.jpg
- 5.35 <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/eb/Jupiter.moons1.jpg>
- 5.36 <http://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/pia09102>
http://www.nasa.gov/images/content/103521main_titan_m.jpg
<http://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA06160>
http://www.europlanet-eu.org/outreach/images/stories/ep/news/epsc2011/titan_dps_mp4.mp4
http://www.europlanet-eu.org/outreach/images/stories/ep/news/epsc2011/1-titan_ortho.jpg
<http://simple.wikipedia.org/wiki/File:Headoftitan-athens.jpg>
- 5.37 <http://images.cdn.fotopedia.com/flickr-1384411314-original.jpg>
- 5.38 <http://mix.msfc.nasa.gov/abstracts.php?p=2686>
<http://www.solarviews.com/cap/uranus/uring1.htm>
http://airandspace.si.edu/etp/neptune/neptimg/NEPT_P34726rings.gif
http://apod.nasa.gov/apod/image/1206/jupiterrings_galileo_1370.jpg
<http://www.yorku.ca/ns1745b/fig8-planet-rings.jpg>



6. Sluneční soustava

Sluneční soustava je seskupením mnoha těles (planet, planetek, komet a nespočetného množství meteoroidů) vázaných gravitací ke Slunci. Obíhají kolem něj, a to (s výjimkou komet) po téměř kruhových drahách ve směru jeho otáčení. Z pohledu od souhvězdí Draka (tj. severního pólu ekliptiky) je to přímý pohyb, proti směru hodinových ručiček. Stejným směrem se otáčí kolem své osy Slunce a většina planet. Také většina měsíců obíhá své planety v přímém směru. Přímý pohyb většiny těles ve Sluneční soustavě je dědictvím po otáčivém pohybu sluneční mlhoviny.

V prostoru je Sluneční soustava uspořádána do čtyř základních částí:

1. Slunce, které je v samotném středu soustavy. Je základním zdrojem světla a tepla a je v něm soustředěna převážná část hmotnosti (99,85 %) Sluneční soustavy;
2. planetární soustava, zahrnující osm planet, jejichž dráhy jsou přibližně v jedné rovině. Prostírá se do vzdálenosti asi 30 AU a je v ní soustředěna asi tisícina celkové hmotnosti Sluneční soustavy;
3. Kuiperův pás komet, kentaurů a planetek. Je zploštělý k ekliptice a lemuje okraj planetární soustavy až do vzdálenosti asi 1 000 AU. Z něho se do meziplanetárního prostoru dostávají krátkoperiodické komety. Planetární soustava obklopená Kuiperovým pásem tvoří zploštělou vnitřní část Sluneční soustavy;
4. Oortův oblak komet tvoří vnější kulový obal Sluneční soustavy. Prostírá se do vzdálenosti zhruba dvou světelných roků od Slunce. Ve své vnější části přechází do okolního mezihvězdného prostoru a je ovlivňován blízkými hvězdami. Je zásobárnou stamiliard komet. Z něho přicházejí dlouhoperiodické komety. Všechny komety Oortova oblaku dohromady představují asi miliontinu hmotnosti Sluneční soustavy.

Celá Sluneční soustava zabírá kulový prostor o poloměru asi 2 ly, tj. asi 100 000 AU. Prostorová velikost Sluneční soustavy je určena hmotností Slunce. Jeho gravitace sahá až k vnějšímu pomezí Oortova oblaku. Za ním je pak mezihvězdný prostor, v němž dočasně uplatňují své gravitační síly hvězdy, které nás míjejí.

Prostor mezi členy soustavy není prázdný, ale je zaplněn různými formami energie. Od Slunce vane do všech směrů sluneční vítr, který s sebou ze Slunce odnáší sluneční magnetické pole. Prostor kolem Slunce zaplněný slunečním větrem a magnetickými siločarami zakotvenými ve Slunci se nazývá heliosféra. Sluneční magnetické pole v heliosféře je převládajícím magnetickým polem ve Sluneční soustavě, s výjimkou některých planet a měsíců, které mají své vlastní pole – magnetosféru.

Sluneční soustava je členem velké hvězdné soustavy – Galaxie. Je ve vnitřní části jejího Orionova ramene, vzdálena přibližně 26 000 ly od galaktického středu. S okolními hvězdami se v důsledku galaktické rotace pohybuje směrem k souhvězdí Labutě (*Cygnus*), a to rychlostí 230 km s^{-1} . Vzhledem k okolním hvězdám se pohybuje rychlostí přibližně 20 km s^{-1} směrem k apexu v souhvězdí Herkula.

*Vesele se Zemí Měsíc jde,
Země zas v mocném kruhu
se okolo Slunce otáčí
v zářivém planet pruhu.
A i to velké Slunce zas
kolem většího vede nás –
a toto slunce jeho
kde jde? – a kolem čeho?*

(Jan Neruda, Písně kosmické)

6.1 Úvod

Sluneční soustava, to není jen 8 planet obíhajících naše Slunce. Mezi Marsem a Jupiterem nalezneme pás planetek, drobných těles pohybujících se kolem Slunce stejně jako jejich větší příbuzní. Za drahou Neptunu není pusto a prázdno, ale panuje zde čilý ruch. Pluto zde spolu s mnoha dalšími tělesy vytvářejí Kuiperův pás. A za ním je ještě ledový Oortův oblak, který zásobuje vnitřní části Sluneční soustavy kometárnímí jádry. Vydejme se nyní na cestu naší Sluneční soustavou a pokusme se zamyslet i nad jejím původem a budoucím osudem.

6.2 Stavba Sluneční soustavy

Dnes dobře víme, že Slunce, Země, planety a jejich měsíce tvoří jen nejvnitřnější část Sluneční soustavy. Její rozměry jsou přibližně 60 astronomických jednotek. Za poslední planetou, Neptunem, se rozprostírá Kuiperův pás, ve kterém je velké množství menších těles. K nejznámějším z nich patří trpasličí planeta Pluto. Kuiperův pás má průměr přibližně 1 000 astronomických jednotek. Za Kuiperovým pásem leží Oortův oblak kometárních jader. Jde o pozůstatky látky z období tvorby Sluneční soustavy a obrovskou zásobárnu vody pro celou Sluneční soustavu. Oortův oblak má rozměr přibližně 100 000 astronomických jednotek. To jsou necelé dva světelné roky.

Sluneční rodina – viz snímky 1.16 a 5.3.

6.3 Poloha Sluneční soustavy v Mléčné dráze

Sluneční soustava je součástí naší Galaxie – Mléčné dráhy. Mléčná dráha na obloze je ve skutečnosti naše Galaxie viděná zevnitř. Z místa za souhvězdím Ryb ze vzdálenosti jednoho milionu světelných roků by Galaxie vypadala tak, jak je znázorněno na hořejší části perokresby. Galaxie by rotovala jako celek ve směru proti hodinovým ručičkám. Ze stejné vzdálenosti bychom naši Galaxii za hvězdami Střelce viděli jako plochý disk na obrázku v dolní části. Slunce je jednou z více než dvou set miliard hvězd v Mléčné dráze. Nachází se přibližně 26 000 světelných roků od středu Galaxie, která má v průměru přes 100 000 světelných roků.

Vlastnosti naší Galaxie – Mléčné dráhy – naleznete v kapitole Tabulky.

Galaxie (Mléčná dráha) – viz snímky 1.25, 8.9, 8.10.

6.4 Kam se pohybuje Slunce vzhledem k okolním hvězdám?

Všechna tělesa se ve Vesmíru pohybují. Naše Země se řítí kolem Slunce rychlostí 30 km s^{-1} . Ale ani Slunce samotné není nehybné. Vzhledem k nejbližším hvězdám se pohybuje rychlostí přibližně 20 km s^{-1} směrem k souhvězdí Herkula. Bod, do kterého pohyb Slunce míří, se nazývá apex. V blízkosti je nejjasnější hvězda severní oblohy Vega, která již ale patří do souhvězdí Lvy. Oba pohyby se skládají, takže se naše Země pohybuje vůči nejbližšímu hvězdnému okolí po šroubovici rychlostí 36 km s^{-1} .

Sluneční apex je bod na obloze, k němuž směřuje celá Sluneční soustava vzhledem k okolním hvězdám. Nachází se v souhvězdí Herkula u hvězdy ν (rektascenze 18 h , deklinace $+30^\circ$). Rychlost pohybu směrem k apexu je poměrně malá, přibližně 20 km s^{-1} . Naopak, o řád větší je rychlost, jakou se pohybuje Sluneční soustava (i s okolními hvězdami) kolem galaktického středu: 230 km s^{-1} . Tento oběžný pohyb směřuje k souhvězdí Labutě. Důsledkem pohybu Sluneční soustavy směrem k apexu je sekulární paralaxa. Bodem protilehlým k apexu je *antapex*, který se nachází v souhvězdí Holubice na jižní polokouli.

Sekulární paralaxa je zdánlivý pohyb okolních hvězd způsobený pohybem Sluneční soustavy. Její základnou je vzdálenost, kterou Slunce (se Zemí) urazí za jeden rok směrem k apexu ($4,11 \text{ AU}$ za rok). Blízké hvězdy se zdánlivě pohybují na obloze opačným směrem, než postupuje Slunce, a velikost jejich posuvu (tj. jejich sekulární paralaxa) závisí jednak na jejich vzdálenosti od Slunce, jednak na jejich vzdálenosti od apexu. V apexu se sekulární paralaxa neprojevuje. Na rozdíl od roční paralaxy

(způsobené pohybem Země kolem Slunce) nelze sekulární paralaxu použít pro určení vzdálenosti jednotlivých hvězd, protože ji nelze jednoznačně odlišit od jejich vlastního pohybu.

Souhvězdí Herkules (*Hercules*) je rozlehlé souhvězdí letní oblohy. Herkules (řecky Hérakles) byl syn krásné pozemšťanky a Dia, vládce bohů i lidí. Od svého otce dostal do vínku sílu a slávu. Diova manželka Héra pronásledovala Herakla od jeho narození. Poslala na novorozeně dva hady, aby ho zardousili. Ale Hérakles byl už jako dítě velmi silný a hady zabil. Když vyrostl, donutila ho sloužit mykénskému králi, který mu ukládal přetěžké práce. Bylo jich celkem dvanáct. Jedním z nich byl úklid Augiášova chléva. Herkules do něj zavedl řeku, aby chlév vyčistila. Héra ho pak poslala na tři roky do otroctví, kde musel pracovat a oblékat se jako žena. Nakonec se s ním smířila a dala mu dokonce svou dceru Hébé za manželku. Zeus ho učinil nesmrtelným a vykázal mu místo na obloze nedaleko Hydry, kterou Herkules kdysi také přemohl.

V nejstarších civilizacích byl označován jako klečící obr, shýbající se mladík apod. Féničané v tomto souhvězdí zbožňovali svého mořského boha Melkartha.

Souhvězdí lze snadno najít podle výrazného čtyřúhelníku (z hvězd η , ζ , ϵ a π), který připomíná květináč. Leží mezi Lyrou a Severní korunou (*Corona Borealis*). Nejjasnější hvězda v Herkulovi, Ras Algethi, je jedna z největších známých hvězd vůbec. Průměr tohoto červeného veleobra je asi 800 milionů kilometrů. Mění nepravidelně svoji jasnost, podobně jako ostatní červení veleobři. I malým dalekohledem u něj lze spatřit namodralého průvodce, který sám je ještě spektroskopickou dvojhvězdou.

6.5 Kam se pohybuje Slunce v rámci Galaxie?

Slunce ale koná i další pohyby. Naše Galaxie rotuje, a proto Slunce spolu se Sluneční soustavou a okolními hvězdami obíhá kolem středu naší Galaxie. Uhání spolu s námi nepředstavitelnou rychlostí 230 km s^{-1} směrem ke hvězdě ϵ ze souhvězdí Labutě. Touto rychlostí oběhne Slunce kolem středu Galaxie jednou za 240 milionů roků.

Souhvězdí Labutě (*Cygnus*) je jedním ze souhvězdí letní oblohy. Báje vypráví, že v labutě se proměňoval vládce Olympu, mocný Zeus, když se chtěl podívat mezi lidi. V této podobě navštívil i spartskou královnu Lédu, která ho zaujala svojí krásou. Aby se k ní mohl přiblížit, dal se pronásledovat obrovským orlem, před kterým ho královna zachránila. Léda se po návštěvě Dia stala matkou blíženců Castora a Polluxe (někdy jsou jejich jména převáděna do češtiny jako Kastór a Polydeukés) a také krásné Heleny, pro kterou vypukla trojská válka.

Souhvězdí svým tvarem připomíná labuť letící mléčnou dráhou k jihu. Bílá hvězda Deneb tvoří spolu s Vegou v Lyře na západě a s Altairem v Orlu na jihu letní trojúhelník – *asterizmus* (výrazné seskupení hvězd, které není souhvězdím), který usnadňuje orientaci na letní obloze. Nejjasnější hvězdy souhvězdí Labutě tvoří jiný asterizmus – tzv. Severní kříž.

6.6 Kam se pohybuje Slunce s Galaxií?

Slunce se spolu s Galaxií, okolními galaxiemi a kupami galaxií pohybuje rychlostí 600 km s^{-1} do tzv. Velkého atraktoru neboli přitahovače. Ten se nachází v souhvězdí Pravítka na jižním nebi. Na snímku z Interamerican Observatory je souhvězdí Pravítko v Mléčné dráze v blízkosti pravé kopule. Nalevo je Velký a Malý Magellanův oblak, to jsou trpasličí galaxie v těsné blízkosti naší Galaxie. Pokud je doplníme do rovnostranného trojúhelníku, nalezneme jižní pól. Míří k němu delší spojnice hvězd Jižního kříže, který naleznete dole mezi kopulemi.

Hmotnost **Velkého atraktoru** (přitahovače) je odhadována na 10^{17} slunečních hmotností. Obrovská kupa galaxií (zanesená v Abellově katalogu pod číslem 3627) je pokládána za jádro Velkého atraktoru. Kupa je ve vzdálenosti 300 milionů světelných roků. Obsahuje desetitisíce galaxií, z nichž okrajové lze pozorovat po obou stranách pásu Mléčné dráhy. Její hmotnost je 5×10^{15} hmotností Slunce. Celková hmotnost Velkého atraktoru je tedy asi $20 \times$ větší, než má svítící hmotnost galaxií v obří kupě. To znamená, že Velký atraktor sestává především z nezářivé hmoty. Rychlost pádu naší Galaxie do tohoto gravitačního kráteru se s dobou zvětšuje, neboť jde o volný pád.

Náš pohyb do Velkého atraktoru se projevuje jako nepatrná anizotropie reliktního záření (oddělilo se od látky v období tvorby atomárních obalů, zhruba 400 000 let po vzniku Vesmíru). Reliktní záření z raného Vesmíru přichází z oblohy ze všech směrů. Nepatrně se však liší mezi chladnější oblastí v Perseu a teplejší v jižní Mléčné dráze v souhvězdí Pravítka. Z této jemné asymetrie teploty reliktního záření na obloze vyplývá, že naše rychlost pohybu do Velkého atraktoru je 600 km za sekundu.

Souhvězdí Pravítko (*Norma*) je malé souhvězdí na jih od Štíra ležící v místech, kde je pruh Mléčné dráhy rozštěpený. Do hvězdných map ho zavedl francouzský astronom abbé de Lacaille (1713–1762), který proměřil na mysu Dobré naděje přes 10 000 hvězd jižní oblohy. Souhvězdí Pravítko bylo původně součástí sousedního Oltáře (*Ara*) a Vlka (*Lupus*). Později byly původní Lacailleovy hranice změněny, takže z něho byly vyřazeny i hvězdy α Nor a β Nor. Nejjasnější hvězdou je proto slabá hvězdička γ_2 Nor (4 mag), vzdálená 130 ly. V těsné blízkosti je slabší γ_1 Nor (5 mag), mnohem vzdálenější žlutý veleobr.

6.7 Přímé poznávání Sluneční soustavy

Sluneční soustava byla a je zkoumána mnoha sondami, které mohou kroužit kolem nebeských těles a mnohdy na nich i přistát. V dnešní době není technicky nemožné přistát na malé planetce nebo kometárním jádru a přímo na místě odebrat vzorky látky a dopravit je zpět na Zemi. První opravdu velkou výpravu uskutečnily sondy Pioneer 10 a 11, které v 70. letech 20. století navštívily obří planety Jupiter a Saturn. Převážně v 80. letech zkoumala všechny vzdálené obří planety ještě dvojice sond Voyager 1 a 2. Dnes patří tyto sondy mezi nejvzdálenější výtvořiny lidské civilizace a právě opouštějí Sluneční soustavu. Ze současných sond si připomeňme alespoň sondu Cassini u Saturnu, Rosetta, která v roce 2014 doletí ke kometě Churyumov-Gerasimenko a New Horizons, která doletí k Plutu v roce 2015.

Voyager je dvojice sond NASA, která startovala v roce 1977 pomocí nosných raket Titan/Centaur. V roce 1979 proletěly obě sondy kolem Jupiteru, v roce 1980 (Voyager 1) a 1981 (Voyager 2) kolem Saturnu. Voyager 2 pokračoval dále k Uranu (1986) a Neptunu (1989). Obě sondy se zásadním způsobem zasloužily o poznání Sluneční soustavy a dnes jsou nejvzdálenějšími objekty, které lidstvo vyslalo do Vesmíru. Podrobnější informace o těchto sondách naleznete v textech ke snímku 1.15.

Rosetta je kosmická sonda, která letí ke kometě 67P/Churyumov-Gerasimenko. Váží 3 tuny. Evropská kosmická agentura vypustila sondu v březnu v roce 2004. Sonda je nazvána podle kamene, který dovolil rozluštit egyptské hieroglyfy před dvěmi sty lety. Po 11 roků trvajícím letu dorazí sonda ke kometě v srpnu 2014. Rosetta bude obíhat kometu s 11 přístroji na palubě. Oběžná část sondy Rosetta má rozměry 2,8×2,1×2,0 metrů. Vědecké přístroje jsou namontovány v horní části oběžného modulu, podsystémy kometární sondy jsou vespod.

Na povrch spustí sonda modul „Philae“ (na snímku dole) s 10 přístroji, které budou zkoumat jádro komety. Bude to vůbec první výzkum jádra komety přístroji dopravenými na jeho povrch. Materiál komety je tvořen původní látkou z protoplanetárního disku a je starý asi 4,7 miliard roků.

New Horizons je americká sonda, která se vydala na cestu k Plutu v lednu 2006. Sonda byla vynesena raketou Atlas V551. Opuštění Zeměkoule bylo propočteno tak, aby sonda vyletěla směrem k Jupiteru, který ji urychlil na cestu k Plutu. Po průletu kolem Pluta a Charónu v roce 2015 bude mise pokračovat do oblasti dalších transneptunických těles v Kuiperově pásu. Sonda byla vypuštěna krátce předtím, než bylo Pluto vyjmuta ze seznamu planet. Na její palubě je popel objevitele Pluta Clyda Tombaughy. Sonda New Horizons opustí Sluneční soustavu s nejvyšší rychlostí ze všech dosud vyslaných sond. Po průletu kolem Pluta by mise měla pokračovat až do roku 2020.

6.8 Pás planetek

Pás planetek je oblast mezi drahami Marsu a Jupiteru ve vzdálenosti 2 až 3 astronomických jednotek od Slunce. Astronomové tam našli nejvíce planetek. První planetku objevil v roce 1801 Giuseppe Piazzi. Byla pojmenována po římské bohyni úrody Ceres. Planetka má průměr 974 kilometrů a oběhne Slunce jednou za 4,6 roku. Zpočátku byla považována za planetu. V pásu jsou statisíce planetek. Dochází k častým srážkám, rozbíjení na malé úlomky a drcení na jemný prach. V libračních centrech Jupiteru jsou shromážděné planetky Trojani a Řekové. Jsou to dvě rodiny planetek, seskupené Jupiterovou gravitací kolem vrcholu rovnostranného trojúhelníka, jehož druhé dva vrcholy tvoří Slunce a Jupiter.

Úlomky z pásu planetek jsou hlavním zdrojem meteoroidů, tělísek, které při vstupu do zemské atmosféry vyvolají světelný jev – meteor. Přesně řečeno sporadický meteor, neboť rojové meteory pocházejí z částic uvolněných z komet. Prach v pásu planetek je zdrojem intenzivního infračerveného záření.

Po objevu prvního Trojana – planetky Achilles v roce 1906 – byla většina pojmenována podle hrdinů z trojské války (1200 př. n. l.). V současné době (2013) je známo přes 5 000 Jupiterových Trojanů a Řeků. Jsou to výjimečně tmavá tělesa. V libračním centru L4, které předchází na dráze Jupiter o 60° (viděno od Slunce), bylo objeveno více těles než v libračním centru L5, které je 60° za Jupiterem.

6.9 Planetky

Planetkou nazýváme malé těleso o rozměrech maximálně stovek kilometrů na samostatné dráze kolem Slunce. Nejvíce planetek se nachází v tzv. Hlavním pásu mezi drahami Marsu a Jupiteru. Obdobná tělesa jsou i v Kuiperově pásu za drahou Neptunu. Někdy se říká těmto tělesům také asteroidy a větší z nich nazýváme trpasličí planety. Prohlédněte si několik planetek, jejichž snímky byly pořízeny kosmickými sondami zblízka. Většinou jde o nepravidelná tmavá tělesa posetá krátery. Některé z planetek mají své měsíce. Příkladem může být planetka Ida, jejíž fotografii spolu s měsícem Dactylem vidíte napravo nahoře. Na planetce Eros přistála na Valentinský svátek dne 12. února 2001 sonda NEAR.

Planetky jsou buď pozůstatky původních planetezimál, které se nezúčastnily budování planet, nebo výsledkem srážek velkých těles. Jejich velikosti jsou od stovek metrů do stovek kilometrů. Dnes astronomové znají dráhy kolem 150 tisíc planetek a dovedou určit jejich polohu do budoucnosti. Jejich poznatky mají základní důležitost pro bezpečnost pozemšťanů. Na snímku jsou tyto planetky:

KATAL. ČÍSLO	PLANETKA	ROZMĚR	HMOTNOST
951	Gaspra	18×10×9 km	2,5×10 ¹² tun
243	Ida	54×24×15 km	45×10 ¹² tun
měsíc Idy	Dactyl	1,6×1,4×1,2 km	2×10 ⁹ tun
253	Mathilde	66×48×46 km	10×10 ¹² tun
433	Eros	34×11×11 km	7×10 ¹² tun

6.10 Planetky – Vesta

Kosmická sonda Dawn pořídila tento snímek Vesty ze vzdálenosti 5 200 km. Napravo je trojice kráterů nazývaná Sněhulák. Asi byla vyhloubena tělesem, které se před dopadem na Vestu rozpadlo. Vesta je největší planetkou. Svědectví o častých srážkách planetek podává i povrch obří planetky Vesta. V pásu planetek se pohybuje i těleso větší než Vesta, a to Ceres, první objevený objekt v pásu planetek. Průměrem 975 km je největším tělesem v pásu planetek. Je však řazen mezi trpasličí planety.

Vesta byla objevena 29. března 1807 německým fyzikem a astronomem Heinrichem Wilhelmem Olbersem. Planetka měří 578×458 km a má hmotnost 2,67×10²⁰ kg. Její magnituda se mění od +5,4 do +8,5, a tak může být za jasné noci snadno pozorována i triedrem. Při několika příležitostech byla pozorována i prostým okem. Vesta se otočí kolem své osy jednou za 5,3 hodiny. Teplota na povrchu se mění v rozmezí −188 °C (85 K) až −18 °C (255 K).

6.11 Srážky planetek

V meziplanetárním prostoru dochází často ke srážkám planetek. Výsledek srážky závisí na prudkosti (tj. rychlosti) srážky, na hmotnosti srážejících se planetek a jejich složení. Vyražené kusy se pohybují kolem Slunce jako meteoroidy. Při vletu do atmosféry Země takový meteoroid zazáří jako sporadický neboli nerojový meteor. Meteoroidy jsou do meziplanetárního prostoru srážkami planetek stále doplňovány. Pokud je planetka gravitačně diferencovaná, oddělují se z povrchu ledové meteoroidy a ze středové části kamenné a železné meteoroidy. Jiným zdrojem meziplanetárních částic jsou prachové ohony komet.

Dříve byly meteority považovány za posly z nebe a leckde uctívány. Tak po pádu meteoritu v roce 861 v Nogatě (Japonsko) byl meteorit uchováván v šintoistickém chrámu. V roce objevení Ameriky (1492) spadl meteorit v Ensisheimu (Francie) a od té doby byl uchováván v kostele. V muslimské posvátné Kábě je uchováván

po mnoho století nejznámější meteorit na světě. Meteoritový déšť, při němž spadlo v roce 1803 na L'Aigle ve Francii přes 2 000 meteoritů, podstatně přispěl k jejich poznání. Jean Baptiste Biot předložil Francouzské akademii věd výsledky vědeckého výzkumu těchto meteoritů, ve kterém dokázal jejich mimozemský původ. Meteority se pak stěhovaly z kostelů do muzejních mineralogických sbírek. Velkou sbírku meteoritů lze shlédnout v Národním muzeu v Praze.

6.12 Meteority

Meteorit je kus železa či kamene, který se srazil se Zemí, nestačil shořet při průletu atmosférou a dopadl na zem. Asi čtyři pětiny meteoritů jsou kamenné a jednu pětinu tvoří železné meteority s větším množstvím niklu. Většina železných meteoritů má na vyleštěném výbrusu tzv. Widmanstättenovy obrazce. Vidíme je uprostřed nahoře. Podarilo se najít i meteority, které byly vyraženy z Měsíce, Marsu, nebo Vesty a dopadly na povrch Země. Jen meteoroidy dostatečně velké, tj. o hmotnosti mnoha tun, z části přežijí průchod atmosférou a stanou se meteoritem. Ztráty hmoty ablací při průchodu atmosférou jsou velmi závislé na rychlosti, s jakou meteoroidy vstupují do atmosféry. Například z původní hmotnosti meteoroidu se vstupní rychlostí 12 km s^{-1} dopadne na povrch asi 90 %. Při rychlosti 20 km s^{-1} zůstane z původní hmotnosti jenom 1 % mateřského meteoroidu.

Železný meteorit (*siderit*; z řeckého *sideros* – železo) je meteorit složený převážně ze železa s příměsí niklu, kobaltu a stopami jiných prvků. Množství niklu je různé, obvykle mezi 5–20 %. Byly však nalezeny železné meteority, které obsahují až 60 % niklu. Na druhé straně není znám žádný železný meteorit, který by obsahoval méně než 4 % niklu. Kobaltu bývá obvykle kolem 0,6 %. Množství stopových minerálů (troilit FeS , chromit FeCr_2O_4 , schreibersit $(\text{Fe}, \text{Ni})_3\text{P}$, kohenit Fe_3C) je nižší než půl promile. Na vyleštěném výbrusu železné meteority ukazují zpravidla Widmanstättenovy obrazce. Jsou však meteority bez Widmanstättenových obrazů. Charakteristickým znakem jejich mimozemského původu je přítomnost niklu a kobaltu. Přírodní železo může také někdy obsahovat nikl, avšak velmi málo, méně než 3 %.

Kamenný meteorit (*aerolit*, meteorický kámen) je meteorit, který se svým složením podobá zemské kůře. Tyto meteority jsou složeny především z křemičitanů (pyroxenů a olivínu), k nimž je často přimíšeno železo a nikl. Podle přítomnosti chondrulí se dělí na chondrity a achondrity. Zatímco železné meteority jsou nápadné na první pohled, kamenné meteority vypadají jako obyčejný kámen, a proto snadno uniknou pozornosti. V nevýhodných klimatických podmínkách snadno zvětrávají. U nás je nejznámějším meteoritem kamenný meteorit Příbram. Největším známým kamenným meteoritem je chondrit nalezený v roce 1976 v Jilin (Čína). Váží 1,8 tun a je uložen v Jilin.

6.13 Meteority na Zemi

Meteoroid je malé pevné těleso, které se nachází v meziplanetárním prostoru. Meteoroidy obíhají kolem Slunce a při srážce se Zemí se projeví jako světelný jev – meteor. Jasnější meteory nazýváme bolidy. Příliš velký meteoroid se nestačí vypařit v atmosféře a dopadne na povrch Země jako meteorit, kámen nebo železo obsahující nikl. Vozítko na Marsu našlo železný meteorit i na povrchu našeho vnějšího planetárního souseda. Takže: meteoroid je v meziplanetárním prostoru, meteor je optický jev provázející vpád meteoroidu do atmosféry a meteorit je zbytek, který se nevypařil při průletu atmosférou.

Do atmosféry Země vletí každý den velký počet meteoroidů. Jejich hmotnost dohromady je několik set tun. Téměř všechny jsou velmi malé, jen několik tisícín gramu. Jen ty největší dopadnou na povrch Země jako meteorit. Největší známý meteorit se nazývá Hoba, je uložen v Namibii a váží 60 tun.

Pád meteoritu není vzácnou událostí. Ročně spadne na pevnou část Země několik set meteoritů těžších než 1 kg. Z nich je však ihned po dopadu sebráno pouze 5 až 10. Více je nalezeno takových meteoritů, jejichž pád nebyl pozorován. Do poloviny 70. let 20. století bylo celkem nalezeno přes 2 000 meteoritů. Pozdější organizované hledání meteoritů obohatilo světové sbírky o více než 10 000 kusů. Téměř každý rok jsou organizovány výpravy do Antarktidy, kde lze poměrně snadno na čistém ledu objevit meteority, které tam spadly před tisíci až statisíci lety. Jiné výpravy směřují do pouštních oblastí (Sahara v severní Africe, Nullarbor Plain v jihozápadní Austrálii, jihozápad USA aj.).

6.14 Zodiakální světlo

Podivná záře na fotografii je tzv. zvířetníkové neboli zodiakální světlo. Bylo vyfotografováno krátce před východem Slunce na Evropské jižní observatoři na Mt. Paranal v Chile v červenci 2007. Zvířetníkové světlo je slabý světelný kužel podél ekliptiky, tedy ve zvířetníkových souhvězdích. Lze ho pozorovat po západu Slunce na jaře a před východem Slunce na podzim, kdy se ekliptika tyčí vysoko nad obzor. Spektrum tohoto světla dokazuje, že je to sluneční záření rozptýlené na meziplanetární hmotě, jejíž hlavní složkou je prach složený z částic velikých 0,001 až 0,1 mm.

Pokud je ekliptika skloněna blízko k obzoru, kužel zodiakálního světla zaniká v soumrakové obloze. Za bezměsíčních nocí lze vidět jeho pokračování jako úzký slabý zodiakální most, který podél ekliptiky obepíná celou noční oblohu. V místě protislunce (tj. v bodu na ekliptice protilehlému Slunci) je most rozšířen a jasnější. Toto oválné zjasnění v místě protislunce se nazývá protisvit. Je to osvětlený ohon magne-

tosféry Země. Výpočty ukazují, že celková hmotnost meziplanetárního prachu, který je zodpovědný za zodiakální světlo, je asi 5×10^{16} kg.

6.15 Trpasličí planety

Po objevu trpasličí planety Eris, která byla větší než Pluto, se ukázalo, že takových těles jsou pravděpodobně v Kuiperově pásu desítky. Proto byla na XXVI. valném shromáždění Mezinárodní astronomické unie, které se konalo 24. srpna 2006 v Praze, vytvořena nová skupina těles Sluneční soustavy, tzv. trpasličí planety. Zatímco Pluto byl „degradován“ z kategorie planet mezi trpasličí planety, největší planetka Ceres v pásu planetek naopak „povýšila“ do této nové kategorie.

Trpasličí planeta je objekt Sluneční soustavy, který je podobný planetě a musí splňovat následující kritéria: 1) obíhá okolo Slunce, 2) má dostatečnou hmotnost, aby jeho gravitace upravila tvar tělesa do kulového tvaru, 3) během svého vývoje nepročistil gravitačním působením okolí své dráhy natolik, že by se tam stal dominantním; 4) není družicí jiného tělesa. Tato definice, která byla přijata v roce 2006 na zasedání Mezinárodní astronomické unie v Praze, se od definice planety liší ve třetím bodě.

Ceres je trpasličí planeta, která byla objevena první den 19. století (1. 1. 1801) jako první planetka vůbec. Objevil ji Giuseppe Piazzi v místě, kde měla být podle Bodeovy řady velká planeta (2,8 AU od Slunce). Její průměr je 1 000 km a její hmotnost $2,3 \times 10^{21}$ kg tvoří téměř polovinu celkové hmotnosti všech planetek dohromady. Její povrch je tmavý (albedo 0,05) a spektrem se podobá uhlíkatým chondritům. Ceres nebyla nikdy rozbita srážkou velkého tělesa. Zatímco ostatní členové skupiny planetek jsou zřejmě pozůstatky jednoho mateřského tělesa, Ceres se do skupiny dostala dodatečně a rodově s ní nesouvisí. Původní název byl *Ceres Ferninandea*, na počest sicilského krále Ferdinanda IV. Ceres byla římská bohyně úrody, dcera Rhei a Saturna, sestra Jupitera.

6.16 Pluto

Pluto byl do roku 2006 řazen mezi planety. Po objevu většího tělesa v Kuiperově pásu byl přeřazen mezi tzv. trpasličí planety. Pluto objevil 18. února 1930 Clyde Tombaugh na Lowellově observatoři v Arizoně. V roce 1978 byl objeven měsíc Charon, v roce 2005 byly za pomoci Hubbleova dalekohledu objeveny další dva měsíce Nix a Hydra. V roce 2012 se počet měsíců rozrostl o další dvojici, která dosud nemá jména. K Plutu v roce 2015 dolétne sonda New Horizons. Jako první nahlédne do mrazivé pustiny těles Kuiperova pásu. Tato sonda má nejvyšší rychlost ze všech dosud vypuštěných sond.

Pluto je trpasličí planeta, kterou při hledání planety X objevil 18. února 1930 Clyde Tombaugh na Lowellově observatoři v Arizoně. Planeta, která je daleko od Slunce, ve věčné temnotě, byla nazvána podle boha podsvětí Plutona (řecky Hades). Symbol „PL“, kterým se planeta označuje, jsou zároveň iniciály Percivala Lowella, který k objevení planety za Neptunem vybudoval hvězdárnu. Pluto je v rezonanci 3:2 s Neptunem, což znamená, že oběžná doba Pluta je přesně 1,5× delší než oběžná doba Neptunu. Pluto je menší než sedm měsíců Sluneční soustavy (Měsíc, Jupiterovy měsíce Io, Europa, Ganymed, Callisto, Saturnův Titan a Neptunův Triton). Pro velkou vzdálenost od Slunce i od Země se nám jeví jako hvězdička 14. magnitudy. Z Pluta k nám dopadá asi 2 000× méně odraženého světla než z nejslabší hvězdy, kterou pouhé oko může vidět. Naopak od Pluta bychom viděli Slunce jako velmi jasnou hvězdu, z níž by sice na povrch planety dopadalo asi 300× více světla, než dostáváme od úplňku, avšak Slunce už bychom neviděli jako disk.

K poznání Pluta značně přispěl jeho měsíc Charon. Byl objeven v roce 1978, těsně před tím, než rovina jeho oběžné dráhy procházela vnitřní planetární soustavou. Z křivek jasnosti, získaných při přechodech a zákrytech Charona, bylo možno odvodit průměry obou těles a sestavit hrubou mapu světlých a tmavých oblastí na jejich povrchu.

Ze zákrytů hvězd Plutem bylo zjištěno, že má atmosféru. Je velice řídká, takže atmosférický tlak na povrchu je pouze několik mikrobarů. Je pravděpodobně složena z dusíku, oxidu uhelnatého a metanu. Ze spektra dusíkového plynu bylo možno určit teplotu $-230\text{ }^{\circ}\text{C}$ (43 K) při povrchu.

6.17 Komety

Velká hrouda špinavého sněhu nebo ledová koule bláta – tak lze jednoduše popsat komety, malé členy Sluneční soustavy. Původ jejich jader je většinou v Oortově oblaku. Jejich jádro má velikost od 1 km do 40 km. Při přiblížení ke Slunci vytvoří těkající plyny tzv. kómu neboli hlavu komety a velmi dlouhý řídký ohon. Nalevo je ledové jádro komety Wild 2. Snímek pořídila sonda Stardust ze vzdálenosti 500 kilometrů. Průměr tohoto téměř kulového ledovce je 5 kilometrů. Četné krátery svědčí o častém bombardování meteoroidy. Napravo je největší kometa minulého století Hale-Bopp. Modrý ohon míří od Slunce a sestává z iontů vytlačených slunečním zářením z hlavy komety. Zakřivený bílý ohon je z prachových zrn uvolněných z jádra komety.

Komety se v blízkosti Slunce plně vyvinou z ledového jádra. Jádro je špinavý ledovec, velikosti několika kilometrů až desítek kilometrů. V nitru ledového jádra je někdy jádérko – jeden nebo více balvanů. Záření Slunce zahřívá jádro, jeho ledy sublimují

a vytvářejí kómu – atmosféru komety. Jádru s kómou tvoří hlavu komety. Sluneční záření vyfukuje z kómy ohon. Jeden je přímý a sestává z jednoduchých molekul plynů složených z nejhodnějších prvků ve Vesmíru H, C, N, O. Nejčastější je H_2O (voda), CO (oxid uhelnatý) a CN (kyanogen). Jedovatost CO a CN, které byly objeveny ve spektru komet, jejichž ohonem procházela Země (například Halleyovy komety v roce 1910) naháněla lidem hrůzu a způsobila paniku. Ohon je však velmi řídký a molekuly v ohonu jsou navíc ionizovány ultrafialovým zářením Slunce a zachytávány magnetosférou Země, která tvoří přirozenou ochranu.

Druhý ohon, zakřivený, je z prachových zrněk, které byly zamrzlé v ledu. Ten odráží sluneční světlo a je proto bílý (viz snímek komety Hale-Bopp). Celá viditelná kometa je zahalena rozsáhlým vodíkovým obalem, který vysílá ultrafialovou čáru L alfa (Lymanova alfa čára), takže je ze Země nepozorovatelný.

Průchod Země prachovým ohonem některé komety nebo dráhou, na které jsou zbytky rozpadlé komety, vyvolá krásný úkaz na obloze – meteorický roj nebo dokonce meteorický déšť. Příkladem jsou srpnové Perseidy („Slzičky svatého Vavřince“) nebo listopadové Leonidy.

6.18 Halleyova kometa

Halleyova kometa je nejznámější kometou vůbec. Dostává se až za Neptun, tedy do Kuiperova pásu a v perihéliu je Slunci blíže než Venuše. Ke Slunci se vrací po 76 letech. Edmond Halley, podle kterého je kometa pojmenovaná, předpověděl za pomoci Newtonových zákonů, že jasné komety pozorované v letech 1531, 1607 a 1682 jsou jediným tělesem, které se znovu objeví roku 1758. Kometa se skutečně navrátila o vánocích 1758. Halley se jí však nedočkal, neboť zemřel v roce 1742. Poslední dva návraty Halleyovy komety nastaly v letech 1910 a 1986. Příště se kometa do blízkosti Slunce vrátí v roce 2061.

Komety s oběžnou dobou kratší než 200 roků jsou krátkoperiodické a pocházejí z Kuiperova pásu. Dlouhoperiodické komety jsou původem až z Oortova oblaku komet.

Halleyova kometa je periodická kometa s dobou návratu přibližně 76 let. Její návrat se nedá přesně předpovědět, neboť velké planety způsobují poruchy její dráhy. Ukázalo se, že celá řada historických záznamů o kometách se vztahuje k Halleyově kometě. Nejblíže kolem Slunce procházela roku 11 př. n. l. a 66 n. l. Rozhodně nemohla být onou kometou, která zářila při Ježíšově narození. Od zaznamenaného pozorování v roce 239 př. n. l. do posledního návratu v roce 1986 její oběžná doba kolísala v rozmezí od 74,4 do 79,2 roku. Proto i předpověď příštího návratu na rok 2061 se nemusí přesně splnit.

Halleyova kometa je výjimečná, pokud jde o pojmenování. Zatímco podle zvyklostí kometa nese jméno svých objevitelů (Mrkos, Kresák, Kohoutek, Pajdušáková, Hyakutake...), v tomto případě to neplatí. Edmond Halley kometu neobjevil, „pouze“ předpověděl její návrat.

6.19 Jádru Halleyovy komety

Nalevo je snímek jádra Halleyovy komety pořízený evropskou sondou Giotto ze vzdálenosti 600 kilometrů. Kolem jádra komety sonda proletěla 14. března 1986. Napravo jsou vysvětlivky různých útvarů. Povrch komety je ve skutečnosti černý, jak je patrné na levém snímku. Led pod černým povrchem se snadno zahřeje, sublimuje a v zahřátém místě dojde k výronu látky. Přitom se uvolní plyny a pevné částičky, které do komety zamrzly z protoplanetárního disku asi před 4,7 miliardami roků.

Edmond Halley (1656–1742) byl anglický astronom, který vybudoval první observatoř na jižní polokouli (ostrov Sv. Heleny). Svou první práci o slunečních skvrnách publikoval již jako student Oxfordu. Byl mecenášem vydání Newtonových Principií (vyšly na jeho náklady). Představoval si, že Země je dutá a uvnitř má tři rotující sloupky zodpovědné za existenci magnetického pole. Připouštěl, že vnitřní skořápky mohou být obydlené a že polární záře jsou svitem z nitra Země, který uniká polárními otvory. Zjistil, že parametry drah komet z let 1456, 1531 a 1607 jsou si velmi podobné. Usoudil, že jde o jedinou kometu a předpověděl její návrat v roce 1758. Zemřel ale před jejím přiletem. Návrat Halleyovy komety v roce 1758 byl velkým triumfem Newtonovy mechaniky.

6.20 Jádra komet – různé tvary

Jádra komet mají velikost od přibližně jednoho kilometru do 40 kilometrů. Mají nejroztodivnější tvary a jejich soudržnost není příliš velká. Proto se komety často rozpadají. Jádra komet jsou obalena černou vrstvou uhlíku a organických molekul. V prachových zrnech uvolněných z komet byly nalezeny složité organické molekuly. Zajímavá je fotografie jádra komety Hartley. Z prostředního úzkého pásu unikají molekuly vody. Z pravého konce tryskají proudy oxidu uhličitého a vylamují z jádra sněhovou vánici. Jde o kousky vodního ledu od jemných vloček až po kroupy velikosti pingpongového míčku. Úplně napravo je patrný rozpad jádra komety Linear C/1999 S4.

Jádru komety je drženo pohromadě jednak vlastní slabou gravitací, jednak elektrickou přitažlivostí mezi sousedními molekulami. Srážkou s jiným tělesem (velkým meteoroidem či planetkou) může být kometa rozdrobena. K jejímu rozpadu (frag-

mentaci) může také dojít působením slapových sil. V posledních dvou stoletích došlo k mnoha pozorovaným rozpadům komet. Některé způsobil Jupiter (například rozpad komety Brooks 2, která se k Jupiteru přiblížila v roce 1886 na vzdálenost 72 000 km). Dalším dobře dokumentovaným příkladem je rozpad komety Shoemaker-Levy 9 v roce 1994 (na více než 20 úlomků). Také komety, jejichž přísluní je příliš blízko ke Slunci, se rozpadnou (například Kreutzova rodina komet).

6.21 Model jádra komety Hale-Bopp

Kometa Hale-Bopp se stala nejpozorovanější a nejfotografovanější kometou 20. století. Dne 23. července 1995 ji v souhvězdí Střelce našel astronom Alan Hale v Novém Mexiku za pomoci 40cm zrcadlového dalekohledu. Nezávisle na něm ji objevil astronom-amatér Thomas Bopp z Arizony. V době objevu byla vzdálena 1 miliardu km (tedy daleko za dráhou Jupiteru). Byla přitom 200× jasnější než Halleyova kometa ve stejné vzdálenosti. Její jádro je totiž neobyčejně veliké – na snímcích z Hubbleova dalekohledu má průměr kolem 40 km. Jádro Halleyovy komety má průměr jen 16 km.

Výtrysky z komety ve tvaru šroubovic svědčily o rotaci jádra komety. Podle pozorování na observatoři Pic du Midi se jádro komety otočí jednou za 11,4 hodiny. Předcházející průchod perihéliem byl před 4 200 lety a naši potomci ji opět uvidí za 2 380 let. Na snímcích rotujícího jádra je vidět, že povrch ledovce je černý jak uhlí. Je to uhlík, který zůstává na povrchu jádra. V kometách je velké množství organických (uhlovodíkových) molekul. To dokázal například rozbor prachových částic z Halleyovy komety v roce 1986.

6.22 Udělejte si svou kometu

Z infračerveného spektra pořízeného Spitzerovým dalekohledem určili astronomové složení nitra komety Tempel 1. Stejně pozemské materiály ve stejném poměru uložili do misek. Znázornili tak nejen materiál komet, ale i jeho poměrné množství v kometě.

Vodní led je v černé misce vlevo nahoře; suchý led neboli oxid uhličitý je v misce vpravo nahoře. Na odměrkách odleva doprava jsou připraveny olivín; jílový minerál smektit; polycyklické aromatické uhlovodíky; hlinitan hořečnatý neboli spinel a železo. Volně ložené vpředu odleva naleznete křemičitan hořečnatý neboli enstatit; uhličitan vápenato-hořečnatý neboli dolomit a sulfid železa neboli markazit. Smísením všech ingrediencí získáte stejnou látku, jaká se nachází v jádře komet a jaká byla v protoplanetárním disku, z něhož před 4,7 miliardami roků vznikala naše planetární soustava. Kometární jádra tedy nejsou ničím jiným než špinavým ledovcem.

Komety jsou malí členové Sluneční soustavy. Těšily se od nepaměti neobyčejné pozornosti lidí. Prý přinášejí neštěstí, mor, choleru, války a zkázu. Objevení komety s dlouhým ohonem na noční obloze nahánělo lidem hrůzu. Dnes bezpečně víme, že jsou to zcela neškodná tělesa; alespoň pokud nenarazí do naší Země. Žádné z těles Sluneční soustavy nepodléhá tak nápadným změnám jako komety. Ve velkých vzdálenostech od Slunce se jeví jako bod podobný hvězdě. Je to pouhé jádro – to jest veliký kus špinavého ledu. Řekli bychom špinavý ledovec. Je veliký od několika kilometrů do maximálně čtyřiceti kilometrů. Jestliže se přiblíží ke Slunci na vzdálenost menší než pět astronomických jednotek, povrch jádra se slunečním zářením rozehřívá. (Připomeňme si, že astronomická jednotka je vzdálenost Země od Slunce, to jest 150 milionů kilometrů). Špinavý ledový povrch se zahřívá a uvolňují se plyny i prach. Každou sekundu se uvolní několik tun. Uvolněné plyny utvoří velký plynný obal kolem špinavého ledovce. Ten ledovec nazýváme jádro komety a plynnému obalu říkáme *kóma* (řecké slovo pro „vlasý“) Čím více se kometa přiblíží ke Slunci, tím rychleji se pohybuje. Když se přiblíží na vzdálenost 1,5 astronomické jednotky (což je 220 milionů kilometrů), sluneční záření vytlačuje z kómy plyny i prach. Tvoří se tak ohon komety, dlouhý miliony kilometrů. Komety jsou mezi planetami jen dočasní hosté. Přicházejí z ohromného oblaku komet. Tento oblak se nazývá Oortův oblak komet. Lépe řečeno Oortův oblak špinavých ledovců. Prostírá se na periferii Sluneční soustavy ve všech směrech, až do vzdáleností necelé dva světelné roky od Slunce. To už je téměř polovina vzdálenosti k nejbližší hvězdě. Tam se pomalu (pouze několik centimetrů nebo decimetrů za sekundu) pohybují špinavé ledovce. Je jich tam mnoho, celkem stovky miliard. Žádný pozemský dalekohled je však neuvidí, neboť jsou tmavé, malé a příliš daleko od Slunce. Oortův oblak je mrazák, z něhož občas některé jádro zabloudí mezi planety. Když se přiblíží blízko Slunci, udělá lidem nádhernou podívanou. Pověřivé lidi kometa vystraší. Poté, co kometa proběhla rychle kolem Slunce, vydá se na zpáteční cestu do vzdáleného oblaku komet. Nejdříve ztrácí svůj ohon i kómu. Potom opustí planetární soustavu a vrátí se do mrazivého prostoru k ostatním nespočetným špinavým ledovcům. Vrací se tam bez kómy a bez ohonu a o několik milionů tun ledu ochuzena – o led na povrchu, který ztratila, když procházela blízko Slunce. Možná, že se někdy za mnoho tisíciletí opět vrátí ke Slunci.

6.23 Vznik Slunce

Před přibližně sedmi miliardami let ve Vesmíru explodovala supernova. Při svém zániku tato obří hvězda rozmetala do okolí materiál obohacený o prvky, které postupně vznikaly v jejím nitru. Tyto prvky se staly stavebními kameny budoucí Sluneční soustavy. V prostoru mezi hvězdami se atomy vytvořené mateřskou supernovou shlukovaly do zrn z uhlíku, křemíku a železa. Na těchto zrnech se zachytávaly atomy vytvořené v mateřské supernově

a spojovaly se do molekul. Shlukly se do oblaku nazývaného globule. Sluneční globule byla držena pohromadě vlastní gravitací a měla zhruba 4 světelné roky v průměru. Vývoj od globule k dospělému Slunci trval přibližně deset milionů roků. V té době se globule smršťovala vlastní gravitací a zahřívala se. Do Protoslunce ve středu globule se nahustila velká většina jejích plynů a prachu. Jen malý zbytek obíhal kolem Protoslunce ve tvaru plochého protoplanetárního disku (proplydu), ze kterého se zrodily planety a ostatní tělesa Sluneční soustavy.

Jak vznikla Sluneční soustava?

Oblak mezihvězdných plynů a prachu, z něhož měla vzniknout Sluneční soustava, se nazývá sluneční mlhovina. Její velikost se odhaduje na několik světelných roků. Byla velmi chladná – asi minus 265 °C. Sluneční mlhovina (sluneční globule) se před pěti miliardami roků pomalu otáčela a smršťovala pod vlastní tíhou. Všechny její částice se navzájem přitahovaly gravitační silou. Jinými slovy: padaly k těžišti sluneční mlhoviny. Ta se v důsledku rotace zplošťovala a nabývala pravidelného tvaru. Takové pravidelné globule se nazývají *mezihvězdná vejce*. Dalším smršťováním mezihvězdného vejce vznikala v jeho středu velká červeně žhnoucí plynná koule – Protoslunce. Mělo povrchovou teplotu tři tisíce stupňů a jeho poloměr byl značně větší, než má dnešní Slunce. Vnější části oblaku kolem Protoslunce se zploštily a vytvořily disk – tzv. protoplanetární disk. Sahal až do vzdálenosti padesáti astronomických jednotek od Protoslunce. Podobných protoplanetárních disků kolem rodících se hvězd (tedy protohvězd) známe i dnes mnoho. Nejen ve Velké mlhovině v Orionu, ale i jinde. Lze dokázat, že od Protoslunce vanul velmi rychlý vítr – spíše vichřice. Byl to proud nejrůznějších plynů o rychlosti tisíců kilometrů za sekundu, který z vnitřního disku vytlačil lehké plyny: především nejhojnější vodík a hélium. Plyny byly vymeteny z okolí Slunce do vzdálenosti sedmi set milionů kilometrů, takže ve vnitřním disku zůstal jen prach. Z něho pak vznikaly před čtyřmi a půl miliardami roků kamenné planety: Merkur, Venuše, Země a Mars. Ve vnějších částech disku plyn nejenže zůstal s prachem, ale byly tam ještě navíc přiváty plyny z okolí Slunce. Tam pak vznikaly obří plynné planety (Jupiter, Saturn, Uran a Neptun) složené především z vodíku, hélia a ledu.

Globule jsou hustá prachová molekulární oblaka. Spektrální rozborů ukazují, že mají velmi bohaté chemické složení. Globule jsou obrovskou zásobárnou energie, nalezneme v ní tyto druhy:

1. *Gravitační energie*, která je dána tím, že se každá částice (atom, molekula, prachové zrno) globule přitahovala se všemi ostatními.
2. *Atomová (jaderná) energie*, která je dvojí povahy. Prvním zdrojem energie je vodík schopný fúze (vodík v globuli byl nejhojnějším prvkem – a z něho „žije“

Slunce dosud). Druhým zdrojem jsou těžší a těžké prvky (včetně radioaktivních) vytvořené již dříve při výbuchu supernovy. Ty podléhají samovolnému radioaktivnímu rozpadu. Využíváme je i v našich atomových elektrárnách, kde je jejich štěpení řízené.

3. *Kinetická energie*, která se do globule dostala z mezihvězdného větru, z výbuchů supernov a z jejich prudce se rozpínajících zbytků. Proto globule rotovala a materiál uvnitř tvořil víry různé velikosti.
4. *Magnetická energie*, neboť mezihvězdný prostor je řídce zaplněn magnetickými siločarami. Smršťující se globule strhávala siločáry a zvětšovala tak magnetické pole. Slunce podědilo zesílené magnetické pole globule.

6.24 Gravitační diferenciace

Před 4,5 miliardami let došlo ke gravitační diferenciaci planet, trpasličích planet a velkých planetek. Gravitace v rozžhavených planetách, velkých planetkách a měsících usadila těžké atomy, jako jsou například železo a nikl, do jejich středu. Při srážkách planetek v pásu mezi Marsem a Jupiterem vznikají úlomky – buď kamenné, které pocházejí z hořejších vrstev planetky, nebo železné, které pocházejí z hlubokých vrstev a jádra. Gravitační diferenciace v raných fázích vývoje Sluneční soustavy měla za následek rozdělení meteoritů na kamenné a železné.

Kdy vznikla Sluneční soustava?

Před čtyřmi a půl miliardami roků. Jinými slovy před čtyřmi tisíci pěti sty miliony roků. Jak to víme? Dozvěděli jsme se to z radioaktivních prvků v pevných látkách. Poločas rozpadu je znám pro všechny radioaktivní prvky a z jejich poměru v hornině se určí její stáří. Užívají se například izotopy olova 206 a 207, které vznikají rozpadem uranu 238 a 235. Nejstarší horniny na Zemi byly objeveny v Grónsku. Podle radioaktivní metody jsou 3,8 až 3,9 miliard roků staré. To znamená, že Země vznikla před více než 4 miliardami roků. Nic staršího se už asi na ní nenajde, neboť pevninské kry se zanořují do nitra a teplem se roztavují. Nová kůra, vytvářející dno moří, je mnohem mladší. Tak například stáří dna Atlantického oceánu je od nuly roků – u středoatlantické jizvy – až po 180 milionů roků u břehů Ameriky, Afriky a Evropy. Z doby před více než 4 miliardami roků se nezachovalo žádné kamenné svědectví o tom, jak to zde na Zemi vypadalo. Je to černý pravěk Země. Víme však, například ze zkamenělého Měsíce, že právě doba před více než 4 miliardami roků byla velmi pohnutá, nejen pro Měsíc, ale i pro Zemi a jiná tělesa Sluneční soustavy. Všechny planetezimály (maličké planetky) se totiž na tvorbu planet a jejich měsíců před 4,5 miliardami roků nevypotřebovaly. Ty planetezimály, které zůstaly, dodateč-

ně (v období před 4 až 4,5 miliardami roků) dopadaly na povrch planet a jejich měsíců. Po dopadech zůstaly krátery jako kamenní svědkové intenzivního bombardování. Ani Země nemohla být bombardování ušetřena. Avšak její krátery byly dávno vymazány z jejího povrchu.

Kde vznikla Sluneční soustava?

V posledních miliardách roků hvězdy vznikaly a dodnes vznikají v disku naší Galaxie. To znamená blízko roviny Mléčné dráhy. Tam jsou soustředěny plyny a prach, především do spirálních ramen. Naše Sluneční soustava vznikla ve třetím spirálním ramenu vzdáleném přibližně třicet tisíc světelných roků od středu naší Galaxie. Toto spirální rameno nazýváme *Orionovo rameno*. Jsme vysunuti k jeho okraji, k tomu, který je blíže středu Galaxie. Proto máme krásný výhled na rameno druhé – bližší ke středu Galaxie – a nazývané *rameno Strělce*. To je vzdáleno od nás deset tisíc světelných roků a jen dvacet tisíc světelných roků od středu Galaxie.

Z čeho vznikla Sluneční soustava?

Stavebním materiálem pro Sluneční soustavu byl plyn a prach v chladné mateřské mlhovině. Není to rozhodně prach, jaký smetáme doma v pokoji (tedy jemné kousky špíny, látky, bláta z venku, šupinky kůže atd.). Mezihvězdné částice jsou mnohem menší, zhruba tisícinu milimetru. Mají nepravidelný tvar a některé připomínají kouřové částice. Vznikly v atmosférách starých hvězd, především chladných červených hvězd bohatých na uhlík. Jsou podobné černým částicím v kouři svíčky. Jiné částice byly v mateřské mlhovině tvořeny křemičitany a jinými látkami. Velké množství mikroskopických částic je z polycyklických aromatických uhlovodíků, které se hojně vyskytují v mezihvězdném prachu v infračerveném záření. Avšak většina částíček je z ledů – ledu vodního, metanového, čpavkového, kyanovodíkového. Na částicích mezihvězdného prachu se setkávají atomy mezihvězdných plynů, reagují tam spolu a tvoří složité organické molekuly. Těch je známo více než sto druhů. Některé z nich jsou důležité pro život (například aminokyseliny, lipidy). Sluneční soustava vznikala v mlhovině bohaté na molekuly, v tzv. molekulárním oblaku. V molekulárních oblacích se rodily a rodí všechny hvězdy a jejich planetární soustavy dodnes (například ve Velké mlhovině v Orionu). Není to s podivem, že složité organické molekuly důležité pro život byly vytvořeny dříve, než vznikla Země – nositelka života?

6.25 Meteority a prach – svědkové dávných časů

Výzkum meteoritů je nesmírně důležitý. Přináší k nám pralátku, z které byla budována Sluneční soustava. Jedním z nejzajímavějších je meteorit Allende, který spadnul v západ-

ním Mexiku v roce 1969. Na první pohled nevzhledný kámen nám v řezu odhalí zrna z původního protoplanetárního disku. Z chemického rozboru se ukázalo, že meteorit v sobě obsahuje řadu aminokyselin. Základní stavební kameny života tak byly přítomny již v protoplanetárním disku. Organické látky tedy vznikají i v mezihvězdném prostoru. Velké množství rozmanitých organických molekul bylo nalezeno i v meteoritu Murchison z Austrálie. Mimo jiné adenin a guanin, základní stavební jednotky DNA. Na poslední fotografii je snímek částice meziplanetárního prachu, která byla zachycena sondou Stardust a dopravena zpět na Zemi..

Meteorit Allende je druh uhlíkatého chondritu, jsou v něm tzv. chondry (bílé kousky). Meteorit Allende spadl v únoru 1969 u vesničky Allende ve státě Chihuahua v Mexiku. Jako v řadě jiných případů, i tento meteorit před dopadem explodoval na mnoho úlomků, které padaly v oblasti asi 150 km² jako meteorický déšť. Meteorit měl před explozí hmotnost několika tun. Po meteorickém dešti byly sebrány více než 2 tuny úlomků a další úlomky jsou stále nacházeny. Stáří meteoritu je přibližně 4,7 miliard roků. Obsahuje řadu aminokyselin – základních stavebních součástí bílkovin. Aminokyseliny jsou kyseliny, které kromě karboxylové skupiny COOH obsahují ještě aminovou skupinu NH₂.

Meteorit Murchison je uhlíkatý meteorit z Austrálie z roku 1969. Při letu se rozpadl se na řadu kousků, z nichž největší nalezený o hmotnosti 680 g prorazil střechu a spadl do sena. Meteorit Murchison byl pečlivě zkoumán různými odborníky. Došli k závěru, že je starý 4,6 miliard roků a že je v něm obsaženo velké množství rozmanitých organických molekul. Jsou to molekuly, které vznikly na zrcích mateřské globule, z níž se zrodila Sluneční soustava.

Částice meziplanetárního prachu byla zachycena sondou Stardust. Snímek je z elektronového mikroskopu. Je to zrnko uvolněné z komety? Nebo památka na dávný protoplanetární disk, z něhož vznikla Sluneční soustava? Porožita materiálu a jeho minerální složení napovídá, že pochází z jádra komety. Porézní materiál, jaký je v meteoritických chondrulech, obsahuje především křemičitany olivin a pyroxen. Zrna jsou obvykle seskupením velkého počtu mikrometeorických zrníček. Obsahují navíc těžkovatelná zrníčka vápníku, hliníku, železa a niklu – ta patří k nejstarším dochovaným z protoplanetárního disku, z něhož vznikla planetární soustava.

6.26 Voda u rodícího se Slunce

Voda, ve které se koupeme a kterou pijeme, vznikla asi před pěti miliardami roků, v období, kdy se rodilo Slunce. Molekula vody byla složena z atomu kyslíku vytvořeného obří mateřskou supernovou a ze dvou atomů vodíku – nejstarších atomů vůbec. Potřebnou

energii dodal výtrysk z Protoslunce. Stejným způsobem vzniká voda u jiných rodičích se hvězd, například ve Velké mlhovině v Orionu. Na Zemi přinesly vodu komety asi před 4,5 miliardami roků, tedy brzy po jejím vzniku.

Molekula vody připomíná rovnoramenný splácnutý trojúhelník, jehož vrchol tvoří atom kyslíku (tedy O) a na vrcholech při základně jsou vodíkové atomy – tedy H. Otevřený úhel u atomu kyslíku je 105° a ostré úhly při základně u vodíků jsou jen $37,5^\circ$. Délka ramen (tj. vzdálenost atomu kyslíku od atomu vodíku) je jeden angström (přesně 0,097 nanometru). Atom kyslíku je v molekule záporný. Molekula vody se chová jako elektrický dipól. Proto se molekuly vody navzájem přitahují.

6.27 Zánik Slunce

Ani ve Vesmíru netrvá nic věčně. Slunce má za sebou již 5 miliard let života a zbývá mu ještě 7 miliard let. Poté se stane obrem a Země zanikne v jeho žáru. Jádro Slunce za sedm miliard roků zhoustne a zmenší se na velmi hustého žhavého bílého trpaslíka velikosti Země. Intenzivní rentgenové a ultrafialové záření z trpaslíka odtlačí zářivou vrstvu. Odhalí žhavého trpaslíka – a jeho obal se bude vzdalovat planetární soustavou jako planetární mlhovina. V ní se rozplynou i vzdálenější planety a ostatní tělesa. V mlhovině budou poletovat i atomy, které našemu životu propůjčila Země.

Pro ty, kteří mají rádi hororové scénáře, přinášíme i další, méně pravděpodobné scénáře zániku Sluneční soustavy:

1. Dojde ke srážce s hvězdou, která „zamíchá“ Oortovým oblakem komet i Kuiperovým pásem a změní oběžné dráhy všech členů Sluneční soustavy.
2. Dojde k setkání s černou dírou, roztrhání a pohlcení. (Nevíme, zda jsou osamocené černé díry v mezihvězdném prostoru.)
3. Dojde k rozcupování do Velkého atraktoru v souhvězdí Pravítka.
4. Dojde k rozcupování temnou (skrytou) energií (antigravitací), pokud její množství v budoucnosti poroste dál a výrazně převládne nad gravitací.
5. Dojde k Velkému kolapsu (gravitace převládne nad temnou energií).
6. Dojde k výbuchu supernovy nebo magnetaru ve vzdálenosti menší než 50 světelných roků.

Planetární mlhovina – viz snímky 6.29, 7.31.

Bílý trpaslík – viz snímek 7.31.

Slunce – viz prezentace 4.

6.28 Zánik Slunce a Země

Po vyčerpání vodíku v jádru a jeho přeměně v hélium se Slunce bude zvětšovat a chladnout na povrchu. Změní se v rostoucího červeného obra. Pro pozemšťany sluneční disk poroste a bude měnit barvu v oranžovou a červenou. Obloha nebude modrá, ale tmavě červená, jak ji někdy vidáme při západu Slunce. Na Zemi poroste teplota. Roztají polární ledy a ledovce v horách. Vzroste hladina všech oceánů. Ohřátí povrchu i atmosféry povede k intenzivnímu vypařování a vytvoří se mohutná vrstva oblaků. Téměř zmizí rozdíl mezi rovníkem a polárními oblastmi, takže horké vlhké skleníkové klima bude po celé Zemi. Tropické pralesy se rozšíří až k pólům. Za více než šest miliard roků začne počátek konce naší planety. Dalším zvýšením teploty se ze Země odpaří veškerá voda a ta se stane žhnoucím peklem. Její interakce s expandující atmosférou obřího Slunce přivodí závěrečný pád Země do umírajícího Slunce. Po našem Slunci a Sluneční soustavě zůstane expandující planetární mlhovina a jádro bývalé hvězdy se změní na bílého trpaslíka, který bude posledním svědectvím o bývalé hvězdě – našem Slunci. Pro vyšší živočichy se Země stane zcela neobyvatelnou mnohem dříve, podle současných odhadů to bude nejdéle za půl miliardy roků.

Země bude zpočátku svému osudu chvíli vzdorovat. Slunce totiž ztratí za 7 miliard roků přibližně 20 % své hmotnosti, a dráha Země se proto přesune dále od Slunce. Přibližně tam, kde dnes obíhá planeta Mars. Země tak sice zůstane nad expandujícím slunečním povrchem, ale tření o sluneční korónu změní její dráhu na smrtící spirálu, po které se nakonec dostane do vnějších obalů Slunce a odpaří se.

6.29 Věnce slunečních soustav

Agonie slunečních soustav je běžnou událostí ve Vesmíru – stejně jako byl jejich zrod před mnoha miliardami roků. Astronomové nazývají obálky hvězd odhozené v jejich závěrečných fázích života planetární mlhoviny. Jsou to jakési „věnce slunečních soustav“. Rozpínání těchto mlhovin do mezihvězdného prostoru trvá 20 tisíc až 30 tisíc roků. Malý velmi hustý bílý trpaslík velikosti Země uprostřed mlhoviny je po odhalení velmi žhavý, ale rychle vychládá. Po miliardách roků bloudí ledovým mezihvězdným prostorem jako mrtvý černý pozůstatek. Možná, že ve svém minulém termonukleárním životě dával energii životu na planetách, které ho obíhaly v pásnu obyvatelnosti.

Planetární mlhovina je emisní mlhovina, která je poslední fází vývoje hvězd podobných Slunci. Je to vývojová fáze provázející přechod od červeného obra k bílému trpaslíkovi, trvající asi 30 000 let. Astronomové ji obrazně nazývají „věnec položený Přírodou kolem umírající hvězdy“. Planetární mlhovina je rozpínající se obal čer-

veného obra, odfukovaný tlakem záření jeho degenerovaného jádra. Představuje asi desetinu hmotnosti hvězdy. Degenerované jádro odumírajícího červeného obra se objeví jako bílý trpaslík, jakmile se planetární mlhovina dostatečně rozpne a stane se průhlednou. Podle odborných odhadů 95 % všech hvězd v Galaxii skončí svůj vývoj jako bílý trpaslík obklopený planetární mlhovinou.

Název „planetární mlhovina“ byl poprvé užít v roce 1785, neboť nejbližší pozůstatky hvězdných obálek v dalekohledu připomínaly kotoučky planet. I Slunce za 7 miliard let skončí jako bílý trpaslík obklopený rozpínající se planetární mlhovinou, která postupně pohltí planety a rozpne se na velikost celé Sluneční soustavy.

6.30 M 4 – hřbitov 40 000 hvězd a jejich planet

Kulová hvězdokupa M 4 se nachází v souhvězdí Štíra blízko hvězdy Antares. Je to nejbližší kulová hvězdokupa, vzdálená 7 tisíc světelných roků. Je v ní přes sto tisíc hvězd, z nichž mnohé už odumřely a jsou bílými trpaslíky.

Na levém snímku v obdélníčku je vyznačena oblast, kterou zachytil Hubbleův dalekohled. Jeho snímek je napravo. Bílí trpaslíci jsou označeni kroužky. Celkem jich v této hvězdokupě je asi čtyřicet tisíc. Proto se hvězdokupě M 4 říká hvězdný hřbitov. Ve hvězdokupě ale převládají červení obři – hvězdy před agonií, které také brzo skončí jako bílí trpaslíci.

Kulová hvězdokupa je systém statisíců až milionu hvězd, uspořádaných do kulového tvaru o rozměrech 50 až 400 ly. Ve vnějších oblastech je hustota hvězd 10× větší než v okolí Slunce. Ve středových oblastech je hustota hvězd až několiktisíckrát větší. Vzdálenosti mezi hvězdami ve středu kulové hvězdokupy jsou pouze několik málo světelných týdnů, kdežto v okolí Slunce přibližně 4 ly. Pro pozorovatele ve středu kulové hvězdokupy je celá obloha hustě pokryta hvězdami – asi tak jako Mléčná dráha rozprostřená po celé obloze. Vzdálenost kulových hvězdokup se určuje pomocí proměnných hvězd typu *RR Lyrae*.

Kulové hvězdokupy jsou rozloženy symetricky kolem středu Galaxie, v kulovém prostoru o poloměru 70 000 ly. Jsou koncentrovány směrem ke středu Galaxie, takže větší část (60 %) jich je galaktickému středu, tedy blíže než naše Slunce. Proto jsou souhvězdí ve směru ke galaktickému středu – Střelec (*Sagittarius*), Štír (*Scorpius*) a Hadonoš (*Ophiuchus*) bohatá na kulové hvězdokupy (29, 18 a 24). Dnes je známo 180 kulových hvězdokup; jejich celkový počet v Galaxii se odhaduje na více než 200. Mléčná dráha zakrývá výhled na ty zbývající. Většina ostatních galaxií má také kulové hvězdokupy – některé galaxie (například M 87 v souhvězdí Panny) jich mají až několik tisíc.

Spektroskopický průzkum hvězd kulových hvězdokup ukazuje, že mají menší obsah kovů než hvězdy v galaktickém disku. To dokazuje, že jde o hvězdy počáteční generace (populace II), které vznikly v protogalaxii z původního plynu (vodíku a hélia). Také rozložení kulových hvězdokup v galaktickém haló je svědectvím o jejich velkém stáří. Vznikly v prvotním stadiu protogalaxie, dokud se plyny ještě nesedly do galaktického disku. Stáří kulových hvězdokup se určuje pomocí HR diagramu. Bod obratu na hlavní posloupnosti, kde odhýbá větev obrů, je tím níže, čím je hvězdokupa starší.

6.31 Exoplanety u cizích sluncí

Dnešní výzkumy v oblasti viditelného světla, infračerveného záření a na rádiových vlnách ukazují, že planety u hvězd jsou běžným jevem. Planetární soustava našeho Slunce je pouze jednou z mnoha miliard planetárních soustav v Mléčné dráze. Některé hvězdy jsou zatím obklopeny disky prachu, ze kterých později vznikne planetární soustava. Nazýváme je protoplanetární disky. Pozorujeme je například kolem Věgy, kolem hvězdy Beta Pictoris nebo kolem Fomalhautu, jak vidíte na fotografiích. Ve Velké mlhovině v Orionu jich Hubbleův vesmírný dalekohled objevil více než 150. Za několik milionů roků tam budou naši potomci pozorovat planety. Objev protoplanetárních disků u jiných hvězd potvrzuje správnost našich představ o tom, jak vznikla i naše planetární soustava. Svědčí také o tom, že planety jsou ve Vesmíru běžným jevem. První exoplaneta byla objevena v roce 1995. V roce 2012, o 15 let později, přesáhnul počet objevených exoplanet magickou hranici 500, v březnu 2013 jich bylo známo již přes 800.

Co do velikosti jsou planety nevýznamná tělesa. V naší Sluneční soustavě mají všechny planety dohromady hmotnost tisíckrát menší, než je hmotnost Slunce. V jiných planetárních soustavách, u jiných hvězd, tomu je podobně. Hmotnost planety může být stokrát až milionkrát menší než hmotnost její hvězdy. Těleso, jehož hmotnost je menší než procento hmotnosti sluneční, nemůže být zdrojem světla. Planety nesvítí, pouze odrážejí světlo své hvězdy. Je proto velmi nesnadné pozorovat planety u jiných hvězd. Jsou dva způsoby: nepřímý a přímý. Při prvním způsobu – nejčastěji užívaném – určujeme vlastnosti planety z pohybů samotné hvězdy. Přímý, náročnější způsob musí izolovat slabé záření planety od záření hvězdy.

Nejčastěji se při hledání planet u hvězd využívá Dopplerova jevu. Z posuvu čar ve spektru hvězdy lze určit, jak rychle hvězda krouží kolem společného těžiště. Například kolem těžiště soustavy Slunce-Jupiter obíhá Slunce rychlostí 13 metrů za sekundu. Astronomická technika dovede takovou rychlost měřit. Avšak kolem těžiště Slunce-Země se Slunce pohybuje jen 9 cm/s, což současná technika měřit

nedovede. Nepřímou metodou – tedy pozorováním samotné hvězdy – je možné určit pouze dráhu a hmotnost velkých planet. Avšak o chemickém složení a fyzikálních vlastnostech planety samotné nám světlo hvězdy nic říct nemůže.

Planety je také možné nacházet za pomoci dalších metod, například *gravitační mikroččky*. Světlo vzdálenější hvězdy je při průchodu mezilehlou hvězdou s planetou dočasně zesíleno. Světelná křivka připomíná zvon, na kterém je malé maximum způsobené obíhající planetou. Další metodou je *tranzitní fotometrie*, která planetu odhalí na základě snížení světelného toku hvězdy při průchodu planety před hvězdou. Dnes jsou již možná i přímá pozorování, při kterých se *interferometricky* odstraní záře hvězdy. Jedině tak je možné spatřit slabou planetu.

Jestliže jsou planety ve Vesmíru co do velikosti nevýznamná tělesa, rozhodně to neplatí z hlediska života. Jen ony totiž mohou být nositelkami a domovem života. To platí nejen o třetí planetě ve Sluneční soustavě, ale snad i o planetách u jiných hvězd. Pro nás pozemšťany – a pro celou biosféru vůbec – jsou planeta Země a hvězda Slunce naprosto nepostradatelné. Jsou daleko důležitější než všechna ostatní tělesa ve Vesmíru dohromady.

Vega („vrhající se střemhlav“; *Alfa Lyrae*) je nejjasnější hvězda v souhvězdí Lyry. Spolu s Arcturem jsou nejjasnějšími hvězdami severní oblohy. U nás je Vega cirkumpolární. Před 14 000 lety byla polární hvězdou, tzn., že se blízko ní nacházel severní světový pól, který se v důsledku precese přesunul k Polárce v Malém vozu. Infračervená družice IRAS zjistila v jejím spektru infračervený excés pro vlnové délky delší než 10 μm . Excés svědčí o prachovém disku zahřívaném Vegou na průměrnou teplotu -190°C . Snímky z Hubbleova dalekohledu skutečně ukázaly kolem Vegy protoplanetární disk. Vega je poměrně mladá hvězda (asi 300 milionů let) a planetární soustava se dosud nemohla z disku vytvořit. Z deformace protoplanetárního disku však lze usuzovat, že jedna velká protoplaneta se již vytvořila.

Beta Pictoris je hvězda v souhvězdí Malíře (*Pictor*) na jižní obloze, nedaleko od jasné hvězdy Canopus. V našich zeměpisných šířkách zůstávají obě hvězdy pod zimním obzorem. Je vzdálena 59 ly. Má poloměr 1,4 poloměru Slunce a osmkrát větší zářivost než Slunce. Infračervený dalekohled objevil kolem hvězdy protoplanetární disk o poloměru 200 AU.

Fomalhaut („pusa ryby“; *Alfa Piscis Austrini*) je nejjasnější hvězda v souhvězdí Jižní ryba (*Piscis Austrinus*) nacházející se ve vzdálenosti 50 ly. Tato bělavá hvězda u nás vystupuje nejvýše 10° nad obzor, a to v říjnu navečer. Je 17. nejjasnější hvězdou na obloze. Hubbleův dalekohled detekoval v okolí hvězdy obří prachový disk, ve kterém se pravděpodobně právě rodí planety.

Zdroje k šesté prezentaci

- 6.1 <http://s4.images.drive2.ru/user.blog.photos/x1/4400/000/000/28d/259/88cdcc0f8ad37a3f-large.jpg>
- 6.2 Kresba Ivan Havlíček (v publikaci P. Kulháněk, J. Rozehnal: *Hvězdy, planety Magnety*, Mladá fronta, Kolumbus 2007)
- 6.3 archiv autora; http://en.wikipedia.org/wiki/Milky_Way
- 6.4 <http://www.stargazingtonight.com/wp-content/uploads/2011/10/HER.gif>
- 6.5 <http://www.stargazingtonight.com/wp-content/uploads/2011/10/CYG.gif>
<http://www.allthesky.com/constellations/cygnus/constell-e.html>
- 6.6 http://apod.nasa.gov/apod/image/0105/sky_ctio_big.jpg
- 6.7 http://newsglobus.in.ua/uploads/posts/2011-05/1304449437_pioneer10.jpg
<http://media-1.web.britannica.com/eb-media//57/4957-050-D5B48D7B.jpg>
http://www.astronova.nl/zonnestelsel/pluto/NASA_New_Horizons_artiestiek_1.jpg
<http://space.fmi.fi/~schmidtw/imagegalery/images/rosetta/>
- 6.8 <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/32/InnerSolarSystem.png>
- 6.9 <http://mek.kosmo.cz/sondy/usa/near/obr.htm>
http://dsc.discovery.com/news/2007/03/06/gallery/killerasteroid_zoom.jpg
http://solarsystem.nasa.gov/multimedia/gallery/Ida_Dactyl.jpg
<http://www.neoteo.com/images/Cache/6C18x900y900.jpg>
- 6.10 http://aboutfacts.net/SpacePlanets/SP143/DawnMission/nasa_jpl_Caltech_ucla_mps_dlr_ida/vesta_asteroid.jpg
<http://photojournal.jpl.nasa.gov/jpeg/PIA15667.jpg>
- 6.11 Kresba autora
- 6.12 http://en.wikipedia.org/wiki/File:Esquel_pallasite_partial_slice.jpg
<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/ab/SikhoteAlinMeteorite.jpg>
http://nd04.jxs.cz/829/352/17a95a00a9_72453847_o2.jpg
<http://so-me.coolcats.fr/wp-content//ib1200meteorite-metallique-rare-type-iid-retrouvee-miller-buttejpg.jpeg>

- http://www.rocksfromspace.org/March_25_2008.html
- 6.13 archiv autora
- 6.14 http://www.eso.org/public/archives/images/large/yb_vlt_zodiacallight_cc.jpg
- 6.15 <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/38/EightTNOs-fr.png>
- 6.16 <http://hubblesite.org/newscenter/archive/releases/solar%20system/pluto/2012/32/image/a/>
- 6.17 archiv autora
http://www.astro.cz/galerie/v/uzivatele/LuKo78/Kometa+Halle-Bopp_001.jpg.html?g2_imageViewsIndex=1
http://stardustnext.jpl.nasa.gov/multimedia/comets/09_b.jpg
- 6.18 http://cdn.yeeyan.com/upload/attached/2011-06/14/20110614190651_55740.jpg
kresba AGA
- 6.19 archiv autora
<http://sci.esa.int/science-e-media/img/cd/Giotto2%20slide%204.jpg>
- 6.20 <http://imgsrc.hubblesite.org/hu/db/images/hs-2001-14-a-full.jpg.jpg>
<http://www.jpl.nasa.gov/asteroidwatch/newsfeatures.cfm?release=2010-371#1>
http://apod.nasa.gov/apod/image/1001/halley_giotto_big.jpg
http://apod.nasa.gov/apod/image/0109/borrelly_ds1_big.jpg
http://en.wikipedia.org/wiki/File:PIA02142_Tempel_1_bottom_sharped.jpg
- 6.21 <http://hubblesite.org/newscenter/archive/releases/2005/16/video/b/>
- 6.22 archiv autora
- 6.23 <http://chandra.harvard.edu/photo/2005/casa/>
<http://www.ipac.caltech.edu/2mass/gallery/fest1-457atlas.jpg>
<http://hubblesite.org/newscenter/archive/releases/star/protoplanetary%20disk/2001/13/image/c/>
- 6.24 archiv autora
- 6.25 <http://www.futura-sciences.com/fileadmin/Fichiers/images/>

- Univers/allende-big.jpg
<http://www.litos.net/tienda/condritas-carbonaceas/799-allende.html>
http://www.nasa.gov/images/content/578295main_callahan_cover_illustration.jpg
<http://media3.washingtonpost.com/wp-srv/photo/gallery/101028/GAL-10Oct28-6235/media/PHO-10Oct28-263878.jpg>
- 6.26 <http://lilspaceoddties.files.wordpress.com/2011/11/water.jpg> + archiv autora
- 6.27 archiv autora
- 6.28 http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/eb/The_life_of_Sun-like_stars.jpg
- 6.29 <http://wallpapersgallery.net/d/1512987-1/Galaxys-88-3.jpg>
http://imgsrc.hubblesite.org/hu/gallery/db/printshop/ps14/formats/ps14_8x10.jpg
<http://www.spacetelescope.org/static/archives/images/wallpaper5/opo9607a.jpg>
http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/e/e8/M27_-_Dumbbell_Nebula.jpg/1015px-M27_-_Dumbbell_Nebula.jpg
http://3.bp.blogspot.com/_c5uZcrwaa2E/TPDAwdHLQPI/AAAAAAAAABfA/Zesm-4f1e64/s1600/NGC_6826HSTFull.jpg
http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f8/Southern_Crab_Nebula_overview.jpg
<http://www.spacetelescope.org/static/archives/images/screen/opo9738c4.jpg>
http://www.holeintheclouds.net/sites/holeintheclouds.net/files/good_morning/09dec/butterfly.jpg
- 6.30 <http://hubblesite.org/newscenter/archive/releases/1995/32/image/b/>
<http://hubblesite.org/newscenter/archive/releases/1995/32/image/c/>
- 6.31 <http://www.origo.hu/i/0811/20081113fomalhaut1.jpg>
<http://trustyservant.com/wp-content/uploads/2008/11/hr8799b.jpg>



7. Hvězdy

*Ach, jaké blaho: poležet
zde na drnu poblíž boru
a s zlatými dát se hvězdami
do šeptného rozhovoru!*
(Jan Neruda)

Jen básníci dovedou přetavit do řeči to, co cítíme pod hvězdnou oblohou všichni, ale neumíme to vyjádřit:

*Noc věčně usnula v zrajících polích. Důvěrně s výši mi zářily hvězdy.
O svítání šeptaly vůně, známý hlas přijalo ticho,
o slunci jabloně snily, o čistém setkání duší poupata růží,
má duše, teskná a šťastná, o domově.*
(Otokar Březina, Kde jsem už slyšel)

Na každého (bez rozdílu vzdělání, historické doby či geografických souřadnic) působí hluboká, sametově černá a hvězdami posetá obloha – ten odvěký mlčenlivý svědek veškerého dění na Zemi, všeho lidského snažení, velikosti i marnosti, hrdinství i podlosti, lásky i nenávisti, věrnosti i zrady, smutku i radosti, něhy i brutality, ctnosti i zločinu, tvoření i ničení, bolestivého zrodu života i jeho barbarského ubíjení.

Hvězdnatá *obloha* však patřila odjakživa především básníkům a hvězdářům. Ti první hledají v tichu noci metaforu pro krásu oblohy, ti druzí se snaží u dalekohledů porozumět hvězdám a dění v nekonečném Vesmíru:

*Omračujícím tichem se o nás opírá
nekonečný mramor hvězdné oblohy,
ustavičně opracovávaný lidskou myšlenkou,
je nekonečný, a přece
je uzavřen celý pod naším čelem.*
(František Hrubín)

Člověk je zvláštní bytost: *je částíčkou Vesmíru*, neboť je složen ze stejných atomů jako planety a vzdálené hvězdy. Je částíčkou, v níž si Vesmír uvědomuje sám sebe. *Je vědomím Vesmíru*. Poznává Vesmír, který se v jeho mysli zobrazuje podobně, jako se v dešťové kapce na listu zobrazuje okolní krajina i obloha. Nejen atomy, ale i všechnu životní energii, dostáváme od Vesmíru: energie svalů i tepla, nervových vzruchů v mozku a všech ostatních pochodů v našem organismu má svůj původ v hlubokém nitru nejbližší hvězdy – ve středu Slunce.

Život znamená neustálou spotřebu *energie*. Člověk spotřebovává přibližně tolik energie jako žárovka o výkonu 150 W, která svítí ve dne v noci. Přijímáme ji v potravě a měli bychom poděkovat po každém jídle nejen kuchaři, ale i Slunci za energii v ovoci, zelenině, masě či chlebě. Za dlouhý život spotřebuje („sní“) člověk tolik potravin, že by se vešly do třech nákladních vagonů. Slunce přeměnilo *necelý gram vodíku* na hélium, aby uvolnilo energii obsaženou v tomto množství potravin. Půl gramu vodíku vynaloží Slunce na jeden dlouhý lidský život. V potravě, kterou snědlo celé lidstvo za necelé čtyři miliony roků své existence, byla stejná energie, jakou naše hvězda vyzáří za *jedinou tisícinu sekundy*.

To vše ukazuje, jak nesmírný tok energie chrlí i malá hvězdička, jakou je naše Slunce. Jsou však i jiné hvězdy, které září mnohotisíckrát, ba i milionkrát více než naše Slunce.

Hvězdy, které září nad námi, jsou obrovské *atomové reaktory*. Jsou mnohem dokonalejší a účinnější než pozemské reaktory na uran. Napodobit hvězdy – to jest zhotovit termonukleární reaktory – je cílem energetiků po celém světě. Ve žhavém nitru hvězd se každou sekundu přeměňují miliardy tun vodíku na hélium. Jen staré červené hvězdy – jako je Antares v letním souhvězdí Štíra nebo Betelgeuze v zimním Orionu – přeměňují každou sekundu desítky miliard tun hélia na uhlík. Uhlík je základním prvkem pro každý živý organizmus, z něho je celá biosféra. Bez uhlíku bychom zde nebyli, nebylo by na Zemi života. Všechny atomy uhlíku v biosféře jsou hvězdného původu: vznikly totiž z hélia ve hvězdách před mnoha miliardami roků. *Jsme potomky dávných hvězd*.

Uvolněnou atomovou energii hvězdy chrlí do mrazivého kosmického prostoru ve formě světla, rentgenového, ultrafialového, infračerveného a rádiového záření. Po miliony a miliardy let bezúčelně plýtvají tou nejkvalitnější energií vůbec. Pro nás pozemšťany, kteří musí za každou trošku energie draze platit, je to hvězdné plýtvání otřesné. Jen pranepatrná část hvězdné energie se zachytí na planetách – pokud je hvězda má. A tam tato hvězdná energie možná udržuje život.

*Po nebi hvězdic je rozseto,
lesem jak zvonců vřesných,
dech času je měrně provádí
v jásavých kruzích plesných.
Vidíme plesu jenom cíp-
zkoumej a čítej sebelíp,
mistře v početním cvíku,
nespočteš tanečníků.
(Jan Neruda)*

Odpusťte, mistře Nerudo, ale zde bychom Vás trochu poopravili: ty tanečníky v Mléčné dráze se dnes podařilo (přibližně) spočít. Je v ní nejméně dvě stě miliard tanečníků – hvězd – a naše Slunce je jednou z nich. To je závratný počet. Kdyby Imhotep, stavitel Stupňovité pyramidy v Sakkáře, nejstarší kamenné stavby světa (2 800 př. n. l.), začal odpočítávat hvězdy v Mléčné dráze tak, že by každou sekundu svého života ukázal na jednu hvězdu a jeho potomci v tom pokračovali, dnes by měli spočteno jen něco málo přes 150 miliard hvězd. Naše Mléčná dráha je přitom jen obyčejná hvězdná soustava, zajímavá jen pro nás pozemšťany.

7.1 Úvod

Takto vypadá Mléčná dráha směrem ke středu naší Galaxie. Hvězdy v ní jsou tělesa ze žhavých vodivých plynů (tj. z plazmatu) o hmotnosti zhruba milionkrát větší než je hmotnost naší planety Země. Všechny hvězdy, které vidíme na obloze pouhým okem, jsou tělesa podobná našemu Slunci. Prý jich můžeme – podle kvality zraku – uvidět 6 tisíc. Některé hvězdy jsou desetkrát méně hmotné – jiné mohou být nejvýše stokrát hmotnější než naše Slunce. Ale všechny, i ty hvězdné veleobry, vidíme jako zářící tečky, protože jsou velmi daleko. Povšimněte si různé barvy hvězd. Ty červené jsou relativně chladné, mají teplotu 3 000 K, a ty modré jsou velmi horké, jejich povrch má teplotu přes 30 000 K.

Fotografii hvězdného oblaku v souhvězdí Střelce, který je na snímku, pořídil Hubbleův dalekohled směrem ke středu Mléčné dráhy. Jsou na něm hvězdy různých barev a různě jasné. Barvu určuje povrchová teplota – červené hvězdy jsou poměrně chladné, jejich teplota je 3 000 K, naše Slunce má na povrchu 6 000 K. Modré mladé hvězdy mají teploty přes 30 000 K, některé jsou až desetkrát teplejší než naše Slunce.

Červené chladné hvězdy jsou dvojího druhu: Malé červené hvězdy mají povrchovou teplotu kolem 3 000 K, spotřebovávají vodík pomalu, a proto žijí velmi dlouho. Naopak velcí červení obři jsou na sklonku svého krátkého života, neboť rychle odčerpali své palivo. Ale i obyčejné hvězdy, jako je naše Slunce, se ke konci svého dlouhého života rozepnou v chladného červeného obra a jsou mnohem jasnější, než byly v předcházejícím životě.

Souhvězdí Střelce (*Sagittarius*) je jedním ze souhvězdí letní oblohy, velmi bohaté na dvojhvězdy, proměnné hvězdy, hvězdokupy a mlhoviny. Je v něm 15 Messierových objektů. Střelec u nás nevystupuje vysoko nad obzor, většinu jeho objektů lze pozorovat jen po krátký čas v létě, a to v blízkosti jižního obzoru. Střelec leží v oné části Mléčné dráhy, kde je skryt galaktický střed. Světlo odtud se k nám nedostane, protože je pohlcováno oblaky mezihvězdné hmoty. Tím jsme připraveni o působivou podívanou, neboť galaktické jádro je tak jasné, že by vrhalo v noci stíny, podobně jako Měsíc.

7.2 Orion

Hvězdná obloha v zimním souhvězdí Orionu je bohatá nejen na jasné hvězdy, které tvoří výrazný obrazec bájně postavy lovice, ale i na různé mlhoviny, ve kterých hvězdy teprve vznikají. Hvězda je zářící koule žhavých plynů – vodíku, hélia a malého množství všech ostatních prvků. Všechny hvězdy, které vidíme pouhým okem na obloze, jsou plazmová tělesa, v jejichž středu probíhají termonukleární reakce. Hvězdy se rodí, žijí a zanikají uvnitř obrovského hvězdného společenství nazývaného Galaxie. O době života hvězdy rozhoduje její hmotnost. Ta se pohybuje mezi dvaceti tisíci a dvaceti miliony hmotností Země. Obří hvězdy žijí krátce, jen statisíce až miliony roků, trpasličí hvězdy žijí velmi dlouho, až desítky miliard let. Naše Slunce je obyčejná hvězda stará pět miliard roků a bude žít ještě sedm miliard roků. Na tak dlouhou budoucnost má dostatek jaderného paliva.

Bílí trpasličí a neutronové hvězdy (které pouhým okem nevidíme, protože jsou příliš slabé), jsou pozůstatky normálních hvězd. Zářící díky své tepelné a rotační energii, kterou si uchovávají z období, kdy žily, tj. kdy v nich probíhaly termonukleární reakce.

Na snímku je zimní souhvězdí Orion. Orion je pro svoji symetrii bezesporu jedno z nejhezčích souhvězdí na obloze. Bylo známo už tři tisíciletí před rozkvětem řecké kultury, a to v Mezopotámii. Tamější obyvatelé je nazývali Uru-anna (světlo oblohy). Z tohoto názvu vzniklo jméno Orion. Polynésané, výborní plavci a rybáři, viděli v Orionu „síť, do níž chytá stvořitel Maui slunečního ptáka“.

Zimní souhvězdí Orion je bohaté na zajímavé objekty. Chladný veleobr α Ori (Betelgeuze) je nepravidelná proměnná hvězda (nahore vlevo). Její poloměr je větší než vzdálenost Země od Slunce. Právě pro tuto obrovitost a poměrnou blízkost (600 světelných roků) se podařilo Hubbleovu dalekohledu pořídit snímek kotoučku Betelgeuze. Je to (kromě Slunce) první obraz hvězdy v historii lidstva vůbec. Její oranžově červená barva svědčí o nízké teplotě. Většina ostatních hvězd v Orionu je mnohem mladší, jsou žhavé, bílé až namodralé, neboť mají vysokou teplotu. Tvoří jednu skupinu se společným původem – *Orionovu asociaci*. Jejich vzdálenost je 1 500 světelných roků. Středem asociace je Velká mlhovina v Orionu (M 42), viditelná pouhým okem uprostřed Orionova meče.

Načervenalá skvrnka v meči (v dolní části uprostřed) je zbylou částí původního obřího molekulárního oblaku, z něhož jednotlivé hvězdy asociace zhušťováním vznikaly. Je jen částí obrovského Orionova komplexu mezihvězdné hmoty v různých formách a je jednou z nejbližších oblastí, kde v současnosti probíhá překotný zrod hvězd.

Asociace – viz snímek 8.7.

Velká mlhovina v Orionu – viz snímek 12.24.

7.3 Představa Orionu dříve a nyní

Souhvězdí jsou výrazné skupiny hvězd, které dávné generace ve svých představách spojovaly do tvaru zvířat, lidí, hrdinů, boha Dia v přestrojení a bájných tvorů, jakými byli například kentauři. Souhvězdí umožňují i dnes snazší orientaci na obloze. Jedním z nejznámějších je zimní souhvězdí Orion. Nalevo vidíte jeho kresbu z Heveliova atlasu Uranographia z roku 1690, napravo je stejné souhvězdí v soudobé mapě. Většina názvů souhvězdí viditelných z Evropy pochází z řecké mytologie. Z novější doby pocházejí názvy nejjihnějších souhvězdí. Pojmenovávali je mořeplavci a astronomové podle předmětů denní potřeby, a tak na jižní obloze nalezneme Dalekohled, Mikroskop, Jižní trojúhelník, Kružítko nebo názvy exotických ptáků – Fénix, Jeřáb, Rajka nebo Tukan.

Souhvězdí. Je třeba si uvědomit, že hvězdy tvořící jedno souhvězdí zpravidla nepojí navzájem žádné jiné vztahy vyjma toho, že se náhodně při pozorování ze Země promítají do stejné oblasti oblohy. Ve skutečnosti jsou od nás různě vzdáleny. Od Polárky nebo Deneba bychom viděli zcela jiná souhvězdí. Jsou to tedy „naše souhvězdí“. I v tom smyslu, že jsou dočasná: v důsledku vlastního pohybu hvězd se za dobu deseti tisíců roků hvězdy posunou po obloze natolik, že se tvar souhvězdí změní.

Ptolemaiův *Almagest* obsahoval 48 souhvězdí viditelných ze středomořské oblasti. Od 16. až do 18. století vznikla řada nových souhvězdí a několik z nich bylo později opět zrušeno. Původní souhvězdí neměla žádné ohraničení, což vedlo někdy k nejasnostem. Dnes je souhvězdí chápáno jako přesně vymezená oblast oblohy, ohraničená pevnými hranicemi (schválenými Mezinárodní astronomickou unií v roce 1930) a nazvaná jménem souhvězdí, které v ní leží. Hranice souhvězdí tvoří oblouky deklinačních kružnic a oblouky paralel pro epochu 1. ledna 1875. Počet souhvězdí je 88 a plně pokryjí celou oblohu. Nová souhvězdí nelze přidávat a ustanovená souhvězdí nelze měnit. Slouží k lepší orientaci na obloze a v hrubých rysech se shodují s dřívějším historickým rozdělením.

Nejjasnější hvězdy v souhvězdí se obvykle označují písmeny řecké abecedy, pořadovými čísly podle rostoucí rektascenze a někdy též (zejména na jižní obloze) latinskými písmeny. Hvězdy jsou označeny těmito znaky a trojpísmennou zkratkou latinského názvu souhvězdí. Každé souhvězdí má své latinské jméno, schválené Mezinárodní astronomickou unií a užívané po celém světě (například Canis Major, Leo, Gemini). Při označení hvězd se užívá druhého pádu (Canis Majoris, Leonis, Geminorum). Například nejjasnější hvězda naší oblohy (Sírius) má název Alfa Canis Majoris a v textu se označuje zkratkou α CMa. Čeština (stejně jako i jiné jazyky) má pro každé souhvězdí svůj název, který je zpravidla (ale ne vždy) překladem latinského názvu.

Souhvězdí Orion – viz snímky 1.22, 7.4, 12.24.

7.4 Veleobr Betelgeuze

Hvězdný veleobr Betelgeuze patří mezi Orionovy hvězdy jen na obloze, jen se do jejich blízkosti promítá. Ve skutečnosti je o 900 světelných roků blíže. Je prvou hvězdou, kterou se podařilo spatřit jako disk – ne jako světelný bod, jak vidíme ostatní hvězdy. Veleobr Betelgeuze je už na konci svého krátkého uspěchaného života, neboť vyčerpal palivo a jeho středová teplota se blíží 3,5 miliardám stupňů. V nedaleké budoucnosti vybuchne jako supernova. Naštěstí je od nás desetkrát dále, než je vzdálenost, která by mohla životu na naší Zemi uškodit.

Souhvězdí Orion je nejznámější souhvězdí zimní oblohy. Báje vypráví o lovcí Orionovi, jehož otcem byl Poseidon, vládce všech vod. Jeho matkou byla lovkyně z družiny bohyně lovu Artemidy, a proto měl Orion v Artemidě mocnou ochránkyni. Od svého otce dostal schopnost pohybovat se i v nehlubším moři. Tam pronásledoval sličné nymfy Plejády tak dlouho, až uprosily Dia, aby je raději proměnil v nějaká zvířata. Zeus je proměnil v holuby a později ve skupinu hvězd na obloze, dodnes nazývanou Plejády. Jindy zase Orion svým chvástáním urazil bohyni Hérú. Za trest byl bodnut obrovským štírem a zemřel. Na přímluvu Artemidy byl i se svým psem Síriem přenesen na oblohu právě proti Štíru. Ti dva se dodnes nenávidí. Proto je bohové umístili od sebe co možná nejdále. Nikdy nejsou oba současně nad obzorem. Orion mizí za západním obzorem v době, kdy se na východě objevuje Štír.

Kromě nádherných mlhovin je souhvězdí Orion také známo výrazným meteorickým rojem Orionidy. Kolem 20. října se Země na své dráze kolem Slunce střetává s rozsáhlým proudem meteoroidů, který za sebou nechává Halleyova kometa. Při vletu do atmosféry zazáří jako meteory vylétující od hvězdy ξ Ori.

7.5 Rozměry a hmotnosti hvězd

Hmotnosti hvězd jsou mezi 0,08 hmotnosti Slunce a stonásobkem hmotnosti Slunce. Velká většina hvězd má však hmotnost v úzkém rozmezí od 0,3 hmotnosti Slunce do 5 hmotností Slunce. Spodní mez je dána tím, že protohvězda o hmotnosti menší než 0,08 hmotnosti Slunce nemá dostatečně velkou gravitační sílu, aby se smrštěním v nitru zahřála na teplotu minimálně 7 milionů K, která je potřebná k zažehnutí termojaderné syntézy. Taková protohvězda se přemění v hnědého trpaslíka. Horní mez hmotnosti je dána tím, že při vyšší hmotnosti než 100 hmotností Slunce je teplota v nitru příliš vysoká a tlak záření, který roste se čtvrtou mocninou teploty, převládne nad gravitací. Protohvězda je rozmetána tlakem záření ještě před tím, než dojde k zažehnutí termojaderné syntézy. Zatímco hmotností se hvězdy příliš neliší – je v jejich průměrech obrovský rozdíl.

7.6 Porovnání velikosti hvězd

Velikost hvězd, co se skutečných rozměrů týče, se může velmi lišit. Nejmenší jsou neutronové hvězdy, které mají rozměry jen několik desítek kilometrů, přestože jejich hmotnost může být až přibližně dvojnásobkem hmotnosti Slunce. Neutronové hvězdy patří k závěrečným stádiím vývoje hvězd a ještě o nich uslyšíme. Jiným závěrečným stádiem je bílý trpaslík, který může mít rozměry srovnatelné s naší Zemí. Bílým trpaslíkem se za 7 miliard roků stane i naše Slunce. Na druhé straně žebříčku velikosti jsou červení veleobři, kteří mají průměr miliardkrát větší, než je průměr Slunce.

K obřím hvězdám patří například *Betelgeuze* z pravého ramene Orionu. Kdyby byla ve středu naší Sluneční soustavy, sahal by její povrch kamsi k dráze Jupiteru. Červený veleobr *Antares* ze souhvězdí Štíra by měl povrch za drahou Marsu. Oproti těmto velikánům by se hvězda *Arcturus* ze souhvězdí Pastýře mohla zdát jako malý příbuzný. *Arcturus* je nejjasnější hvězdou severní oblohy a čtvrtou nejjasnější hvězdou na obloze (před ní jsou jen *Sírius*, *Canopus* a *Rigel Kent*). Snadno jej najdeme, neboť k němu míří tři hvězdy oje Velkého vozu (*Megrez*, *Alioth* a *Mizar*). Jeho průměr je 28 průměrů Slunce.

7.7 Hnědí trpaslíci

Hnědý trpaslík je jakési hvězdné nedochůdce, objekt balancující na hranici mezi hvězdou a planetou. Uvnitř obřích planet, jako je Jupiter, není dostatečný tlak a teplota k zažehnutí termojaderné syntézy, hlavního zdroje energie hvězd. Přesto Jupiter vyzařuje 2,5× více energie, než získává od Slunce. Jak je to možné? Zdrojem je gravitační smršťování horních vrstev na tlak 3 miliony atmosfér, kdy se vodík stává kovem a ideálním vodičem elektřiny. Za hranici mezi planetou a hnědým trpaslíkem považujeme třináctinásobek hmotnosti planety Jupiter. Větší objekty nazýváme hnědými trpaslíky. Jejich středová teplota nedosahuje potřebných 7 milionů kelvinů, aby se vodík měnil na hélium. Nejsou tedy hvězdami, ale už je nepovažujeme ani za planety.

Hnědý trpaslík je plynná koule, jejíž hmotnost je v rozmezí 13 až 80 hmotností Jupiteru. Menší tělesa považujeme za planety, u větších již v nitru probíhá termojaderná syntéza a považujeme je za hvězdy (červené trpaslíky). Hnědý trpaslík je dostatečně velký, aby se vlastní gravitací smršťil, zahřál a zářil infračerveným až tmavě červeným světlem. Jeho velikost však nepostačuje k tomu, aby se uvnitř zahřál na 7 milionů K, aby v něm mohlo probíhat hoření vodíku jako v normálních hvězdách. Někteří jsou tak malí, že nedosáhnou ani teplotu 6 milionů K, potřebnou k přeměně lithia v hélium. V jejich spektru jsou zřetelné čáry lithia a vyskytují se

i čáry ostatních alkalických prvků (sodíku, draslíku, rubidia, cesia). Dalším spektrálním znakem hnědých trpaslíků je výskyt metanu, který je běžný v atmosférách obřích planet. Ten se vyskytuje pouze za teplot menších než 1 300 K, takže v normálních hvězdách není. V hnědém trpaslíkovi se nevyskytují molekuly oxidů titanu ani vanadu – na rozdíl od červených trpaslíků, v jejichž spektru tyto oxidy dominují. Tyto těžko tavitelné oxidy jsou tam přítomny (při nízkých teplotách) ve formě zrněk.

7.8 Hnědý trpaslík Gliese 229 B

Hvězda Gliese 229, kterou vidíme jako velký kotouček, je červený trpaslík v souhvězdí Zajíce. Je vzdálena 19 světelných roků od Země a její hmotnost je 58 % hmotnosti Slunce. Je to tedy normální hvězda s přeměnou vodíku na hélium. Kolem ní obíhá hnědý trpaslík Gliese 229 B. Je dobře patrný jako malý objekt vpravo od hlavní hvězdy. Je zhruba 20 až 50× hmotnější než planeta Jupiter. Je příliš hmotný a teplý na to, aby byl považován za planetu, ale příliš malý, aby zářil jako červený trpaslík, který je skutečnou hvězdou.

Gliese 229 B je hnědý trpaslík, který obíhá kolem hlavní hvězdy Gliese 229A jednou za 200 let. Jeho hmotnost je mezi 20 a 50 hmotnostmi Jupiteru. Aby se stal hvězdou, v jejímž nitru probíhá hoření vodíku, musel by mít hmotnost alespoň 2× větší. Jeho eliptická dráha má velkou poloosu přibližně 40 AU a výstřednost 0,6. Jeho efektivní teplota je přibližně 1 000 K. Září převážně v infračervené oblasti, s maximem kolem vlnové délky 3 μm .

Gliese je astronomický katalog všech známých hvězd do vzdálenosti 80 ly. Byl sestaven německým astronomem Wilhelmem Gliesem v roce 1969 a později doplňován nově objevenými hvězdami (jejichž vzdálenost je menší než 80 ly). Hvězdy v Glieseho katalogu jsou identifikovány symbolem Gl s připojeným pořadovým číslem (například Gl 559 je Rigel Kent, Gl 551 je Proxima Centauri, Gl 699 je Barnardova hvězda). Katalog obsahuje 915 hvězd.

7.9 Nejchladnější hnědý trpaslík – trpaslík Y

Nejchladnější hnědí trpaslíci mají teplotu lidského těla. Nazývají se Y trpaslíci. Byli objeveni americkou družicí WISE, která měla za úkol systematickou přehlídku oblohy v infračerveném záření. Lze je snadněji objevit než ty hnědé trpaslíky, kteří jsou v blízkosti normálních hvězd jako průvodci. Družicová observatoř WISE objevila těchto trpaslíků zatím šest s teplotami od 25 °C do 175 °C. Na některé bychom si mohli sáhnout, aniž bychom se spálili. Pro jejich označení bylo záměrně použito písmeno z konce abecedy, neboť jde o objekty považované za nedozrálé hvězdy.

Hvězdy se liší svým spektrem, které je závislé na teplotě. Rozdělujeme je do spektrálních tříd, se kterými se seznámíme později v této kapitole. Písmeno Y je poslední spektrální třídou zavedenou pro nejjchladnější hvězdy. Spektrální třídy seřazené od nejteplejších po nejjchladnější hvězdy jsou W, O, B, A, F, G, K, M, L, T, Y. Naše Slunce patří do třídy G. Ve spektrální třídě M jsou hvězdy chladnější, a proto červenější, než je naše Slunce. Zatímco třídy W až K jsou jen hvězdy, objekty M a L jsou směsí hvězd a hnědých trpaslíků. Ve třídách T a Y jsou jen hnědí trpaslíci – „nedozrálé hvězdy“ zářící jen z gravitační energie. Na obrázku je kresba trpaslíka Y.

7.10 Gravitační mikročocky

Jednou z mnoha metod hledání objektů na pomezí planety a hvězdy je mikročockování. Pokud mezi námi a vzdálenou hvězdou prochází jiná hvězda, začne procházející hvězda působit jako gravitační čocka. Světlo vzdálené hvězdy je mezilehlou hvězdou ohýbáno a zesíleno. Průchod hvězdy tedy způsobí, že budeme pozorovat krátkodobé zjasnění vzdálenější hvězdy. Situaci vidíme na horním obrázku. Pokud kolem procházející hvězdy obíhá velká planeta nebo hnědý trpaslík, dojde ještě k dalšímu zesílení intenzity světla vzdálené hvězdy, které se projeví jako malé ostré maximum na světelné křivce. Z tohoto maxima je možné usoudit na existenci průvodce procházející hvězdy.

Efekt **gravitační čocky** předpověděl Albert Einstein v roce 1936. Hmotný objekt, ležící mezi zdrojem záření a pozorovatelem, zakřivuje světelné paprsky podobně jako skleněná čocka v laboratoři. Jsou-li objekty dokonale na přímce, vznikne jako obraz vzdáleného objektu tzv. Einsteinův prstenec. Jsou-li objekty vyosené nebo nesférické, vznikne buď oblouk, nebo několikanásobný obraz. První gravitační čocka byla objevena v roce 1979 při pozorování zdvojeného obrazu kvazaru SBS 0957+561.

7.11 Jasnost zdroje

Jasnost stejných pouličních lamp závisí na jejich vzdálenosti od nás. Totéž množství světla se ve větší vzdálenosti rozprostře na větší plochu, jak je vidět na kresbě dole. To platí také o jasnosti hvězd neboli o množství fotonů dopadajících za sekundu na sítnici našeho oka nebo na citlivou plochu fotometru. Hvězdy stejného typu uvidíme tím slabší, čím jsou vzdálenější. Míra jasnosti má nevhodný zastaralý název „hvězdná velikost“ – odborně se říká magnituda. Jasnost objektu tedy závisí nejenom na jeho skutečně vyzařovaném výkonu, ale i na jeho vzdálenosti. Nejjasnější hvězdy mají magnitudu kolem nuly, nejslabší pozorovatelné okem kolem pěti. Nejslabší objekty pozorované moderními dalekohledy mají magnitudu kolem 30. Můžeme jít ale i do záporných hodnot, nejjasnější hvězda oblohy Sírius má magnitudu $-1,6$, Měsíc v úplňku $-12,6$ a Slunce $-26,6$.

Hvězdná velikost (zdánlivá hvězdná velikost, magnituda, m) je fotometrická veličina vyjadřující jasnost hvězd (a jiných nebeských objektů). Je to nepřímé vyjádření měřené hustoty světelného toku z hvězdy či jiného nebeského tělesa. Jsou-li I_1 a I_2 hustoty světelného toku (množství světla dopadající za 1 sekundu na 1 m^2) od dvou hvězd, jsou jejich hvězdné velikosti dány rovnicí:

$$m_2 - m_1 = 2,5 \log_{10} (I_1 / I_2),$$

která udává Pogsonovu stupnici hvězdných velikostí. Jednotkový rozdíl $m_2 - m_1$ se nazývá jedna hvězdná třída nebo jedna magnituda. Čím je hvězda slabší, tím větší číslo vyjadřuje její hvězdnou velikost. Poměr hustot světelného toku mezi nejjasnějším objektem na obloze (Sluncem) a nejslabším pozorovaným objektem (galaxií v HDF) je tisíc trilionů, což odpovídá rozdílu jasnosti 54 magnitud.

Původně byla hvězdná velikost určována pouze vizuálně a byla chápána jako objemová velikost hvězdy. Hvězdy viditelné prostým okem byly uspořádány do šesti hvězdných tříd, z nichž šestá odpovídala nejslabším hvězdám.

Absolutní hvězdná velikost (absolutní magnituda, M) je hvězdná velikost, jakou by jasný objekt (například hvězda, galaxie) měl při pozorování ze vzdálenosti 10 pc (32,6 sv. roků). Vypočítáme ji podle vztahu

$$M = m + 5 - 5 \log d,$$

kde d je vzdálenost objektu v parsecích a m je změřená (zdánlivá) hvězdná velikost objektu (magnituda). Absolutní hvězdná velikost Slunce je +4,71, což znamená, že ze vzdálenosti 10 parseků (32,6 světelných roků) bychom je viděli jako hvězdu jasnosti +4,71 magnitudy.

7.12 Fotony a spektrum

Světlo je proud fotonů – kmitajících chomáček energie. Čím rychleji kmitají, tím větší energii mají. Světelné fotony, které vnímá sítnice, unášejí energii 2 až 4 eV. 2 eV mají červené fotony a 4 eV fialové fotony. Tyto fotony k nám z povrchu Slunce doletí za 8 minut. Jejich rychlost je $300\,000 \text{ km s}^{-1}$. Na naši Zemi dopadá vně atmosféry $1,4 \text{ kW}$ na 1 m^2 a na celou Zem $180\,000 \text{ TW}$ slunečního výkonu. Přitom celé lidstvo spotřebuje dohromady pouze 14 TW .

Fotony a spektrum – viz snímky 1.8, 2.19, 2.21.

Elektromagnetické spektrum – viz snímek 10.8.

7.13 Záření hvězd

Vesmírná tělesa září. Tělesa s různou teplotou vysílají přednostně různé druhy záření, jak je vidět z grafu. Křivky vyjadřují závislost toku záření na jeho vlnové délce pro tzv. absolutně černé těleso. Kosmická tělesa, jako jsou hvězdy, planety, měsíce, se do jisté míry černému tělesu přibližují. Horká tělesa září zejména na krátkých vlnových délkách, chladná tělesa naopak na dlouhých vlnových délkách. Nejchladnější je ve Vesmíru tzv. reliktní záření, které se oddělilo od látky na konci Velkého třesku. Tenkrát zářilo ve viditelném oboru. Dnes ochladlo natolik, že ho nalezneme na milimetrových vlnových délkách.

Absolutně černé těleso (černý zářič, Planckův zářič) je těleso, které dokonale pohlcuje všechno záření, které na ně dopadá. Neodráží žádné záření. Je zároveň dokonalým zářičem, neboť ze všech možných těles stejné teploty vysílá největší množství záření. Absolutně černé těleso je teoretický pojem, k němuž se skutečná tělesa mohou do jisté míry přiblížit. Nejvíce se k vlastnostem černého tělesa přibližuje žhavé plazma ve středu Slunce. Pro záření černého tělesa platí zákony: Planckův, Wienův a Stefanův-Boltzmannův. Excitace atomů je určena *Boltzmannovou rovnicí*, jejich ionizace *Sahovou rovnicí* a počet molekul *disociační rovnicí*.

I když kosmická tělesa nejsou dokonalá černá tělesa, jejich záření lze přibližně popsat jako záření černého tělesa. Například záření Slunce se dobře shoduje se zářením černého tělesa o teplotě 5 785 K. Na Zemi je černé těleso realizováno velkou dutou nádobou s malým otvorem. Záření vycházející z otvoru závisí na teplotě stěn nádoby a přibližuje se do značné míry záření teoretického černého tělesa.

7.14 Spektrální třída I

Barva hvězd odpovídá jejich povrchové teplotě. Hvězdy s různou teplotou mají různá spektra, která lidé kdysi klasifikovali do několika tzv. spektrálních tříd. Každá třída je označena velkým písmenem abecedy. Spektrální třída O patří velmi horkým modrým hvězdám s povrchovou teplotou kolem 35 000 K, naopak spektrální třída M patří velmi chladným červeným hvězdám s povrchovou teplotou kolem 3 000 K. Spektrum nás informuje nejenom o teplotě hvězd, ale i o jejich chemickém složení, pohybech, stáří aj.

Hvězdy na spodní fotografii z hvězdného oblaku v souhvězdí Střelce na nás působí jako plošný útvar ve stejné vzdálenosti. Pro starověké a středověké hvězdáře byly hvězdy otvory na nejvyšší nebeské sféře, jejímž středem byla Země. Byly tedy všechny stejně daleko. Není tomu tak – jsou od nás v nejrůznějších vzdálenostech: nejsou na dvojrozměrné ploše oblohy, jak se nám jeví, ale jsou rozprostřeny do hloubky. Přesné určení místa kosmického objektu vyžaduje nejen znát souřadnice na nebeské

sféře (tj. rektascenzi a deklinaci), ale i jeho vzdálenost od Země. Některé hvězdy na obloze jsou jasné a dříve se astronomové domnívali, že jsou veliké. Proto zavedli stupnici velikostí (tzv. magnitud). Ukázalo se však, že i slabá – sotva viditelná hvězdička – může být ve skutečnosti obrovským veleobrem, pokud je od nás velmi daleko.

7.15 Spektrální třída II

Spektrální třídy nejběžnějších hvězd tvoří řadu O, B, A, F, G, K, M, L. Snadno si ji zapamatujeme podle této studentské pomůcky: „Olda Bude Asi Fňukat, Gustave Kup Mu Lízátko“ – v angličtině: Oh, Be A Fine Girl, Kiss My Lips. Nejteplejší jsou hvězdy třídy O, nejchladnější třídy M. Barva hvězdy dovoluje přibližně odhadnout její povrchovou teplotu. Kromě těchto běžných hvězd existují i teplotní extrémy. Mimořádně horké, tzv. Wolfovy-Rayetovy hvězdy mají spektrální třídu W, která byla zařazena před třídu O. Naopak ultrachladné hvězdy, které dovolila objevit současná pozorovací technika, vedly k rozšíření klasifikace i za písmenem M. Dále následují spektrální třídy L, T a Y.

Základní třídy Harvardské klasifikace naleznete v kapitole Tabulky.

7.16 Hertzsprungův–Russelův diagram

Pokud budeme vynášet teploty a zářivosti hvězd do jednoduchého diagramu, nevyplní hvězdy oblast spojitě, ale soustředí se jen do několika míst, která souvisí s jejich vývojovým stádiem. Na spodní stupnici je teplota v tisících stupních, roste odprava doleva. Teplotě odpovídá určitá barva a spektrální třída, ta je označena na horní vodorovné stupnici. Na svislé stupnici je zářivý výkon hvězdy vynesení v jednotkách zářivosti Slunce. Všechny body odpovídají konkrétním hvězdám. Dlouhá úhlopříčná řada hvězd, na níž je i Slunce, je tzv. hlavní posloupnost. Na hlavní posloupnosti je velká většina hvězd. Setrvávají na ní nejdelší dobu svého života. Probíhá v nich přeměna vodíku na hélium – základní termojaderná reakce hvězd.

Uprostřed se od hlavní posloupnosti směrem vzhůru odštěpuje větev obrů, další vývojové stádium hvězd. V dolní části vidíme oblast bílých trpaslíků, je zde vyneseno 5 bodů. To jsou závěrečná vývojová stádía hvězd. Tento diagram se nazývá Hertzsprungův–Russelův diagram, zkráceně mu astronomové říkají HR diagram.

Na diagramu snadno najdeme teplotu a svítivost veleobra Betelgeuze, Polárky, Slunce a Síría. Ve středové oblasti obrů probíhá za stoupajících teplot (vyšších než 100 milionů K) stavba těžších atomů od uhlíku (C) dále. Hvězdy na větvi obrů pobývají kratší dobu a nakonec – po vyčerpání všech energetických zásob – končí svůj život

jako bílí trpaslíci. Pět jich je zaneseno zcela dole uprostřed. Jsou velmi malí – proto mají malou zářivost. Mezi nimi skončí za sedm miliard roků i naše Slunce. Nad větví obrů v HR diagramu jsou veleobři – na náš HR diagram jsme zanesli jen Betelgeuze.

Hertzsprung, Einar (1873–1967) byl dánský chemický inženýr, který se od roku 1902 věnoval astronomii. Zabýval se především spektrální fotometrií hvězd a otevřenými hvězdokupami. Objevil obry a trpaslíky, což dále vedlo k důležitému objevu vztahu mezi spektrem a svítivostí hvězdy. Tento vztah, nazývaný HR diagram, má základní význam v astronomii.

Russell, Henry Norris (1877–1957) by ředitelem Princetonské observatoře. Jeho nejdůležitější výzkum (publikovaný v roce 1913) vedl k HR diagramu. Ve 20. letech použil kvantovou teorii na určení chemického složení hvězdných atmosfér. Rozбором profilů Fraunhoferových čar určil poměrné zastoupení 50 chemických prvků ve sluneční atmosféře. Tuto metodu rozšířil na řadu jiných hvězd.

HR diagram vyjadřuje vztah mezi povrchovou teplotou hvězdy a jejím výkonem (zářivostí). Vztah objevil v roce 1911 dánský astronom Einar Hertzsprung (1873–1967) a nezávisle na něm v roce 1913 americký astronom Henry Norris Russell (1877–1957).

HR diagram je soustava pravoúhlých souřadnic v rovině. Na vodorovné ose jsou naneseny teploty (nebo spektrální třída či barevný index) a na svislé svítivost (nebo absolutní hvězdná velikost). Obě veličiny jsou důsledkem vnitřních vlastností hvězdy. Každá hvězda je znázorněna v diagramu jedním bodem. Pokud se stavba hvězdy nemění, zůstává i její bod na stejném místě. Vývojové změny se projeví posuvem reprezentativního bodu podél vývojové dráhy.

Reálné hvězdy jsou znázorněny bodem v diagramu. Nepokrývají diagram rovnoměrně, ale kupí se do skupin. Hlavní je v pásu, který probíhá šikmo od levého horního rohu (tj. od horkých hvězd o vysoké svítivosti) k pravému dolnímu rohu (k chladným červeným hvězdám s malou svítivostí). Tento pás se nazývá *hlavní posloupnost*. Na ní se nachází asi 90 % hvězd z našeho hvězdného okolí. Všechny hvězdy se po svém zrodu dostanou na hlavní posloupnost a tam stráví převážnou většinu svého života. Jsou chemicky homogenní, jejich stavba je jednoduchá a ve středových oblastech spalují vodík na hélium. Slunce je hvězdou hlavní posloupnosti.

V pravé horní části HR diagramu jsou červení obři. Jejich stavba je složitější, neboť ve středu je héliové jádro, v němž za teplot 100 milionů K probíhá přeměna hélia v uhlík (Salpeterova reakce). Jádro je obaleno vrstvou, v níž probíhá přeměna vodíku v hélium. Nad hlavní posloupností a nad skupinou červených obrů jsou velmi jasní a poměrně vzácní veleobři (například Rigel, Deneb, Betelgeuze). Jsou to nejhmotněj-

ší hvězdy vůbec s kratičkým životem – proto jsou tak vzácní. Před zánikem je jejich stavba značně složitá a v jejich nitru, za vysokých teplot až 3 miliardy K, se tvoří nejrůznější chemické prvky. Veleobr skončí jako neutronová hvězda nebo jako černá díra. V levé spodní části diagramu jsou bílí trpaslíci. Jsou to degenerované hvězdy bez jaderných reakcí, čerpající z velké zásoby tepla v nitru. Bílí trpaslíci jsou odumřelé hvězdy, chladnoucí a měnící se pozvolna v infračervené až černé trpaslíky.

7.17 Cefeidy

Určování ještě větších vzdáleností ve Vesmíru je značně složité. Někdy nám mohou pomoci hvězdy, kterým říkáme cefeidy. Cefeidy jsou pulzující proměnné hvězdy, u kterých můžeme snadno změřit periodu změn jejich jasnosti na obloze. Tato perioda souvisí se zářivým výkonem cefeidy. Pokud změříme periodu kolísání jasnosti, můžeme dopočítat zářivý výkon cefeidy. Podle její skutečné jasnosti na obloze pak určíme její vzdálenost. K určování vzdáleností využila tento typ proměnných hvězd poprvé Henrietta Swan Leavittová v roce 1912. Za svůj život objevila 2 400 proměnných hvězd.

Cefeidy jsou proměnné hvězdy se známou závislostí perioda/svitivost, využívají se při odhadech vzdáleností. Pojmenovány jsou podle hvězdy δ Cephei, jejíž proměnnost objevil John Goodricke (1764–1786). Vzdálenost určila za pomoci cefeid v roce 1912 poprvé Henrietta Swan Leavittová (1868–1921). Pozorovaná jasnost cefeid pravidelně kolísá. Opakuje se po čase zvaném perioda. Periodu lze snadno pozorováním určit, je stejná z jakékoliv vzdálenosti. Změřenou periodu (ve dnech) najdeme na vodorovné ose a vztyčíme tam kolmici. Výška průsečíku s přímkou jasných bodů (udávající závislost perioda-zářivost) určí zářivost cefeidy (čili absolutní magnitudu). Rozdíl mezi jasností (relativní magnitudou m) změřenou fotometrem a její skutečnou zářivostí (absolutní magnitudou) udává vzdálenost cefeidy (d) v parsecích:

$$m - M = 5 - 5 \log d.$$

Je to zároveň vzdálenost hostitelské galaxie cefeidy. Tímto způsobem lze přesně určit vzdálenost galaxií až do 100 milionů světelných roků. Pro velké vzdálenosti tato metoda již selhává, neboť cefeidy nejsou viditelné.

7.18 Cefeidy, hvězda V1

Cefeida V1 ve Velké galaxii v Andromedě znamenala pro poznání Vesmíru obrovský pokrok. Ve dvacátých letech minulého století byla známa jediná galaxie – naše Mléčná dráha. Obláček v Andromedě i ostatní galaxie byly považovány za mlhoviny v naší

Galaxií. Edwin Hubble v roce 1924 zjistil, že je obláček v Andromedě složen z mnoha hvězd. Jednou z nich byla cefeida VL. Pomocí ní určil Hubble vzdálenost obláčku a zjistil, že nejde o žádnou mlhovinu, ale o galaxii daleko za hranicemi Mléčné dráhy. Objevy dalších galaxií na sebe nenechaly dlouho čekat. Hubbleův výzkum vyústil v roce 1929 k objevu expanze Vesmíru.

Hubble, Edwin (1889–1953) byl americký astronom, který dokázal, že galaxie jsou obrovské hvězdné soustavy podobné naší Mléčné dráze. Jeho největším objevem byla přímá úměrnost mezi rychlostí, s jakou se galaxie vzdalují a jejich vzdáleností (Hubbleův zákon). Konstanta úměrnosti v Hubbleově zákonu se nazývá Hubbleova konstanta. Je mírou rozpínání Vesmíru. Největší optický dalekohled kroužící kolem Země se na jeho počest nazývá Hubbleův dalekohled.

7.19 Superoko GAIA

GAIA je evropská družice pro měření vzdáleností, jasností a spekter jedné miliardy hvězd v okolní Mléčné dráze. Startovat bude v roce 2013. V jejím ohnisku bude největší digitální kamera, která kdy byla na družici umístěna. Obrazy hvězd bude snímat „supercitlivé oko“ – kamera složená ze 106 elektronických CCD detektorů s rozlišením 4500×1966 pixelů, tj. dohromady s miliardou pixelů rozmístěných na ploše $0,5 \text{ m} \times 1 \text{ m}$. Každou z miliardy hvězd proměří sedmdesátkrát. Obrovský příval digitálních dat bude uložen ve velmi výkonném počítači na Ondřejovské observatoři. Data budou k dispozici vědcům po celém světě.

GAIA (zkratka z anglického *Global Astrometric Interferometer for Astrophysics*) je evropská sonda s integrovaným přístrojem pro astrometrii, fotometrii a spektrofotometrii. Startovat bude na palubě nosné rakety Sojuz-Fregat z kosmodromu v Kourou ve francouzské Guayaně. Celá mise by měla trvat 5 roků (do roku 2018). Na tak dlouho vydrží zásoba paliva pro malé raketové motory, jejichž účelem bude udržovat polohu a orientaci sondy v Lagrangeově bodu L2, který se nachází 1,5 milionu km za Zemí (na opačné straně, než je Slunce). Hmotnost sondy je 2 030 kg, rozměr přibližně 11 metrů, kamera bude mít 106 CCD detektorů s rozlišením 4500×1966 pixelů, tj. dohromady přibližně miliardu pixelů. Rozlišení se předpokládá 20 miliontin obloukové vteřiny.

Librační centra (Lagrangeovy body) – viz snímek 4.9.

CCD detektor (*Charge Coupled Device*) je fotoelektrický snímač, který vnitřním fotoefektem kumuluje elektrický náboj v potenciálových jámách. V zobrazovacích zařízeních jsou nejmenší rozměry jednoho CCD pixelu 9×9 mikrometrů.

7.20 Vznik hvězdy

Zrod a zánik hvězd ve Vesmíru je neustále se opakujícím procesem. Látka, která byla rozmetána do okolí při explozi supernovy v závěrečném stádiu vývoje hmotné hvězdy, se stává stavebním materiálem dalších generací hvězd. Látka z exploze supernovy se stane součástí rozsáhlých mlhovin, ve kterých vznikají globule, obrovská chladná oblaka v prostoru. Globule se smršťují vlastní gravitací a zahřívají.

Po čase se ustaví rovnováha mezi gravitačním pádem globule a tlakem její látky a vzniká objekt, kterému říkáme protohvězda. Kolem ní rotují oblaka plynu a prachu, která vytvoří protoplanetární disk neboli proplyd. Z něho mohou v budoucnosti kolem rodící se hvězdy vzniknout planety. Gravitační smršťování protohvězdy způsobuje pomalý nárůst teploty a tlaku v jejím nitru. Když teplota v jádru dosáhne přes 7 milionů kelvinů, na uvolňování energie začne postupně participovat termojaderná fúze vodíku na helium. Až jaderná energie v uvolňování energie nahradí gravitaci, protohvězda dospěje a stane se dospělou hvězdou.

Vznik hvězd – viz také snímek 4.7.

7.21 Hvězdná porodnice 30 Doradus

V sousední trpasličí galaxii, ve velkém Magellanově oblaku, je krásná mlhovina Tarantule označovaná jako 30 Doradus. Na první pohled nás upoutá výrazný chomáč jasně modrých hvězd. Je to velmi mladá hustá hvězdokupa R 136. Hvězdy v této hvězdokupě vznikly teprve před milionem roků, což je z astronomického hlediska velmi krátká doba. Uprostřed hvězdokupy se nachází 12 velmi hmotných obřích a veleobřích hvězd s velkou zářivostí. Jejich hmotnost je 40 až 80 hmotností slunečních. Největší z nich má zářivost několik milionkrát větší, než je zářivost našeho Slunce. Tato hvězdokupa má velikost kolem 50 světelných roků a nachází se v ní půl milionu velmi mladých hvězd. Časem se vlastní gravitací uspořádá v pravidelnou kulovou hvězdokupu.

Mlhovina Tarantule byla nejprve klasifikována jako obyčejná hvězda, odsud pochází označení 30 Doradus. Jako mlhovinu ji rozlišil v roce 1751 francouzský abbé a astronom Nicolas Lous de Lacaille (1713–1762). V katalogu NGC nese označení NGC 2070. Mlhovina se nenachází v naší Galaxii, ale v sousedním Velkém Magellanově oblaku. Její úhlové rozměry jsou 40×25 obloukových minut, má jasnost 8. magnitudy a je vzdálena 170 000 světelných roků. V mlhovině dochází k překotné tvorbě hvězd, proto ji nazýváme hvězdnou porodnicí.

Velký Magellanův oblak – viz snímky 2.10, 8.15.

7.22 Hvězdná porodnice NGC 604 v galaxii M 33

Na sousední galaxii M 33 v souhvězdí Trojúhelníku, kterou vidíme na levém snímku, se díváme čelně, neboť k nám míří osa její rotace. Je mnohem větší než měsíční disk, má však malý jas. Je vzdálena 2,7 milionů světelných roků. Za jasné bezměsíční noci ji lze spatřit i pouhým okem. Napravo vidíme výřez malé oblasti této galaxie, který je na levém snímku označen čtverečkem. V této oblasti se nachází mlhovina NGC 604 s průměrem 1 500 světelných roků. Tato mlhovina je opět aktivní hvězdnou porodnicí, ve které dochází k překotnému vzniku hvězd.

Hvězdné porodnice samozřejmě nalezneme i v naší Galaxii, z nejznámějších jmenujme Velkou mlhovinu v Orionu (M 42) nebo Orlí mlhovinu (M 16) v souhvězdí Hada. Mlhovina NGC 604 na snímku září 6 000× více než Velká mlhovina v Orionu. Proto ji můžeme snadno spatřit, přestože se nenachází v naší Galaxii.

7.23 Zobrazení vzdálených hvězd a galaxií gravitační čočkou

Díváme se na kupu galaxií Abell 1689, která se nachází v souhvězdí Panny a je vzdálená 2,2 miliardy světelných roků. Tato velká kupa galaxií působí jako gravitační čočka, která nám přiblíží to, co je daleko za ní. Desetkrát zesílila svět galaxie A1689-zD1, která se nachází ve vzdálenosti 13,5 miliardy světelných roků a je jednou z prvních galaxií s prvními hvězdami, které vůbec ve Vesmíru vznikly. Jejich svět zachytily v infračerveném oboru Hubbleův i Spitzerův dalekohled. Obraz těchto prvních hvězd v prvních galaxiích vidíme v červených kroužcích napravo.

Hlavní snímek nalevo pořídil Hubbleův dalekohled ve viditelném světle. Patrná je na něm kupa galaxií Abell 1689 ze souhvězdí Panny, která ve vzdálenosti 2,2 miliardy světelných roků posloužila jako gravitační čočka. V pravém sloupci vidíme detailní snímky oblasti, ve které se nachází 13,5 miliard světelných roků vzdálená galaxie, jejíž svět byl zesílen touto mezilehlou kupou galaxií.

Ve viditelném oboru není tato prvotní galaxie patrná, expanzí Vesmíru byl její svět posunut do infračerveného oboru. Proto je viditelná jen na infračervených snímcích z Hubbleova a Spitzerova dalekohledu. V chilské poušti Atacama byla právě budována obří radioteleskopická síť ALMA, která by měla dohlédnout až do temného období našeho Vesmíru, ve kterém se shlukoval vodík s héliem do prvních galaxií a hvězd v nich.

Gravitační čočka – viz snímek 7.10.

Katalog Abell – viz snímek 8.27.

7.24 Údolí stability

V nitrech hvězd se tvoří jádra některých prvků, věnujme se proto nyní na chvíli atomovým jádrům. V atomovém jádře se nacházejí protony a neutrony. Ne všechna jádra jsou ale stabilní. Pro malá jádra musí být počet protonů a neutronů přibližně vyrovnaný, ve velkých jádrech je o něco více neutronů než protonů. Na snímku je tzv. údolí stability atomových jader. Na vodorovné ose je počet protonů, na svislé počet neutronů. Modrou a červenou barvou jsou označena dlouhodobě stabilní jádra. Protony a neutrony jsou vázány v jádře jadernou silou. Vazebná energie na jednu částici postupně roste až po železo a poté opět klesá. Pokud chceme z látky získávat energii, musíme buď malá jádra slučovat, nebo velká jádra štěpit.

Protonové číslo (atomové číslo) udává počet protonů v atomovém jádře (například vodík 1, helium 2, uhlík 6, kyslík 8, uran 92). Rovná se zároveň počtu elektronů v atomovém obalu. Protonovým číslem je atom přesně charakterizován. Například každý atom s protonovým číslem 6 je uhlík, ať je kdekoli ve Vesmíru. Izotopy určitého prvku mají totéž protonové číslo, ale různé nukleonové číslo. Periodická soustava prvků je uspořádána podle protonového čísla.

Nukleonové číslo (hmotnostní číslo, izotopové číslo) je číslo, které vyjadřuje počet nukleonů (protonů a neutronů) v atomovém jádru. Připojuje se k symbolu prvku, například ^{14}C nebo C14 je radioaktivní uhlík se 14 nukleony v jádře. Izotopy mají stejný počet protonů v jádře a liší se počtem neutronů.

7.25 Mapa lehkých atomových jader

Obrázek stabilních jader můžeme také nakreslit třírozměrně, jako údolí, jehož hloubka vyjadřuje vazebnou energii nukleonů. Na kresbu počátku tohoto údolí se díváte. Čím hlouběji se jádro usadí, tím větší bude jeho vazebná energie. Ve hvězdách se protony spojují na jádra hélia a přitom se uvolní energie, která živí nejen hvězdu, ale i její okolí. Údolí, jehož počátek si prohlížíte, by se prohlubovalo až k jádrům železa. Pak by opět začalo stoupat. Znamená to, že energii lze získávat buď slučováním lehkých jader, nebo štěpením jader těžkých. Oběma procesy se můžeme dostat do nejhlubší části údolí.

Údolí atomových jader je trojrozměrná mapa atomových jader. Pod každým jádrem je prohloubena jamka. Hloubka jamky je průměrná vazebná energie jednoho nukleonu. Horní základna údolí odpovídá klidové energii volného protonu, tj. 938 MeV.

Lehká jádra (vodík, deuterium, lithium, helium) vznikala ve Vesmíru při tzv. *primordiální nukleogenezi* v několika minutách jeho stáří. Ve hvězdných nitrech vznikají

těžší jádra až po železo. Při explozích supernov mohou vzniknout ještě těžší jádra. Chemické prvky tedy vznikaly ve hvězdách. Úsek astrofyziky, který studuje vznik jader prvků, se nazývá nukleogeneze.

7.26 Fúze a štěpení

Rozevřené údolí vazebné energie jader je názornou pomůckou pro pochopení tvorby atomových jader. Údolí je rozevřené v místě, kde je nejhlubší – tj. v počtu protonů 26, které odpovídá jádru železa. Průměrná vazebná energie jednoho nukleonu v jádru železa je největší ze všech jader. Jádra s menším počtem protonů, která se nacházejí nalevo, tvoří hvězdy při termojaderné fúzi, která je jejich zdrojem energie. Na pravém dlouhém křídle otevřeného údolí jsou jádra, jejichž vazebná energie jednoho nukleonu je menší než u atomu železa. Toto navýšení klidové energie proběhlo při explozích supernov. Jejich výbuch probíhá za teplot 200 miliard kelvinů a právě z tohoto tepla se obohatila jádra za železem. Pomocí radiometrických metod lze určit, že k výbuchu jedné z „mateřských supernov naší Sluneční soustavy“ došlo před sedmi miliardami roků.

Rozevřené údolí vazebné energie jader. Před otevřením (dvojitá modrá šipka) to byl kvádr, jehož vodorovná osa odpovídala počtu neutronů v jádru. Kolmá (předozadní) osa odpovídala počtu protonů – tedy prvku. Je to prostorová mapa atomových jader (nuklidů), v níž hloubka odpovídá vazebné energii jednoho nukleonu v jádře. Z těchto vazebných energií pochází záření hvězd.

Jádra jsou budována z protonů, jejichž klidová energie je 938 MeV. Ta odpovídá rovině pokrývající údolí. V údolí každému nuklidu odpovídá jeden stupínek. Jeho hloubka pod 938 MeV odpovídá průměrné vazebné energii jednoho nukleonu v jádře. Tuto vazebnou energii odevzdal proton (ze svých původních 938 MeV) v jádru hvězdy během jejího života. A právě z těchto rozdílů (tj. vazebných energií znázorněných hloubkou v údolí) pochází záření hvězd. Do železa – nejhlubší místo (26 protonů) žijí obří hvězdy – fúzí vodíku. Další nuklidy mají nižší vazebnou energii – a jsou vytvořeny supernovou – výbuchem obří hvězdy.

7.27 Fúze ve hvězdách

Ve žhavém nitru hvězd hlavní posloupnosti se každou sekundu přeměňují miliardy tun vodíku na hélium. Jen staré červené hvězdy, jako je Antares v letním souhvězdí Štíra nebo Betelgeuze v zimním Orionu, přeměňují každou sekundu desítky miliard tun hélia na uhlík. Uhlík je základním prvkem pro každý živý organizmus, z něho je celá biosféra. Bez uhlíku bychom zde nebyli, nebylo by na Zemi života. Všechny atomy uhlíku v biosfě-

ře jsou hvězdného původu: vznikly totiž před sedmi miliardami roků z hélia v obří mateřské hvězdě, která zde spolu s dalšími hvězdami existovala před vznikem naší Sluneční soustavy. Jsme potomky dávných hvězd.

Hvězdy jsou obrovské termojaderné reaktory. Jsou mnohem dokonalejší a účinnější než pozemské reaktory na uran. Napodobit hvězdy, tedy zhotovit termojaderné reaktory, je cílem energetiků po celém světě. Jsou účinnější než současné jaderné elektrárny. Jako palivo se používá deuterium, kterého je v mořích mnoho. Termojaderné reaktory také nemají žádné problémy s radioaktivním odpadem.

7.28 Vlastní pohyb hvězd

Hvězdy se v mezihvězdném prostoru pohybují vůči sobě rychlostmi kilometrů až desítek kilometrů za sekundu. Proto se pomalu mění i tvar souhvězdí na obloze. Generace před námi viděla jiná souhvězdí, než uvidí generace po nás. Naše Slunce a jeho planetární soustava letí například rychlostí 20 km za sekundu směrem k bodu zvanému sluneční apex v souhvězdí Pastýře (Bootes). Z hvězd na obloze se nejrychleji pohybuje tzv. Barnardova šipka, která se na obloze přesouvá rychlostí přes 10 obloukových vteřin za rok.

Barnardova hvězda (Barnardova šipka) je červený trpaslík v souhvězdí Hadonoše (Ophiuchus). Objevil ji v roce 1916 americký astronom Edward Barnard (1857–1923) při porovnávání fotografických snímků z roku 1894 a 1916. Hvězda je vzdálená necelých 6 ly. Její zářivost je 2500× menší než zářivost Slunce. Barnardova hvězda je pozoruhodná ze dvou důvodů: pro velký vlastní pohyb po obloze a pro malé oscilace dráhy. Pohybuje se téměř přesně severním směrem úhlovou rychlostí 10,36" za rok, což v přepočtu znamená, že za 180 let se posune po obloze o měsíční průměr. Jemné oscilace jsou způsobeny planetou o hmotnosti 1,5× větší, než je hmotnost Jupiteru. Obě tělesa obíhají kolem společného těžiště, které se pohybuje po přímce. Hvězda se pohybuje směrem k nám rychlostí 140 km s⁻¹. Její celková rychlost je 165 km s⁻¹. Lze vypočítat, že se k nám nejvíce přiblíží za 8 000 let, a to na vzdálenost 4 ly.

7.29 Hvězdný vývoj

Stavba a tedy i život a zánik hvězd závisí na jejich hmotnosti a na jejich chemickém složení. Protože chemické složení zárodků hvězd je zhruba stejné, vlastnosti hvězd závisí především na jejich hmotnosti. Jejich osud je tedy předurčen hmotností globule, z níž se hvězdy rodí. Čím je hmotnost větší, tím rychleji život hvězdy probíhá. V principu jsou možná čtyři závěrečná stádia. Velmi malé zárodky se stanou hnědými trpaslíky, aniž by někdy zazářily jako skutečná hvězda. Hvězdy, jako je naše Slunce, projdou fází obra, poté

odhodí své obálky v podobě planetární mlhoviny a nakonec se stanou bílým trpaslíkem. Ještě hmotnější hvězdy explodují jako supernovy a nakonec po nich zůstane neutronová hvězda. A nejhmotnější hvězdy skončí po grandiózní explozi jako černé díry.

Hvězdný zárodek končí svůj život v závislosti na hmotnosti jako hnědý trpaslík (který září jen z gravitační energie), bílý trpaslík, neutronová hvězda nebo černá díra. Z globule menší než 0,08 hmotnosti Slunce nevznikne hvězda proto, že teplota uvnitř nedosáhne hodnoty pro zažehnutí termojaderné syntézy. Naopak z globule o hmotnosti větší než stonásobek hmotnosti sluneční nevznikne hvězda proto, že je tlakem záření (vznikajícího gravitačním smršťováním) rozmetána do mezihvězdného prostoru. U ostatních hvězd se slučuje vodík na hélium a později i na těžší prvky. Po vyčerpání zásob energie (gravitační a jaderné) hvězda odumře. Ty hmotnější rozmetají při explozi supernovy prvky, které v nich vznikly, do okolí. Tam obohatí materiál, ze kterého budou vznikat další generace hvězd.

7.30 Vnitřní stavba veleobra před explozí

Velmi hmotné hvězdy se po fázi hvězdy hlavní posloupnosti, kdy slučují vodík na hélium, stanou červenými veleobry, v jejichž nitru probíhá slučování jader na těžší a těžší prvky až po železo, které má nejvyšší vazebnou energii na nukleon. Struktura veleobra připomíná cibuli, ve slupkách různě vzdálených od jádra probíhají různé reakce. Po vyčerpání většiny paliva hvězda exploduje jako supernova. Při této explozi vznikají i prvky těžší, než je železo, a látka obohacená o tyto prvky se stane zárodečným materiálem pro vznik dalších hvězd. Velmi hmotná hvězda skončí svůj život jako neutronová hvězda nebo jako černá díra.

Veleobr je hvězda, jejíž absolutní hvězdná velikost je v intervalu -5 mag až -9 mag. Dělí se na jasné veleobry (Ia) a normální veleobry (Ib). Modrobílí jasní veleobři jsou na horním konci hlavní posloupnosti (O hvězdy a B hvězdy). Jejich poloměry převyšují asi $20\times$ sluneční poloměr. Příkladem je Rigel (B8 Ia, absolutní velikost $-8,1$). Červení veleobři jsou v HR diagramu nad oblastí obrů a jejich poloměry převyšují několiksetkrát až tisíckrát sluneční poloměr (u spektrální třídy M). Příkladem je Betelgeuze (M2 Ib, absolutní hvězdná velikost $-7,2$).

Vzhledem k tomu, že zářivost veleobra je 10^4 – $10^7\times$ větší než sluneční zářivost, kdežto jejich hmotnost (tj. zásoby vodíku) jen 10 – $100\times$ větší, odehraje se celý vývoj veleobra během několika statisíců až milionů let. Za tuto krátkou dobu proběhnou všechny termonukleární reakce hvězdné nukleosyntézy – od hoření vodíku až po vznik prvků kolem železa. Pak veleobr zaniká jako supernova typu II a zůstane po něm neutronová hvězda (pulzar) nebo (po těch největších) černá díra.

Teplota v jádru hvězdy ze železa se pohybuje kolem 3,5 miliardy kelvinů. Ze železa nemůže jaderná síla žádnou energii „vymáčknout“. Prvky za železem vznikají až při závěrečné explozi. Hvězda se zhroutí pod vlastní tíhou, zahřeje se na teplotu 200 miliard kelvinů a vybuchne jako supernova typu II.

Přeměna vodíku v těžší prvky probíhá zpočátku stejně – jen mnohem rychleji – jako v našem Slunci a jiných hvězdách. Se stoupající teplotou se vodík mění v hélium, hélium v uhlík, uhlík v kyslík, neon atd. U hvězd s hmotností jako Slunce řetěz reakcí končí u uhlíku a kyslíku. Takové hvězdy dál už jen chladnou a pokračují jako bílí trpaslíci.

Veleobři mají hmotnost až několik desetinásobků hmotnosti Slunce, tedy i větší vlastní gravitaci a mohou pokračovat ve stlačování a zahřívání svého nitra. V posledním období života hvězdných veleobrů stoupne teplota v jejich středu až přes tři miliardy stupňů. Za takových teplot jádra hořčíku a křemíku splynou a vznikne řada kovů jako chrom, mangan, železo, nikl, kobalt, měď, zinek atd. V této směsi jaderných reakcí se uvolňují neutrony, které pak snadno vniknou do jader okolních atomů (protože neutrony nemají elektrický náboj a nejsou od jader odpuzovány). Tím vznikne mnoho jiných prvků, které známe z chemie.

Středové oblasti veleobra se prudce zhroutí pod vlastní tíhou a vytvoří neutronovou hvězdu (o průměru asi 10 km). Vnější vrstvy obří hvězdy se zřítí na nepoddajný povrch neutronové hvězdy. Při dopadu se stlačí a zahřeje na nepředstavitelnou teplotu dvousetmiliard stupňů. Při této teplotě mohou vzniknout nejruznější těžká jádra (těch prvků, které jsou na konci periodické tabulky prvků). Většina vzniklých jader je radioaktivních – bohatých na energii, která do nich byla uložena v onom strašném žáru zanikajícího veleobra. Plyny zahřáté dopadem na tak vysokou teplotu a obohacené o mnoho těžkých prvků se rozletí rychlostí několika kilometrů za sekundu a vytvoří obal nazvaný „zbytky supernovy“.

Vazebná energie těžkých jader (například uranu, thoria) je poměrně nízká. Lze je rozštěpit na dvě lehčí jádra s vyšší vazebnou energií na nukleon a tím získat energii. To se děje v atomových elektrárnách.

Všechny prvky za vizmutem jsou radioaktivní, samovolně se rozpadají na lehčí a vydávají teplo, tzv. geotermální energii. Teplo lávy a horkých minerálních vod je tedy žár naší dávné supernovy, která před sedmi miliardami roků vytvořila prvky pro naši Sluneční soustavu a tedy i biogenní prvky pro biosféru a náš organizmus.

Veleobr Betelgeuze – viz snímek 7.4.

Supernovy – viz také snímek 7.32, 7.33, 9.8

7.31 Planetární mlhoviny

Planetární mlhoviny, které si můžeme symbolicky představit jako „věnce hvězd“, jsou pozůstatky závěrečné agonie hvězd podobných našemu Slunci. Na konci života taková hvězda odhodí vnější obálky a vytvoří kolem sebe krásnou planetární mlhovinu. Mlhovina nemá nic společného s planetami, jde jen o historický název z doby, kdy v malých dalekohledech tyto mlhoviny připomínaly kotoučky planet. Planetární mlhovina obohacuje vesmírné okolí o prvky vzniklé v bývalé hvězdě. Tvary některých planetárních mlhovin připomínají dva laloky nebo motýlí křídla. Takový tvar způsobuje buď přítomnost magnetického pole, nebo průvodce umírající hvězdy.

V planetární mlhovině se z málo těkavých látek (například uhlíku nebo křemíku) tvoří prachová zrna (přesně řečeno kouřová zrna). Na nich se zachycují a ulpívají atomy ostatních prvků. Slučují se a tak vznikají různé molekuly – anorganické i důležité pro život (například aminokyseliny). Z takového materiálu pak vznikají další generace hvězd.

Bílý trpaslík je pozůstatkem červené obří hvězdy. Při agonii hvězdného obra se v jeho středu smršťuje, zhušťuje a zahřívá hustá oblast velikosti Země. To je bílý trpaslík, který je obklopen rozsáhlým řídkým obalem – vysokým několik desítek milionů kilometrů. Tlakem svého záření bílý trpaslík rozpptlí obal do kosmického prostoru a můžeme ho pozorovat. Rozehnané plyny obalu se rozpínají rychlostí 20 až 30 kilometrů za sekundu. Nazývají se planetární mlhovina.

Odhalený bílý trpaslík chrlí do okolního prostoru lavinu rentgenového a ultrafialového záření a přitom velmi rychle vychládá. Čím je starší, tím je chladnější, až nakonec vychladne na černého trpaslíka. Bílý trpaslík vyzáří své teplo za 8 až 9 miliard roků a zmizí v kosmické ledové tmě.

Mimo osamocených bílých trpaslíků je i mnoho takových, kteří jsou v těsné dvojici s normální živou hvězdou. Ta je ze žhavých plynů (plazmatu) a probíhají v ní termonukleární reakce. Plyny z normální hvězdy jsou přitahovány trpaslíkem a přepadávají na jeho povrch jako mohutná lavina vodíkových plynů. Na trpaslíkovi se během doby hromadí vrstva žhavého vodíku, a to tak dlouho, až dojde k obrovskému termonukleárnímu výbuchu. Je to kosmická vodíková bomba na povrchu bílého trpaslíka. Projeví se jako vzplanutí hvězdy, které nazýváme nova.

Planetární mlhovina – viz snímek 6.29.

Zánik Slunce – viz snímky 6.27, 16.29, 11.25.

Červení obři – viz také snímek 7.16.

7.32 Supernovy

Na levém snímku je pozůstatek po explozi supernovy vzniklé při hroucení veleobří hvězdy v závěrečné fázi života. Takové supernovy označujeme jako typ II. Snímek této supernovy byl pořízen v rentgenovém záření družicí Chandra. Je to supernova ve vzdálenosti 20 tisíc světelných roků v souhvězdí Kentaura. Na pravém snímku je Keplerova supernova typu Ia, jejíž historie je zcela odlišná. Jde totiž o dvojhvězdu, ve které přetéká plazma z normální hvězdy na bílého trpaslíka tak dlouho, pokud jeho hmotnost nedosáhne hodnoty 1,4 hmotnosti Slunce. To je kritická neboli Chandrasekharova mez, při níž se bílý trpaslík (srovnatelný s velikostí naší Země) gravitací zhroutí v neutronovou hvězdu o rozměru přibližně 10 kilometrů. Uvolněná energie zažehne řadu explozivních termojaderných reakcí, které hvězdu rozmetají do okolí. Supernovy Ia mají v maximu stejnou zářivost, takže jsou vhodnými milníky pro měření vzdáleností v dalekém Vesmíru.

Keplerova supernova je poslední ze čtyř supernov pozorovaných v Galaxii (v roce 1006, 1054, 1572 a 1604). Kepler ji pozoroval v říjnu roku 1604 v souhvězdí Hadonoše (Ophiuchus) jako hvězdu zdánlivé hvězdné velikosti $-2,5$ mag. Byla pozorovatelná pouhým okem po celý rok a pozorovali ji astronomové v Evropě, Číně a Koreji. Dnes je velmi slabá, jen 19 mag. V maximu dosáhla absolutní hvězdné velikosti $-19,0$ mag. Kepler s Fabriciem určili její polohu s takovou přesností, že Walter Baade mohl v roce 1943 identifikovat mlhavý obláček na témže místě jako zbytky supernovy po Keplerově hvězdě. Podrobné snímky se podařilo získat až rentgenovým dalekohledům. Křivka světelných změn sestavená z původních pozorování ukazuje, že po 300 dnech poklesla její jasnost z maximální $-2,5$ mag na $+4$ mag a že to byla supernova typu Ia.

Neutronová hvězda je pozůstatek veleobří hvězdy. Po veleobru – do něhož by se vešla Sluneční soustava se všemi vnitřními planetami – zůstala uprostřed nesmírně hustá neutronová koule o průměru asi deset kilometrů. Od ní se vzdalují rychlostí několika tisíc kilometrů za sekundu vnější části veleobra, kterým říkáme zbytky supernovy. Oboje – mladá neutronová hvězda a zbytky pádící mezihvězdným prostorem – jsou zdrojem rentgenového záření.

Mladá neutronová hvězda si z minulého života zachovala: a) obrovskou zásobou tepla (neboť teplota jejího nitra při jejím vzniku je kolem bilionu stupňů), b) nesmírnou rotační energií (tzv. milisekundové pulzary se otočí několikrát za sekundu), c) obrovskou gravitační energií (pro velkou hmotnost a malý průměr) a d) nesmírně silný magnetismus – bilionkrát silnější než magnetismus naší Země. V důsledku tak obrovské magnetické síly (až miliarda tesla) jsou všechny atomy protaženy do dlouhých válečků a všechna hmota je pevnější než ocel.

Je podivuhodné, že tak obrovské množství energie (ve čtyřech různých formách) se může vměstnat do tak nepatrného tělesa, jakým je neutronová hvězda. Nakupení nesmírné energie v nepatrném tělese obklopeném mrazivým mezihvězdným prostředím je nepřírozené. Podle druhého zákona termodynamiky se neutronová hvězda rychle zbavuje své energie. Činí to intenzivním zářením gama, rentgenovým, ultrafialovým a rádiovým zářením i světlem. Svým magnetickým polem urychluje elektrony, protony a jádra atomů do rychlostí blízkých rychlosti světla. Až neutronová hvězda předá do okolního vesmírného prostoru své energetické bohatství, zůstane z ní vychladlá černá neutronová koule.

7.33 Rovnováha hvězdných ostatků

Na grafu jsou rovnovážné konfigurace hvězdných pozůstatků, ve kterých už neprobíhá termojaderná syntéza. Tato rovnováha může být stabilní – je označena plnou čarou – a nestabilní. Nestabilní oblasti jsou čárkovány a na šedém pozadí. Bílý trpaslík je stabilní do hmotnosti 1,4 hmotnosti Slunce. Pokud je bílý trpaslík součástí dvojhvězdy a přetéká na něho látka, tak po překročení této meze exploduje jako supernova typu Ia. U neutronových hvězd je mez stability kolem dvou slunečních hmotností. Nad touto hodnotou je neutronová hvězda také nestabilní.

Osamocený bílý trpaslík vyzařuje teplo, které získal v minulém životě jako hvězda s termojadernými reakcemi. Chladne, červená (jako chladnoucí kamna rozžhavená dobřela). Zcela jinak skončí bílý trpaslík, který je součástí dvojhvězdy a vzhledem k přetoku látky může jeho hmotnost stoupat a dosáhnout hodnoty 1,4 hmotnosti Slunce. Stane se nestabilním a zhroutí se vlastní gravitací na neutronovou hvězdu. Uvolněná energie se projeví jako supernova typu Ia. Tíha horních vrstev překoná tlak degenerovaného plynu. Dojde k zapálení nové série jaderných reakcí. Jími uvolněná energie hvězdu zcela rozmetá. Po supernovách typu Ia tedy nepozorujeme pozůstatky ve formě neutronové hvězdy.

Degenerace – viz snímek 10.21

7.34 Černé díry

Černá díra je kosmický objekt s hmotou natolik stlačenou, že z něho nemůže uniknout žádná částice ani žádný světelný paprsek. Dříve se říkalo „kolabující hvězda“ nebo „zamrzlá hvězda“. Naše Slunce bychom museli stlačit na objekt s poloměrem pouhé 3 kilometry, aby se stalo černou dírou a naši Zemi dokonce na 9 milimetrů. Velmi hmotné hvězdy často končí jako černé díry. Kolem nich rotuje plazma v podobě akrečního disku. Látka padající z disku do černé díry se zahřívá a intenzivně září. Z akrečního disku

dopadne do černé díry jen část částic. Některé se před pádem zachrání a jsou vytlačovány magnetickým polem v okolí černé díry do prostoru ve tvaru dvou výrazných výtrysků. Paradoxně tak okolí černé díry nebývá černé, ale intenzivně září.

Schwarzschildův poloměr (gravitační poloměr) je kritický poloměr hmotné hvězdy, při němž se během gravitačního kolapsu hvězda stává černou dírou. Úniková rychlost v místě Schwarzschildova poloměru je rovna rychlosti světla. Pro objekt o hmotnosti M platí: $R = 2GM/c^2$, kde G je gravitační konstanta, c rychlost světla. Tento poloměr se nazývá podle Karla Schwarzschilda (1873–1916), který na základě rovnic obecné teorie relativity ukázal, že je dolní hranicí pro poloměr statického tělesa. Zhroutí-li se masivní hvězda pod sféru vymezenou tímto poloměrem (tzv. Schwarzschildovu sféru), její hroucení pokračuje a vede k singularitě, která se vymyká dalšímu popisu. Pro vnějšího pozorovatele pak sféra představuje horizont událostí, neboť z jejího povrchu k němu nemůže uniknout ani částice, ani foton.

Z uvedeného vzorce lze vypočítat, že Schwarzschildův poloměr obyčejné hvězdy je několik kilometrů až desítek kilometrů. Protože jejich poloměr je mnohem větší než udává výše uvedený vzorec, má pro ně jen formální význam. Dostatečně hmotné hvězdy se však po vyhoření svého jaderného paliva zhroutí pod svůj Schwarzschildův poloměr a stanou se z nich černé díry. Podle obecné teorie relativity smršťování hmoty v černé díře nezadržitelně pokračuje, neboť neexistuje žádná síla mohutnější než její vlastní gravitace. V konečném čase překročí hustota smršťující se hmoty jakoukoliv mez (matematici hovoří o singularitě).

V okolí rotující černé díry se vyskytuje značné množství hmoty, která vytváří tzv. tlustý akreční disk. Jde o analogii prstenců v okolí velkých planet (Jupiter, Saturn, Uran, Neptun), které jsou ale naopak tenké. Ve směru rotační osy může unikat záření a velké množství urychlených nabitých částic. Vytvoří se dva výtrysky, které jsou ve větších vzdálenostech od černé díry brzděny mezihvězdným prostředím. V místech interakce výtrysků s okolním prostředím je generováno rádiové záření. Výtrysky proto často končí intenzivními rádiovými laloky. Mechanismus vzniku výtrysků popisuje tzv. Blandfordův-Znajekův proces na základě interakce černé díry s okolním magnetickým polem.

Černá díra si při vzniku ponechává jen informaci o hmotnosti, momentu hybnosti a náboji. Všechny ostatní atributy hmoty (dipólové, kvadrupólové momenty, různá kvantová čísla) jsou při průchodu horizontem zapomenuty. Tomuto tvrzení se říká „no hair“ teorém, v překladu „černá díra nemá žádné vlasy“.

Černé díry podle velikosti

Prvotní (primordiální) černé díry: Tyto černé díry by měly mít nepatrné rozměry elementárních částic a mohly vznikat v raných fázích vývoje Vesmíru. Jestliže existují,

měly by díky Hawkingovu vypařování intenzivně zářit. Pozorovat takový objekt by bylo možné jen v naší bezprostřední blízkosti (Sluneční soustavě), což se doposud nepodařilo, a tak jsou primordiální černé díry jen hypotetickými objekty.

Hvězdné černé díry: Tyto černé díry vznikly jako závěrečné fáze hvězdného vývoje a jejich hmotnosti jsou několikanásobkem hmotnosti Slunce. Takových objektů se v naší Galaxii pozoruje velké množství, uveďme například první černou díru v souhvězdí Labutě, která se projevuje jako rentgenový zdroj Cyg X1.

Galaktické černé díry: Černé díry s hmotností v milionech až miliardách Sluncí se nacházejí v jádrech většiny velkých galaxií. Tvoří jádra aktivních galaxií. Černá díra v centru naší Galaxie má hmotnost 4 miliony Sluncí, černá díra v centru galaxie M 87 má extrémní hmotnost 7 miliard Sluncí.

7.35 Výtrysk z černé díry

U mnoha černých děr pozorujeme výrazné výtrysky látky v ose rotace. Část částic padajících z akrečního disku do černé díry je zachycena magnetickým polem a vymršťována relativistickými rychlostmi ve směru rotační osy objektu. Výtrysk z černé díry září v ultrafialové i rentgenové oblasti. Vymršťované částice se postupně brzdí o okolní prostředí a ve větší vzdálenosti se rozplynou do charakteristických laloků, ze kterých můžeme sledovat rádiové záření. Proto jim někdy říkáme rádiové skvrny.

Největší hvězdní velebobři (s hmotností větší než deset hmotností Slunce) skončí svůj krátký zářivý život propadem do **černé díry**. Zhrouťe se do tzv. singularity, to jest do bodu o nulovém objemu. V singularitě přestane existovat prostor i čas a hvězdný velebobr je stlačen v tajemné „něco“, o němž nikdo nic neví. Víme však, že ono „tajemné něco“ si ponechalo v okolním prostoru gravitační přitažlivost. Gravitační přitažlivost je tak obrovská, že ze vzdálenosti nazývané Schwarzschildův poloměr neunikne nic. Ani částice, ani paprsek světla.

Z minulého života si černá díra odnesla obrovskou gravitační energii. Ta se projevuje především ve dvojhvězdách, v nichž jednou složkou je černá díra. Projevuje se to některým ze tří způsobů: 1) neviditelná černá díra a viditelná obyčejná hvězda obíhají kolem společného těžiště. Z pohybů viditelné hvězdy lze určit hmotnost černé díry. Tímto způsobem astronomové dokázali existenci mnoha černých děr. 2) černá díra k sobě z obyčejné hvězdy přetahuje proud plynů. Nepadají do ní přímo, ale ve víru po spirále, podobně jako vytéká voda vany. Kolem černé díry se tak vytváří vír zvaný akreční disk. Do akrečního disku velkou rychlostí dopadá proud plynů, zahřívá se a září v rentgenovém oboru – stejným způsobem jako v lékařském rentgenu, v němž

rychlé elektrony při dopadu na anodu vyzáří svou pohybovou energii jako paprsky X. Takových dvojhvězd – nazývaných rentgenové dvojhvězdy – je už známo mnoho. 3) světelné paprsky procházející v blízkosti černých děr se ohýbají. Černá díra tak působí jako gravitační čočka. Jestliže černá díra přechází mezi vzdálenou hvězdou a pozorovatelem, hvězda se na chvíli intenzivně rozjasní. Několik observatoří po světě se věnuje takovému pozorování (projekt nazývaný MACHO).

Pro nás je životně důležitý veleobr, který v tomto místě Vesmíru žil a vybuchl před sedmi miliardami roků. V plynech, které při svém zániku umírající veleobr odmrštil do kosmického prostoru, byly ty atomy uhlíku, kyslíku, síry, fosforu..., zkrátka atomy všech biogenních prvků, ze kterých (po sedmi miliardách roků) byl vybudován náš organizmus. Materiál, z něhož je náš organizmus, je tedy sedm miliard roků starý. Jak to vysvětlit: atomy odvržené umírajícím hvězdným veleobrem se smísily s okolní mezihvězdnou hmotou a vytvořily mlhovinu, nazývanou sluneční mlhovina. Později – za dvě miliardy roků po zániku veleobra – gravitace vytvořila z této mlhoviny Sluneční soustavu. Mohli bychom tedy toho dávného hvězdného veleobra považovat všichni za svého hvězdného předka. O černé díře – jeho pozůstatku – nevíme, je to jedna z černých děr, které v zapomenutí a nepozorovány obíhají ledovým kosmickým prostorem kolem středu Galaxie.

7.36 Cyg X1 – první černá díra

Rentgenový zdroj Cygnus X1 v souhvězdí Labutě byl detekován družicí Uhuru již v roce 1964. Teprve v roce 1971 ukázal anglický astronom Paul Murdin, že se v tomto místě s největší pravděpodobností nachází černá díra. Je součástí dvojhvězdy, a tak černá díra obíhá kolem modrého veleobra, ze kterého na ni přetéká látka a vytváří akreční disk. Z této černé díry byly detekovány i typické výtrysky látky končící rádiovými skvrnami. První objevená černá díra se nachází ve vzdálenosti 6 000 světelných roků a má hmotnost rovnou osminásobku hmotnosti Slunce.

K dalším černým děrám objeveným v naší Galaxii patří objekt GRS 1915+105 zářící v gama oboru. Nachází se v souhvězdí Orla ve vzdálenosti 40 000 světelných roků. Objekt byl objeven v roce 1998 a podle naměřených parametrů jde opět o černou díru, která je součástí dvojhvězdy. Zajímavé je, že výtrysky z této černé díry nevyvrhují látku kontinuálně, ale s periodicitou přibližně 30 minut. Každou půlhodinu je výtrysky vyvrhnuto urychlené plazma o hmotnosti 10^{23} kg.

Černé díry – viz snímek 7.34.

Souhvězdí Labutě – viz snímek 6.5.

7.37 Vznik černé díry

Černé díry nemusí být jen pozůstatkem po vývoji velmi hmotné hvězdy. Černá díra může vzniknout i splynutím dvou neutronových hvězd. Pokud kolem sebe obíhají dvě neutronové hvězdy, vyzařují gravitační vlny a ztrácejí energii. Po spirále se k sobě blíží a jejich oběžná perioda se zkracuje. Nakonec splynou v jediné těleso – černou díru. Uvolněná energie se vyzáří v podobě obřího gama záblesku.

Jedním z uvažovaných mechanismů vzniku gama záblesků je splynutí dvou neutronových hvězd. Jejich spojením vzniká černá díra. Tento proces doprovází krátký záblesk v oboru gama. Trvání tohoto druhu záblesků by mělo být řádově v milisekundách a měly by mít minimální optický dosvit. Patřit by mezi ně mohl například záblesk GRB 050509b z 9. května 2005, který byl pozorován gama observatoří SWIFT a následně dalšími dalekohledy včetně pozemských. Záblesk trval pouhých 30 milisekund a byl pozorován cca 5 minut dlouhý dosvit pouze v rentgenovém oboru. Spojení dvou neutronových hvězd by mělo být také doprovázeno intenzivním vyzařováním gravitačních vln.

Zdroje k sedmé prezentaci

- 7.1 <http://hubblesite.org/gallery/album/entire/pr1998028d/>
- 7.2 <http://home.zcu.cz/~smid/vladana/orion/orion50.jpg>
- 7.3 <http://www.astronet.ru/db/msg/1190041/ori.html>
<http://10minuteastronomy.files.wordpress.com/2009/11/nova-eridani-2009-chart-1.jpg>
- 7.4 http://apod.nasa.gov/apod/image/9804/betelgeuse_hst_big.jpg
<http://www.allthesky.com/constellations/orion/constell.html>
- 7.5 http://panther-observatory.com/gallery/deepsky/doc/NGC896_F3_mapped_60.htm
- 7.6 http://www.youtube.com/watch?v=_VEs11K0ATk&feature=related
- 7.7 <http://www.esa.int/esa-mm/mmg.pl?b=b&keyword=sun%20surface&single=y&start=23>
<http://hubblesite.org/newscenter/archive/releases/solar%20system/jupiter/2006/19/image/c/>
archiv autora, úpravy AGA
- 7.8 <http://www.spacetelescope.org/static/archives/images/screen/opo9548a.jpg>

- 7.9 <http://blogs.vanderbilt.edu/research/files/Low-mass-brown-dwarf.jpg>
- 7.10 <http://www.nature.com/nature/journal/v467/n7314/images/467405a-f1.2.jpg>
archiv autora
- 7.11 archiv autora
- 7.12 <http://soho.nascom.nasa.gov/gallery/images/mdi20031028.html>
- 7.13 NASA + archiv autora
- 7.14 http://www.wlcastleman.com/astro/tsp04/astrophot/sagittarius_starcloud_large.htm
archiv autora
- 7.15 kresba AGA podle zdroje autora
- 7.16 archiv autora
- 7.17 kresba AGA podle archivu autora
- 7.18 <http://www.spacetelescope.org/static/archives/images/screen/opo1115a.jpg>
- 7.19 http://sci.esa.int/science-e-media/img/dc/Gaia_Spacecraft.jpg
http://sci.esa.int/science-e-media/img/f7/Gaia-CCD-array-assembly1_22-04-2011.jpg
- 7.20 <http://chandra.harvard.edu/photo/2005/casa/>
<http://www.ipac.caltech.edu/2mass/gallery/fest1-457atlas.jpg>
<http://hubblesite.org/newscenter/archive/releases/star/protoplanetary%20disk/2001/13/image/c/>
<http://www.spitzer.caltech.edu/images/1527-ssc2005-26b-Portrait-of-Our-Dusty-Past>
- 7.21 <http://imgsrc.hubblesite.org/hu/db/images/hs-2009-32-a-full.jpg.jpg>
- 7.22 http://apod.nasa.gov/apod/image/0211/ngc604_hst_full.jpg
- 7.23 <http://imgsrc.hubblesite.org/hu/db/images/hs-2008-08-a-print.jpg>
- 7.24 <http://img.docstoccdn.com/thumb/orig/4876970.png>
- 7.25 kresba AGA
- 7.26 kresba AGA
- 7.27 archiv autora + kresba AGA
- 7.28 kresba AGA

- 7.29 <http://nowere.net/b/src/1340273919880.jpg>
- 7.30 http://essayweb.net/astronomy/images/Stellar_Evolution_large.jpg
- 7.31 <http://hubblesite.org/newscenter/archive/releases/nebula/planetary/2007/09/image/a/>
<http://hubblesite.org/newscenter/archive/releases/nebula/planetary/2009/05/image/a/>
<http://hubblesite.org/newscenter/archive/releases/nebula/planetary/2000/28/image/a/>
<http://hubblesite.org/newscenter/archive/releases/nebula/planetary/1997/38/image/a/>
- 7.32 <http://chandra.harvard.edu/photo/2007/g292/>
<http://chandra.harvard.edu/photo/2007/kepler/>
- 7.33 archiv autora
- 7.34 http://science.nasa.gov/media/medialibrary/1997/11/03/ast06nov97_1_resources/bergeron.jpg
http://st-listas.20minutos.es/images/2011-11/309460/3247312_640px.jpg?1322644979
<http://www.educatedearth.net/media/49/supermassive-black-hole-110216.jpg>
<http://media.wiley.com/Lux/51/183951.image0.jpg>
- 7.35 <http://www.nrao.edu/pr/1999/m87/m87.disk.nolabels.jpg>
- 7.36 http://www.tione.ru/_ph/28/633915525.jpg
- 7.37 http://chandra.harvard.edu/photo/2005/grb050709/neutron_collide.jpg
<http://chandra.harvard.edu/resources/animations/neutronstars.html?page=3>



8. Hvězdná společenství

Gravitace je nejslabší ze všech čtyř sil (interakcí), které z počátečního kvarkového-gluonového plazmatu budují z Vesmíru uspořádaný kosmos. Gravitace ale jako jediná interakce působí bez výjimky na všechna tělesa. Silná a slabá interakce mají konečný dosah a na velkých vzdálenostech se neuplatní. Elektromagnetická síla má sice nekonečný dosah, ale vesmírná tělesa jsou elektricky neutrální, a tak gravitace zůstává jedinou a rozhodující silou, která působí napříč propastnými vzdálenostmi ve Vesmíru. Tělesům s rozměry nad 500 km dává jejich vlastní gravitace kulový tvar, udržuje nás na Zemi a Zemi a ostatní planety u Slunce. Gravitace zhušťuje mlhoviny do hvězd a planet a postupně zahřívá hvězdy, aby v nich mohla začít probíhat syntéza jader těžších chemických prvků. Je „porodní bábou“ hvězd i jejich hrobařem. Hvězdy sdružuje do větších hvězdných společenství – hvězdokup a galaxií. Gravitace seskupuje galaxie do skupin a galaktických kup.

Co je gravitace? Je to zakřivení prostoru (podle obecné teorie relativity) nebo ji zprostředkují částice pole – gravitony (podle kvantové teorie)? Odpověď na tuto otázku neznáme. V současnosti je gravitace popsána za pomoci zakřiveného prostoru a času, na kvantovou teorii gravitace zatím lidstvo čeká.



Hvězdy žijí v obrovských společenstvích – podobně jako lidé žijí ve velkoměstech. Tato hvězdná velkoměsta se nazývají galaxie. Naše Slunce a 200 miliard jiných hvězd žijí v galaxii, které říkáme Galaxie (s velkým písmenem G na počátku) nebo Mléčná dráha. Kdybychom se podívali na naši Galaxii ze vzdálenosti milionu světelných roků, uviděli bychom, že její hvězdy jsou uspořádány do tvaru obrovského disku.

Průměr naší Galaxie je přes sto tisíc světelných roků. To znamená, že světelný paprsek musí běžet sto tisíc roků, aby přeběhl od jednoho konce naší Galaxie na druhý konec. A při tom každou sekundu paprsek uběhne 300 tisíc kilometrů. My bychom museli jít pěšky deset roků ve dne v noci, abychom ušli vzdálenost, kterou paprsek uběhne za jedinou sekundu. Jeden rok trvá třicet milionů sekund, takže paprsek za jeden rok urazí devět bilionů kilometrů. Těto nepředstavitelné vzdálenosti se říká světelný rok. Nejbližší hvězda (Proxima Centauri) je vzdálena čtyři světelné roky. Slunce je docela blízko – jen osm světelných minut. A průměr naší Galaxie je sto tisíc světelných roků.

Slunce je se svou planetární soustavou vzdáleno 26 tisíc světelných roků od středu naší Galaxie. Obíhá kolem něho rychlostí 230 kilometrů za sekundu. Oběhne ho jednou za 240 milionů roků.

V samotném středu naší Galaxie je obrovská černá díra. Její hmotnost je 4 miliony Sluncí. Její průměr je 24 milionů kilometrů. Obří černá díra přitahuje nesmírnou gravitační silou vše ze svého okolí. Pohlcuje do své bezedné propasti hvězdy, mlhoviny a planety se vším, co je na jejich povrchu. Z nesmírné gravitace černé díry není úniku.

Ve Vesmíru, který astronomové zatím poznali, čili kam dohlédl Hubbleův dalekohled, je 400 miliard galaxií. Jednou z nich je naše Galaxie, kterou vidíme na obloze jako Mléčnou dráhu.

*Neplač, když večer zajde Slunce,
protože kvůli slzám neuvidíš krásu hvězd.*

(Antoine de Saint-Exupéry)

8.1 Úvod

Osamocené hvězdy nejsou časté. Mají za průvodce jinou hvězdu, planetární soustavu nebo tvoří skupiny různé velikosti: vícenásobné hvězdy, asociace, hvězdokupy, galaxie, kupy galaxií či supergalaxie. Hvězdy se mohou po skupinách již rodit, tak vznikají hvězdokupy nebo galaxie. Je ale i druhá cesta. Menší skupiny se mohou po delší době spojovat ve větší celky. Tak vznikají například obří eliptické galaxie.

Asociace – viz snímek 8.7.

Otevřená hvězdokupa – viz snímek 8.7.

Kulová hvězdokupa – viz snímek 6.30.

8.2 Gravitace – Newtonovo pojetí

Gravitace je nejslabší ze všech čtyř přírodních sil, a přesto na velkých škálách dominuje a vytváří struktury. Je zodpovědná za kulatý tvar zeměkoule, za oběh Měsíce kolem Země a planet kolem Slunce, za soudržnost hvězdokup i galaxií. Gravitační zákon poprvé zformuloval sir Isaac Newton ve druhé polovině 17. století.

Zjistil, že dvě libovolná tělesa se navzájem přitahují silou, která je úměrná součinu jejich hmotností a nepřímo úměrná druhé mocnině jejich vzdálenosti. Z tohoto jednoduchého zákona lze vypočítat pohyby planet ve Sluneční soustavě i hvězd ve vzdálených galaxiích.

Gravitační přitažlivá síla F dvou těles závisí na jejich hmotnostech m_1 , m_2 a vzdálenosti mezi nimi r podle všeobecného gravitačního zákona, který odvodil anglický učenec Isaac Newton:

$$F = G m_1 m_2 / r^2.$$

Jestliže zdvojnásobíme hmotnost jednoho z těles, zdvojnásobí se i síla mezi nimi. Gravitační síla je nepřímo úměrná čtverci vzdálenosti mezi tělesy. Jestliže zvětšíme vzdálenost mezi nimi dvakrát, síla mezi tělesy klesne na čtvrtinu původní hodnoty. Konstanta úměrnosti se nazývá *gravitační konstanta*.

Gravitační konstanta G je konstanta úměrnosti v Newtonově gravitačním zákonu. Udává intenzitu gravitační interakce. Gravitační zákon odvodil Isaac Newton z Keplerových zákonů. Velikost gravitační konstanty v soustavě jednotek SI je:

$$G = 6,672 \times 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2}.$$

Newton, Isaac (1642–1727) je anglický přírodovědec, zakladatel klasické mechaniky, fyzik a matematik. Položil základy diferenciálního a integrálního počtu. Jeho práce z mechaniky (*Philosophiae naturalis principia mathematica*, 1687), optiky (*Optics*, 1704) a zvláště gravitační zákon ho proslavily jako jednoho z největších vědců světa. Jeho jméno nese jednotka síly (newton), Newtonův gravitační zákon (vyvozený z Keplerových zákonů), Newtonův teleskop, Newtonovo ohnisko, Newtonova kosmologie.

Narodil se na Vánoce roku 1642. Byl tak malý a slabý, že nikdo nečekal, že přežije (přesto se dožil 85 let). Matka ho v roce 1656 vzala ze školy domů, neboť (jak se praví ve školním zápise) byl „*líný a nepozorný*“. Jeho asistent ho charakterizoval takto: „*Newton byl nejbázlivější, nejopatrnější a nejpodezíravější povaha, jakou jsem kdy poznal.*“

Byl členem anglického parlamentu (s titulem sir), kde pronesl jedinou řeč – řekl sluhovi, aby zavřel okno. Sám o svých zásluhách skrovně prohlásil: „Jestliže jsem viděl dále než ostatní lidé, bylo to proto, že jsem stál na ramenou obrů.“

8.3 Gravitace – obecná relativita

První ucelenou teorií gravitace je obecná relativita, kterou publikoval Albert Einstein v roce 1916. Podle této teorie tělesa zakřivují prostor a čas kolem sebe a v tomto pokřiveném světě se pohybují po nejrovnějších možných drahách, tzv. geodetikách. Naše Země

tedy neletí kolem Slunce po elipse, protože by na ni působila gravitační síla, ale protože je natolik prostor a čas kolem Slunce zakřivený. V zakřiveném prostoru neplatí vztahy eukleidovské geometrie, například plocha koule již není přesně $4\pi r^2$. A zakřivený čas? Ten prostě plyne v různých vzdálenostech od hmotného tělesa různě. Na vaši „GPSce“ v automobilu plyne čas jinak než na družici, se kterou krabíčka v autě komunikuje. Kdyby nepočítala s tím, že Země zakřivila čas kolem sebe, rozešla by se ji udávaná poloha od skutečné za jediný den o 10 kilometrů.

Einstein, Albert (1879–1955) je nejvýznačnějším teoretickým fyzikem 20. století. Jeho práce měly významný vliv na astronomii (vysvětlení stáčení perihélia Merkuru, ohybu světla v gravitačním poli, gravitačního posuvu u velmi hmotných hvězd). Jednou ze základních rovnic speciální teorie relativity je Einsteinova rovnice (vztah mezi hmotností a energií). Z Einsteinovy teorie gravitace (obecné teorie relativity) vyplývá relativistická kosmologie a mnohé další jevy: černá díra, gravitační čočka, Einsteinův kříž. Einstein pobýval v Bernu, Praze, Curychu, Berlíně a po roce 1933 až do své smrti v Institutu pro vyšší studia (*Institute for Advanced Studies*) v Princetonu. Nobelova cena za fyziku v roce 1921 mu nebyla udělena za teorii relativity, ale za objasnění fotoelektrického jevu.

8.4 Ohyb světla gravitací

Některá tělesa zakřivují prostor a čas kolem sebe natolik, že se i světlo pohybuje po křivé dráze. Největším extrémem jsou černé díry, ze kterých světlo nemůže uniknout vůbec. V blízkosti neutronové hvězdy se světelné paprsky viditelně zakřivují. Tento jev není tak výrazný u našeho Slunce, kde je patrný pouze při zatmění Slunce. Tehdy vidíme i paprsky procházející od vzdálených hvězd v těsné blízkosti Slunce, Tyto paprsky jsou zakřiveny o necelé dvě obloukové vteřiny a výsledkem je to, že hvězdu vidíme na obloze jinde, než ve skutečnosti je.

Čas je gravitací zpomalován: hodinky astronauta, který padá do černé díry, se zpomalují vzhledem ke stejným hodinkám zde na Zemi. Zpomalují se tak, že se sekunda na Schwarzschildově sféře (poloměr, z pod kterého nemůže z objektu uniknout světlo) prodlouží na nekonečně dlouhou dobu.

Gravitace se v teorii relativity šíří rychlostí světla: o zmizení Měsíce bychom se dozvěděli až za sekundu – zhasl by a zároveň přestal působit na Zemi slapovými silami. Zmizení Slunce by znamenalo jeho zhasnutí za osm minut a zároveň by Země opustila svou zakřivenou dráhu a přímočaře by se vzdalovala do černého kosmického prostoru. Z nesymetrických zdrojů se informace o jejich změnách šíří za pomoci gravitačních vln. Ty byly zatím zaznamenány jen nepřímo.

Odklon světelných paprsků v blízkosti Slunce předpověděl Albert Einstein již v roce 1911. Světelný paprsek vzdálených hvězd se v blízkosti Slunce zakřivuje. Při zatmění Slunce, kdy sluneční svit neruší pozorování, jsou polohy hvězd úhlově blízkých k povrchu Slunce vychýleny z normální polohy vzhledem k úhlově vzdálenějším hvězdám. U Slunce činí odchylka u povrchu 1,745" a byla poprvé pozorována sirem Arturem Stanleyem Eddingtonem při expedici za zatměním Slunce na Princův ostrov v západní Africe v roce 1919. Souběžně byla organizována expedice do Sobralu v Brazílii.

8.5 Gravitace – zobrazení gravitační čočkou

Velmi hmotná tělesa mohou sloužit jako gravitační čočky. Ohýbají totiž světlo přicházející k nám ze vzdálenějších objektů. Jako gravitační čočka může posloužit velká eliptická galaxie nebo celá kupa galaxií. Kupa na obrázku se nachází v souhvězdí Panny, nazývá se Abell 1689 a je ve vzdálenosti přes dvě miliardy světelných roků. Tato kupa posloužila jako gravitační čočka a zesílila světlo jedné z prvních galaxií s prvými hvězdami. Na snímcích ze Spitzerova a Hubbleova dalekohledu je patrná v infračerveném oboru. Jde o objekt zakroužkovaný na pravých snímcích červeně. Jeho vzdálenost je přes 13 miliard světelných roků.

Gravitační čočka je hmotné těleso, v jehož gravitačním poli se ohýbají elektromagnetické vlny. Může jí být obří eliptická galaxie, kupa galaxií, kvazar nebo obří černá díra. Gravitační čočka zobrazí velmi vzdálený kosmický objekt obvykle dvakrát, jako například kvazar 0957+561, známý jako dvojitý kvazar nebo kvazarová dvojčata, objevený v roce 1979. Jeho červený kosmologický posuv je 1,47 a galaxie mezi ním a námi – tedy gravitační čočka – má posuv jen 0,36. Ohyb paprsků z kvazaru v gravitačním poli galaxie vytváří na obloze dva stejně jasné obrazy, které jsou vzdáleny 6" a mají totožná spektra.

V některých případech je obraz vytvořený gravitační čočkou složitější, například čtyřnásobný Einsteinův kříž nebo Einsteinův prstenec. Častá je také deformace obrazu vzdálenějšího objektu do charakteristického oblouku.

8.6 Sírius B

Nejjasnější hvězda oblohy, Sírius, má malého průvodce. Je jím bílý trpaslík Sírius B. Na snímku vlevo je Sírius silně přexponován a bílý trpaslík je sotva znatelný vlevo nahoře. Na pravém snímku, který byl pořízen v rentgenovém oboru, je situace obrácená. Bílý trpaslík září mnohem výrazněji než samotná hvězda Sírius A. Sírius B prozradilo

jeho gravitační působení na Síría A, které způsobuje jeho zvlněnou dráhu. Objev Síría B v roce 1862 tak byl i velkým vítězstvím Newtonova gravitačního zákona. Ukázalo se, že gravitace působí nejen na Zemi a ve Sluneční soustavě, ale i ve světě hvězd. Síríus B sehrál také důležitou roli při ověřování obecné relativity. Byl u něho měřen červený gravitační posuv, který obecná relativita předpověděla.

Friedrich Bessel předpověděl průvodce Síría A z newtonovské teorie na základě zvlněné trajektorie hvězdy Síríus již v roce 1834. Tento průvodce (Síríus B) byl objeven v optické dílně bratří Clarků roku 1862 při testu objektivu o průměru 45 cm. Síríus B je prvním známým bílým trpaslíkem. Byla na něm demonstrována správnost newtonovské teorie (zvlněná trajektorie Síría A) i potvrzena obecná relativita (byl změřen jeho červený gravitační posuv).

Síríus B je enormně malá a hustá hvězda s průměrem 11 736 km a hustotou $3 \times 10^3 \text{ kg/cm}^3$. Povrchová teplota je 25 200 K, vzdálenost od Země 8,6 světelného roku a hmotnost $0,98 M_{\odot}$. Síríus B oběhne kolem Síría A jednou za 50 let. V roce 2004 provedl Hubbleův dalekohled přesné měření hmotnosti na základě červeného gravitačního posuvu fotonů. Elektrony a ionty ze Síría A dopadají na bílého trpaslíka Síría B. Jeho poloměr je stokrát menší a gravitace desettisíckrát větší. Částice jsou bílým trpaslíkem urychleny do rychlosti několika set kilometrů za sekundu a při dopadu na povrch trpaslíka elektrony vyzařují svou kinetickou energii jako rentgenové záření. Je to podobné jako v lékařském rentgenu.

8.7 Otevřené hvězdokupy a asociace

Hvězdy se většinou nerodí o samotě, ale vznikají jako dvojhvězdy nebo jako součást větších skupin. Nepravidelná uskupení hvězd, která jakž takž drží pohromadě gravitační silou, nazýváme otevřené hvězdokupy. Pokud se společenství v budoucnosti rozpadne, hovoříme o hvězdných asociacích. Vlevo nahoře vidíte typickou otevřenou hvězdokupu Plejády neboli Kuřátka. Mnoho set hvězd ze souhvězdí Býka vzniklo ze společné mlhoviny a společně putují Vesmírem. Další hvězdokupou je čerstvě zrozená skupina hvězd R 136 v mlhovině Tarantule ve Velkém Magellanově oblaku. I na severní polokouli můžeme pozorovat rodící se hvězdy. Vpravo nahoře je uskupení Trapez, které vzniklo ve Velké mlhovině v Orionu. Na posledním snímku je hvězdná asociace LH 95 z Velkého Magellanova oblaku, která se za několik milionů roků rozpadne.

Plejády (M 45, NGC 1432, Kuřátka, Sedm sester) je otevřená hvězdokupa v souhvězdí Býka, která je velmi dobře viditelná již pouhým okem. Podle záznamů patří Plejády k nejstarším známým objektům na obloze. V mnoha mytologiích byly samostatným a významným souhvězdím. Součástí Býka se staly později.

Naši předkové vysvětlovali vznik Plejád touto legendou: Kristus šel kolem pekařského krámu, z něhož to vonělo čerstvě upečeným chlebem. Poslal jednoho z učedníků, aby poprosil o bochník. Lakotný pekař ho vyhnal, ale pekařka spolu se svými šesti dcerami vše zahlédla a potají mu čerstvý bochník přinesla. Proto se dostala i s dcerami na oblohu jako „sedmihvězdi“. Pekař byl přeměněn v kukačku.

Hvězdy v Plejádách jsou od nás vzdáleny 400 světelných roků a zaujímají prostor o rozměru 20 světelných roků. Člověk s dobrým zrakem uvidí 6 hvězd. Člověk s výborným zrakem jich rozpozná až 10. Díky dalekohledům jich je známo celkem přes 1 000, z toho asi 600 jednou exploduje. Zahalují je oblaka mezihvězdné hmoty, kterou hvězdokupa náhodně v současnosti prochází. Modré světlo žhavých hvězd (spektrální třídy B) se odráží na prachových zrnkách a tvoří tak reflexní mlhovinu. Hvězdokupa vznikla před 80 miliony lety.

Plejády jsou blízko ekliptiky, takže často dochází k jejich zákrytům Měsícem. I pro triedr či malý dalekohled je zákryt Plejád vzrušující podívanou.

R 136 je velmi mladá (asi milion roků) hustá hvězdokupa, která uprostřed obsahuje 12 velmi hmotných obřích a veleobřích hvězd s velkou zářivostí. Jejich hmotnost je 40 až 80 hmotností slunečních. Je blízko středu mlhoviny Tarantule ve Velkém Magellanově oblaku. Jedna z hvězd (R136a1) má zářivost několik milionkrát větší, než je zářivost našeho Slunce. Tato hvězdokupa velikosti kolem 50 světelných roků a čítající zhruba půl milionů hvězd se během doby vlastní gravitací uspořádá v pravidelnou kulovou hvězdokupu.

Lichoběžník (Trapez) je uskupení hvězd ve Velké mlhovině v Orionu (M 42). Je to nedávno zrozené velmi zářivé čtyřhvězdi osvětlující mlhovinu M 42. Po delší době se změní ve dvě vzdálené dvojice, které budou obíhat společné těžiště (jako čtyřhvězda Epsilon Lyrae). Na snímku jsou dobře patné další vznikající hvězdy s typickými protoplanetárními disky. Lichoběžník vznikl z plynů Velké mlhoviny v Orionu. Jeho hvězdy mají hmotnost 15 až 30 hmotností Slunce. Jsou od sebe vzdáleny méně než 1,5 světelného roku. Lichoběžník je členem velké Orionovy hvězdokupy, která má asi dva tisíce hvězd seskupených do prostoru o velikosti 20 světelných roků.

Hvězdná asociace LH 95 ve Velkém Magellanovu oblaku je od nás vzdálená 160 000 světelných roků. Asociace jsou oblasti zrodu několika desítek mladých hvězd, které gravitace neudrží pohromadě. Jsou to nejmladší rozpádající se systémy hvězd.

Otevřená hvězdokupa je hvězdné seskupení deseti až několika stovek hvězd držených pohromadě vlastní gravitací. Známými otevřenými hvězdokupami viditelnými pouhým okem jsou *Plejády*, *Hyády* a *χ a h Persei*. Od kulových hvězdokup se podstatně odlišují mnohem menším počtem hvězd a jejich malou koncentrací, menším stá-

řím, ale i příslušností k plochému podsystému Galaxie. Tato příslušnost se projevuje jednak vyšší koncentrací hvězdokup v galaktické rovině, jednak rozložením hvězd v barevném diagramu, který se jen málo liší od HR diagramu hvězd ve slunečním okolí. Jsou to tedy útvary mladší než hvězdokupy kulové, některé jsou dokonce velmi mladé (stáří χ a h Persei je zhruba 10 milionů let, stáří Plejád je 50 milionů let). Stáří kulových hvězdokup je mnohem větší, zhruba 10 miliard let. Celkem je v Galaxii známo asi 1 000 otevřených hvězdokup. Byly objeveny také v jiných galaxiích (například v Magellanových oblacích, ve Velké galaxii v Andromedě a jinde). Obsahují hvězdy, prach a plyn.

Asociace je seskupení několika desítek až stovek mladých hvězd. Vznikly ve stejnou dobu ze stejné mlhoviny. Přitahují se gravitační silou, avšak ta je nestačí udržet pohromadě „v jednom hnízdě“, jak je tomu například u kulových hvězdokup. Po několika málo milionech let se hvězdy rozběhnou a asociace zanikne. Jsou to nejmladší rozpadající se systémy hvězd. Známost asociací jsou namodralé hvězdy v souhvězdí Orion. Ve středu Orionovy asociace je čtyřhvězda Trapez (Lichoběžník). Hvězdy asociace vznikly z Velké mlhoviny v Orionu a vznikají tam dosud.

8.8 Kulové hvězdokupy

Kulové hvězdokupy jsou seskupení desetitisíců až milionů hvězd do kulového tvaru o průměru necelých 100 světelných roků. Kulové hvězdokupy jsou nejstarší částí galaxií, včetně té naší. Jejich stáří se odhaduje na deset miliard roků. Jsou drženy pohromadě vlastní gravitací. Jsou proto stále vůči vnějšímu působení.

Na snímcích se díváte na kulovou hvězdokupu M 13 ze souhvězdí Herkula, kterou je možné spatřit i pouhým okem a již v triedru nám pozorování této hvězdokupy přinese nádhernou podívanou. Na pravém snímku je kulová hvězdokupa Omega Centauri, kterou je možné uvidět jen na jižní obloze, například z Afriky nebo Jižní Ameriky. V naší Galaxii se nachází jen několik set kulových hvězdokup.

Kulová hvězdokupa M 13 v Herkulu je typickým objektem severní oblohy. K ní letí poselství pozemšťanů z velkého rádiového dalekohledu Arecibo. Za dobrých pozorovacích podmínek ji lze vidět pouhým okem jako obláček velikosti měsíčního disku na spojnici hvězd η Her a ζ Her, asi v jedné třetině pod η Her.

Omega Centauri je největší a nejhmotnější kulová hvězdokupa v Galaxii. Obsahuje téměř 10 milionů hvězd. Nachází se v souhvězdí Kentaura a lze ji dobře vidět i pouhým okem. U nás není viditelná, zůstává stále pod obzorem. Je vzdálena 17 000 světelných roků a její průměr je 150 světelných roků. Na obloze zabírá plochu jako

úplněk a patří k nejkrásnějším objektům jižní oblohy. Je poněkud zploštělá. I když patří k nejstarším objektům ve Vesmíru, ultrafialové snímky ukazují v této kulové hvězdokupě značný počet mladých modrých hvězd. Materiál, z něhož se hvězdy v této kulové hvězdokupě rodí, pochází jednak ze starých hvězd (jde o hvězdný vítr, planetární mlhoviny, pozůstatky po supernovách a srážkách starých hvězd), jednak z vodíku padajícího z mezigalaktického prostoru. Omega Centauri je zcela atypickou kulovou hvězdokupou, není vyloučené, že jde o trpasličí galaxii, která byla před několika milióny let zachycena naší Galaxií.

8.9 Mléčná dráha

Mléčná dráha není nic jiného, než naše Galaxie viděná „zevnitř“, tj. od jedné z jejích více než 200 miliard hvězd. Snímek je ze vzdálenosti 26 tisíc světelných roků od středu. K okraji je od naší Sluneční soustavy jen 20 tisíc světelných roků a hustota hvězd je značně menší. Dnes se odhaduje, že v Mléčné dráze je přes 200 miliard hvězd. Na snímku je část Mléčné dráhy vyfotografovaná v chilské poušti Atacama na Evropské jižní observatoři. Vlevo od kopule jsou dobře patrná obě Magellanova oblaka, trpasličí galaxie v naší těsné blízkosti.

Mléčná dráha (Galaxie, naše Galaxie) je spirální galaxie, v jejímž jednom ramenu se nachází Slunce se svou planetární soustavou. Zatímco ostatní galaxie vidíme „zvenku“, naši vlastní Galaxii vidíme jen „zevnitř“. Na oblohu se nám promítá jako Mléčná dráha. Většina z více než 200 miliard hvězd je uspořádána do plochého disku, jehož průměr je 100 tisíc světelných roků. Ve středu Galaxie je obří černá díra. Sluneční soustava – náš kosmický domov – je od středu Galaxie vzdálena 26 000 světelných roků. Obíhá kolem něho rychlostí 230 km za sekundu a oběhne ho jednou za 240 milionů let (tzv. „galaktický rok“).

Mléčná dráha – viz také snímek 1.25.

8.10 Mléčná dráha – naše Galaxie

Naše Galaxie se skládá z několika důležitých oblastí. Nejvíce hvězd je v plochem disku. Jsou to většinou mladé hvězdy uspořádané do výrazných spirálních ramen. Ta ale zevnitř příliš dobře nevidíme. V disku, který je 100 000 světelných roků široký, se nachází většina hvězd. Nejstarší hvězdy vyplňují kulové haló. Jeho poloměr je 50 000 světelných roků a jsou v něm především kulové hvězdokupy. Centrální oblast Galaxie má tvar výduti, ve které se nachází galaktické jádro s centrální černou dírou, jejíž hmotnost je rovna 4 milionům Sluncí.

Stavba naší Galaxie. Nejstarší jsou hvězdy v kulovém prostoru (nazývaném haló), zejména v kulových hvězdokupách. Nejmladší hvězdy jsou ve spirálních ramenech disku (modré tečky). Tam se také rodí hvězdy z prachoplynových mlhovin (tzv. globulí).

Galaktický disk je plochá vrstva hvězd podél galaktické roviny. V disku se nachází většina z více než 200 mld. hvězd Galaxie. Nejmladší a nejjasnější hvězdy tvoří v disku 4 spirální ramena. Průměr disku je 100 000 ly. Galaktický disk mají všechny spirální galaxie a spirální galaxie s příčkou. Disk je složen z poměrně mladých hvězd (tzv. Populace I), jejichž stáří je od milionu až po několik málo miliard roků.

Galaktické haló je kulový systém starých hvězd a kulových hvězdokup kolem Mléčné dráhy. Poloměr viditelného galaktického haló je 50 000 světelných roků. Avšak z křivky rotace Galaxie se ukazuje, že galaktické haló sahá mnohem dál, do vzdálenosti asi 100 000 světelných roků od galaktického středu. Tyto vnější rozsáhlé oblasti se někdy nazývají galaktická koróna.

Galaktická výduť je centrální část Galaxie (obecně každé spirální galaxie) ve tvaru protáhlého elipsoidu, s malou osou asi 1 300 světelných roků a s velkou osou přes 2 000 světelných roků. Je to v podstatě krátká galaktická příčka, která je k nám pootočená o 45° (v kladné galaktické délce). Ve středu galaktické výduti je galaktické jádro obsahující černou díru o hmotnosti 4 miliony Sluncí.

8.11 Oblaka kolem Mléčné dráhy

Na naší Galaxii dopadají velkou rychlostí z mezigalaktického prostoru oblaka plynů. Jsou tvořena především vodíkem s příměsí hélia. Rychlé vpády mezigalaktických oblaků tak obohacují Mléčnou dráhu o stavební materiál pro další hvězdy. Dalším zdrojem plynů jsou výbuchy supernov. V Mléčné dráze předávají materiál z disku do haló Galaxie. Plyny, vyvržené do haló supernovami z disku, jsou obohaceny o všechny známé chemické prvky a jsou základem stavebního materiálu dalších generací hvězd.

HVC (*High Velocity Clouds*) jsou ostře ohraničená oblaka plynů padající do Galaxie z mezigalaktického prostoru. Mají vysoké radiální rychlosti (větší než 200 km s⁻¹). Při průchodu galaktickou korónou se rozzáří podobně jako meteor při průchodu atmosférou. Spektrum oblaků HVC je obdobné spektru hvězd v počátečních fázích hvězdného vývoje, chybí absorpční čáry pozdních stadií hvězd. Velmi často lze zjistit rychlou rotaci oblaků HVC, která dopplerovsky rozšiřuje spektrální čáry. Usuzujeme-li z jejich vysoké svítivosti, pak se tato oblaka nalézají ve vzdálenostech desítek tisíc světelných roků. Jejich podrobná struktura a fyzikální mechanismus vyzařování však nejsou známy především proto, že lze jen velmi obtížně určit jejich vzdálenost.

8.12 Gama bubliny kolem Mléčné dráhy

Nad a pod středovou výdutí Mléčné dráhy jsou několik milionů roků staré bubliny gama záření. Říkáme jim Fermiho bubliny podle Fermiho kosmického dalekohledu, který je v gama oboru objevil. Jsou to pravděpodobně mohutné výtrysky relativistických elektronů od obří černé díry ve středu Mléčné dráhy. Srážkami tyto elektrony předávají svou energii fotonům reliktního záření a mění je ve fotony gama a rentgenové. Výměna energie mezi relativistickým elektronem a fotonem reliktního záření se nazývá inverzní Comptonův jev.

Comptonův jev je vzájemné působení mezi volným elektronem a rentgenovým nebo gama-fotonem, při němž foton předá část své energie elektronu. Foton má po setkání nižší frekvenci a elektron větší energii. V akrečních discích černých děr probíhá inverzní Comptonův jev, při kterém se fotony s nízkou energií rozptylují na elektronech s vysokou energií. Při tomto procesu fotony energii získávají a mění se na rentgenové nebo gama fotony. Hovoříme o tzv. inverzním Comptonově jevu.

Fermi je americká gama observatoř s rozsahem detekovaného záření 10 až 300 GeV. Původně se tato observatoř jmenovala GLAST (*Gamma-ray Large Area Space Telescope*), v srpnu 2008 byla observatoř přejmenována na Fermi podle významného italského kvantového fyzika Enrica Fermiho.

8.13 Střed Mléčné dráhy

Nejpodrobnějším obrazem středu naší Galaxie je tato mozaika pořízená Hubbleovým dalekohledem v infračerveném záření. Zaujímá prostor o velikosti 300×115 ly. Jsou na ní patrné tři kupy velmi hmotných hvězd a horký ionizovaný vodík. Vlevo dole je zářivé vlákno vytvořené tlakem záření mladé hvězdokupy pod ním. Osamocené hvězdy vznikly asi také ve hvězdokupách, které však byly roztrhány slapovými silami okolí. Nahoře vlevo jsou velké oblouky ionizovaného vodíku sestávající z tenkých vláken. Tato vlákna jsou tvořena plazmatem zachyceným v magnetických silotrubicích. Ve světelném oboru je samotné jádro Galaxie neviditelné, neboť je skryté za oblaky prachu. Infračervené záření je ale schopné těmito rozsáhlými prachovými oblaky proniknout.

Střed Galaxie je místo v Galaxii, kolem něhož obíhají hvězdy, hvězdokupy, obří molekulární oblaka a mlhoviny. Je v těžišti veškeré hmoty Galaxie. Je ve vzdálenosti 26 000 světelných roků od Sluneční soustavy, a to ve směru souhvězdí Střelce (*Sagittarius*). Ve středu Galaxie je velká černá díra. Galaktické jádro je velmi aktivní. Ve světle ho ze Země nelze pozorovat, je pro nás skryté za silnou vrstvou mezihvězdného prachu rozprostřeného podél galaktické roviny. Pozoruje se proto v infračerveném záření a na rádiových vlnách.

8.14 Hubbleova klasifikace galaxií

V roce 1925 roztřídil anglický astronom Edwin Hubble galaxie podle tvaru do tří základních typů: eliptické galaxie, které označujeme písmenem E, spirální galaxie, které označujeme písmenem S a spirální galaxie s příčkou, které označujeme velkými písmeny SB. Číslo za označením typu eliptických galaxií určuje jejich protáhlost a písmeno za označením spirálních galaxií určuje rozvinutost jejich spirálních ramen. Později astronomové připojili nepravidelné galaxie, které označujeme písmeny Irr podle anglického slova „Irregular“.

Hubbleův diagram klasifikace galaxií je složen ze dvou hlavních skupin: eliptických galaxií a spirálních galaxií. Číslo u eliptických galaxií vyjadřují elipticitu – E0 jsou téměř kruhové a E7 velmi zploštělé. Spirální galaxie jsou označeny písmeny a, b, c, která vystihují sevřenost ramen. Sa jsou spirály těsně navinuté, zatímco Sc jsou otevřené spirály, které mají ramena od sebe vzdálenější.

Spirální galaxie s příčkou jsou označeny symbolem SB. U nich spirální ramena nevycházejí z galaktického jádra, ale vybíhají z konců galaktické příčky. Příčka je v této klasifikaci považována za samostatný útvar. Podle otevření spirálních ramen se třídí do tří skupin: SBa, SBb a SBc, přičemž galaxie SBa mají těsně navinutá ramena a SBc mají ramena nejvíce otevřená. Mezi všemi galaxiemi jsou galaxie typu SB zastoupeny pouze 15 %.

8.15 Nepravidelné galaxie

Prototypem nepravidelných galaxií jsou Magellanova oblaka, která můžeme vidět na jižní obloze. Jsou to malí průvodci naší Galaxie. Velký Magellanův oblak označujeme zkratkou LMC, malý zkratkou SMC. Nepravidelné galaxie jsou bez výrazné struktury. Tím se morfologicky odlišují od eliptických, čočkových a spirálních galaxií. Na levém dolním snímku je nepravidelná trpasličí galaxie NGC 1569 ze souhvězdí Žirafy, která je častým cílem amatérských dalekohledů. Galaxie je vzdálená jen 8 milionů světelných roků, a proto je možné v ní ve větších dalekohledech pozorovat tvorbu hvězd. Na snímku je jádro této galaxie zobrazené v rentgenovém oboru.

Velký a malý Magellanův oblak tvoří s Galaxií trojitý systém. Magellanova oblaka obíhají kolem Galaxie, jejíž slapové působení „vytrvalo“ z obou obrovský proud hmoty, tzv. Magellanův proud. Více informací o Magellanových oblacích naleznete v komentářích ke snímku 2.10.

Magellanova oblaka – viz snímek 2.10.

8.16 Spirální galaxie

Spirální galaxie patří k jednomu z nejrozšířenějších typů Hubbleovy klasifikace, ve Vesmíru je jich 65 %. V plochém disku mají výrazná spirální ramena, která se odvíjejí přímo z galaktického jádra. V ramenech je nahuštěna většina mezihvězdného plynu, prachu a mlhovin. I naše samotná galaxie patří k tomuto typu. Na snímcích vidíte některé typické spirální galaxie. Fialové skvrnky jsou oblasti rodících se hvězd. K nejznámějším spirálám patří Velká galaxie v Trojúhelníku s označením M 33 a Velká galaxie v Andromedě s označením M 31. Tu vidíte napravo dole, je největší sousedkou Mléčné dráhy a v daleké budoucnosti s ní splyne. Galaxie NGC 6744 ze souhvězdí Páva se svým tvarem podobá naší vlastní Galaxii.

M 33 je sousední galaxie v Trojúhelníku. Patří s Velkou galaxií v Andromedě a s naší Galaxií k trojici největších členů Místní skupiny galaxií. Od nás je vzdálená 3 miliony světelných roků. Objevil ji Giovanni Battista Hodierna před rokem 1654. Tato galaxie je jedním z nejvzdálenějších objektů viditelných za jasné noci pouhým okem. Edwin Hubble v roce 1926 ukázal, že nejde o mlhovinu, jak se do té doby astronomové domnívali, ale o galaxii.

NGC 6744 je spirální galaxie podobná naší Galaxii. Nachází se v jižním souhvězdí Páva a je vzdálená 30 milionů světelných roků. Ve středové galaktické výdutí jsou starší hvězdy. Uprostřed této galaxie se – jako v mnoha jiných galaxiích – nachází velká černá díra. V rozsáhlém plochém disku galaxie jsou výrazná spirální ramena, která se odvíjejí přímo z galaktické výdutě. V ramenech je nahuštěna většina mezihvězdného plynu, prachu a mlhovin. Velmi hmotné mladé žhavé hvězdy typů O a B a zářící oblasti horkých ionizovaných plynů (H II) v ramenech zdůrazňují spirální strukturu galaxie. V disku a zvláště v ramenech je soustředěno mnoho mezihvězdné hmoty, ze které se překotně rodí hvězdy.

NGC 4414 je spirální galaxie v souhvězdí Vlasy Bereniky, která je od nás vzdálená 60 milionů světelných roků a v průměru má 56 000 světelných roků. Jsou v ní krátké úseky spirálních ramen, žádný z nich však nevytváří dlouhé rameno jako v jiných spirálních galaxiích. V roce 1974 byla v této galaxii pozorována exploze supernovy. Modrá barva ve vnějších částech koresponduje s bouřlivou tvorbou hvězd. Tato galaxie je podobná zmenšenině naší vlastní Galaxie.

M 31 neboli Velká galaxie v Andromedě je spirální galaxie vzdálená od nás 2,9 milionů světelných roků. Přesto ji můžeme vidět pouhým okem jako mlhavý obláček na podzimní obloze. Obsahuje 450 miliard hvězd, což je dvakrát tolik, než má naše Galaxie. Přibližuje se k nám rychlostí 200 km za sekundu. V budoucnu splyne s naší Galaxií. Další podrobnosti o této galaxii naleznete v komentářích ke snímkům 1.13 a 1.27.

8.17 Doutníková galaxie M 82

V nejsevernější části souhvězdí Velké medvědice nalezneme Doutníkovou galaxii M 82. Je viditelná i v menším dalekohledu. Má tvar vřetene a je to spirální galaxie, jejíž rovina se jen málo odchyluje od zorného paprsku. Z její středové oblasti vybíhají dlouhá vlákna vodíku, zářící v čáře H α . Jejich délka přesahuje 10 000 světelných roků. Podle měření ve vodíkové čáře s vlnovou délkou 21 cm vlákna vycházejí a jsou hnána z početných oblastí překotného zrodu hvězd a ze supernov, které ve středových částech Doutníkové galaxie explodují. Odborníci označují tato unikající vodíková vlákna jako galaktický supervítr.

V infračerveném záření je Doutníková galaxie nejjasnější galaxií na obloze. Je to důsledek velkého množství mezihvězdného prachu a značného počtu protohvězd v oblastech překotného zrodu. Hubbleův dalekohled pořídil podrobné snímky této poměrně blízké a malé galaxie M 82, která se v minulosti setkala se sousední galaxií M 81. Na snímcích je v centrální oblasti přes sto oblastí překotného zrodu hvězd – pozůstatek po setkání s galaxií M 81. Vzniklé hvězdokupy obsahují statisíce horkých mladých hvězd, jejichž zrod probíhal před 600 miliony roky a trval asi 100 milionů roků. V Doutníkové galaxii byla objevena obří černá díra. Její hmotnost je kolem 600 $M_{\odot}$. Překvapivé je její umístění mimo galaktický střed.

8.18 Obří eliptické galaxie

Největším seskupením hvězd jsou galaxie. K těm největším patří obří eliptické galaxie. Jsou hladké – bez výrazných podrobností. Obsahují až několik bilionů hvězd. Neobsahují téměř žádný mezihvězdný plyn a prach, nemohou v nich vznikat nové hvězdy. Obří eliptické galaxie vznikaly postupným splýváním menších galaxií. Ve středu snímku je obří eliptická galaxie M 86 v kupě galaxií v souhvězdí Panny. Je od nás vzdálena 60 milionů světelných roků. Vlevo dole je spirální galaxie podobná naší Galaxii – Mléčné dráze. Obsahuje přes 200 miliard hvězd.

Eliptická galaxie je označení pro pravidelnou galaxii ve tvaru elipsoidu. Vyskytují se v různých velikostech. Mají (v průmětu na oblohu) vždy tvar elipsy nebo kruhu. Označují se písmenem E, k němuž je připojeno číslo 0 až 7. Připojené číslo vyjadřuje zploštění elipsy – elipticitu galaxie. Číslo je určeno z velké poloosy a a malé poloosy b podle vztahu $10(a - b)/a$. Označení E0 odpovídá kruhovému tvaru, E7 je elipsa s největším zploštěním. Eliptické galaxie s větší elipticitou než 7 neexistují. Tvar eliptické galaxie není způsoben rotací, nýbrž náhodným pohybem hvězd, připomínajícím pohyb molekul v plynu. Rotace eliptických galaxií je nevýznamná, jejich úhlový moment je nulový nebo zanedbatelný. Tím se podstatně liší od spirálních galaxií.

Plošná jasnost v eliptické galaxii rovnoměrně klesá od středu k jejímu okraji. Jen výjimečně lze pozorovat náznaky vnitřní struktury. Hvězdy v eliptické galaxii jsou velmi staré. Eliptické galaxie nemají téměř žádnou mezihvězdnou hmotu, neboť ta se vyčerpala na tvorbu hvězd. V eliptické galaxii proto nemohou vznikat nové hvězdy a nedochází k překotnému zrodu hvězd. Jsou však výjimky, jako například galaxie M 87 ve středu kupy galaxií v Panně. Plyn a prach získala tak, že pohltila svého menšího průvodce (nepravidelnou galaxii) bohatého na mezihvězdnou hmotu. Materiál pohlcené galaxie se sráží a zahušťuje tou měrou, jak se přibližuje ke středu galaxie a vlastní gravitace z něho tvoří novou generaci mladých hmotných hvězd.

Eliptické galaxie jsou v mnohém podobné středové výduti galaxií spirálních, nemají však ramena. V některých eliptických galaxiích byl objeven náznak disku (charakteristické složky spirálních galaxií). Podle numerických simulací mohou obří eliptické galaxie vznikat postupným splýváním menších spirálních galaxií.

Trpasličí eliptické galaxie patří mezi nejmenší galaxie, zatímco obří eliptické galaxie jsou největšími galaxiemi vůbec. Mezi všemi pozorovanými galaxiemi je 30 % eliptických. V hustých středových částech velkých galaktických kup je podíl eliptických galaxií značně větší. V Místní skupině galaxií není žádná obří eliptická galaxie, zato větší počet trpasličích eliptických galaxií, které jsou průvodci naší Galaxie a Velké galaxie v Andromedě M 31.

8.19 Interakce galaxií – Vírová galaxie M 51

Některé galaxie spolu interagují, jsou spojeny mosty látky nebo se dokonce prolínají. Na snímku vidíte Vírovou galaxii M 51, která je spojena mezigalaktickým mostem s menším galaktickým průvodcem NGC 5195. Průvodce je z našeho pohledu za Vírovou galaxií, čili je vzdálenější. Průvodce přecházel kolem Vírové galaxie stovky milionů roků. Gravitačním působením vyvolával tvorbu hvězdokup, které jsou na snímku dobře patrné jako růžové skvrnky. Obě galaxie se nacházejí ve vzdálenosti 23 milionů světelných roků a lze je dobře pozorovat amatérským dalekohledem.

Vírová galaxie (M 51, NGC 5149, Arp 85) je spirální galaxie typu Sc, kterou vidíme shora ve vzdálenosti 23 milionů světelných roků. Nachází se v souhvězdí Honičích psů (*Canes Venatici*), blízko hvězdy Betnash (η UMa) z oje Velkého vozu. Charles Messier ji objevil 13. října 1774 při pozorování jedné z komet. Vírová galaxie je spojena mezigalaktickým mostem s menším galaktickým průvodcem NGC 5195, kterého objevil v roce 1781 Messierův přítel Pierre Méchain. Jde o nejznámější příklad interagujících galaxií.

8.20 Stephanův kvintet

Stephanův kvintet v souhvězdí Pegasa obsahuje kompaktní skupinu 4 galaxií. Spodní galaxie vlevo má katalogové označení NGC 7320 a je nejjasnějším členem kvintetu. Je od nás vzdálena pouze 40 milionů světelných roků. Zbývá čtveřice je ve vzdálenosti 300 milionů světelných roků. Galaxie NGC 7320 tedy není členem „kvintetu“. Lze v ní vidět červené chomáčky – rozsáhlé oblasti vzniku nových hvězd. Galaxie NGC 7318b prolétá mezi galaxiemi rychlostí 3 miliony kilometrů za hodinu a vytváří mohutnou rázovou vlnu v mezigalaktickém žhavém plynu. Rázová vlna znamená prudké zhuštění a takové zahřátí, že vysílá intenzivní rentgenové záření, které na snímku vidíme jako jasný svislý zelený pruh. Čtveřice galaxií je vázána gravitační silou a po delší době splyne v jednu obří eliptickou galaxii.

Takový osud čeká i naši místní skupinu galaxií, do níž kromě Mléčné dráhy patří ještě dvě velké galaxie – M 31 v Andromedě a M 33 v Trojúhelníku – a několik trpasličích galaxií v jejich okolí.

Stephanův kvintet (Stephanův kvartet) je skupina pěti pekuliárních galaxií v souhvězdí Pegasa. Objevil ji francouzský astronom Edouard Stephan (1837–1923) v roce 1877 blízko jasné obří spirální galaxie NGC 7331. V katalogu NGC jsou uvedeny pod čísly 7317, 7318A, 7318B, 7319 a 7320. Čtyři nejjasnější galaxie kvintetu se od nás vzdalují velkými radiálními rychlostmi ($5\,700$ až $6\,700\text{ km s}^{-1}$) a jsou deformovány vzájemnou přitažlivostí. Pátá, NGC 7320, má mnohem menší červený posuv (odpovídá mu radiální rychlost 760 km s^{-1}) a je mnohem blíže než čtveřice ostatních. Není fyzickým členem kvintetu, jen se náhodně promítá do blízkosti ostatních čtyř. Proto se dnes hovoří o Stephanově kvartetu, bez NGC 7320. Vzdálenost Stephanova kvartetu je 300 milionů světelných roků.

8.21 Tykadla

Tykadla jsou dvojicí srážejících se galaxií NGC 4038 a 4039 v souhvězdí Havrana. Někdy se tato dvojice galaxií také nazývá Antény. Přímá srážka obou galaxií se odehrává ve vzdálenosti 62 milionů světelných roků a trvá zatím přibližně 200 milionů let. Na levém snímku, který byl pořízen v radiové oblasti spektra, jsou dobře patrná velmi chladná oblaka prachu a oxidu uhelnatého. Na pravém snímku, který je ve viditelném oboru, jsou patrné modrofialové oblasti překotné tvorby hvězd. Lidské představě se vymyká, jaké nesmírné drama se v oné bouřlivé srážce odehrávalo. V prostoru kolem explodujících supernov by byl do vzdálenosti asi 50 světelných roků poničen rentgenovým zářením všechen život. Avšak vzhledem k budoucnosti ony supernovy – zabijáci – připravovaly materiál

pro budoucí planetární soustavy a biogenní prvky pro případný život v nich. Dlouhé přílivové obony táhnoucí se za oběma galaxiemi připomínají svým tvarem tykadla. Jsou zaplněny hvězdami, prachem a plynem.

Tykadla (anglicky *Antennae*, Antény) jsou dvojicí srážejících se galaxií NGC 4038 a NGC 4039 v souhvězdí Havrana blízko hranice s Pohárem. Srážky galaxií jsou ve Vesmíru relativně časté, ale nejde o srážky v pravém slova smyslu, při kterých by se srážely hvězdy samotné. Vzdálenosti hvězd jsou velmi velké a čelní srážka dvou hvězd je velmi málo pravděpodobná. Z hlediska hvězd jde spíše o prolínání galaxií. Při pronikání obou galaxií dochází k zahušťování mezihvězdné látky nad kritickou hustotu. Na mnoha místech se proto překotně rodí skupiny hvězd – hvězdokupy, a tak je ve finále srážka dvou galaxií přece jen mimořádně bouřlivou událostí. Dalekohled Chandra objevil v Tykadlech velké množství rentgenových zdrojů. Dalekohled HST detekoval kolem tisícovky oblastí s probíhající překotnou tvorbou hvězd.

8.22 Rádiová galaxie Centaurus A

Centaurus A je typickým představitelem aktivní galaxie. Je to nejbližší aktivní eliptická galaxie, která patří k nejjasnějším rádiovým zdrojům na obloze. V rádiovém oboru má podél osy rotace na obě strany laloky synchrotronového záření, prostírající se do vzdálenosti přes 1 milion světelných roků. Ve viditelném oboru je patrný rozsáhlý pruh, který je prachem právě pohlcované spirální galaxie a další ukázkou splyvání dvou galaxií. V rentgenovém oboru vidíme výtrysk plazmatu táhnoucí se z centrální oblasti na periferii. Samotné jádro je velmi malé a jeho velikost se odhaduje na 10 světelných roků. Zdrojem energie je obří černá díra, která pohlcuje okolní materiál hostitelské galaxie. Aktivní jádra galaxií jsou nejenergetičtějšími objekty ve Vesmíru.

Černé díry v aktivních jádrech galaxií představují velmi účinný mechanismus konverze energie. Gravitační síla dokáže „vyždímat“ z pohlcované hmoty M až přes polovinu jí odpovídající energie Mc^2 . Tak účinná je ze všech čtyř interakcí pouze gravitace. Svítivost takových aktivních jader je podstatně vyšší než u ostatních galaxií. Často dochází k nepravidelným zjasněním a zábleskům, trvajícím dny. Oblast, která záblesk způsobí, musí být nějakým způsobem provázaná a nemůže proto být větší, než je vzdálenost, kterou uletí za tuto periodu světlo (jeho rychlost je nejvyšší možná). Velikost zdroje proto není větší než světelné dny. Velikost i množství vyzařované energie svědčí o tom, že jeho zdrojem je gravitace velmi hmotné černé díry v centru galaxie.

Centaurus A (NGC 5128) je nejbližší aktivní eliptická galaxie, je typickou ukázkou aktivního galaktického jádra se všemi jeho projevy, zejména s laloky synchro-

tronového záření a výtrysky plazmatu vymačkávaného z okolí centrální černé díry magnetickým polem. Kromě rádiového je tato galaxie také zdrojem infračerveného a rentgenového záření. Hmotnost jádra je asi 100 milionů Sluncí. V galaxii je mnoho mladých hvězdokup a oblastí s překotným zrodem hvězd. To je nezvyklé, neboť jiné eliptické galaxie takové oblasti nemají. Galaxie je výjimečná i tmavým pruhem mezihvězdné absorbující hmoty, který se před ní prostírá. Obě zvláštnosti u této eliptické galaxie je možno vysvětlit srážkou dvou galaxií – staré obří eliptické galaxie a spirální galaxie.

Spirální galaxii vidíme téměř z boku jako tmavý pruh, neboť její rovina se odchyluje od zorného paprsku jen o 15° . Spirální galaxie je „pohlcována“ obří černou dírou ve středu eliptické galaxie. Snímky z Hubbleova dalekohledu v infračerveném záření ukazují kolem středu rozsáhlý vír, který sytí obří černou díru, a tím uvolňuje velkou energii. Uvolněná energie se projevuje jednak velmi rychlými výtrysky z jádra, jednak jako relativistické elektrony vystřelované jádrem do rádiových laloků rychlostí přes 100 tisíc km s^{-1} . Bez hmoty dodávané černé díře ze spirální galaxie by galaxie NGC 5128 nemohla být tak aktivní a nemohl by v ní v tak rozsáhlém měřítku probíhat překotný zrod hvězd.

Synchrotronové záření je elektromagnetické záření generované relativistickými elektrony rotujícími kolem magnetických siločar. Jde o záření s výraznou polarizací, ze které je možné určit směr magnetického pole. Záření je polarizováno v rovině dráhy elektronu, soustředěno do úzkého kužele, vyzařováno v původním směru pohybuji se částice a má spojitě spektrum.

8.23 Místní skupina galaxií

Podobně jako hvězdy, i galaxie se sdružují ve větší celky. Naše Galaxie spolu s Velkou galaxií v Andromedě, Galaxií v Trojúhelníku a třemi desítkami dalších menších galaxií tvoří tzv. Místní skupinu galaxií. Galaxie v Andromedě se k nám přibližuje rychlostí 200 km s^{-1} . Přibližně za miliardu let dojde ke srážce obou galaxií a splynutí ve větší celek. Srážky a splývání galaxií jsou ve Vesmíru velmi častým jevem. Většina obřích eliptických galaxií vznikla postupnými srážkami menších galaxií.

Místní skupina galaxií je skupina galaxií, k níž patří mj. Galaxie se svými průvodci, Velká galaxie v Andromedě M 31 s průvodci M 32 a M 110, galaxie M 33 v souhvězdí Trojúhelníku, obě Magellanova oblaka a necelá stovka menších galaxií.

Studium okolí naší Galaxie do vzdálenosti 40 milionů světelných roků ukazuje, že je v něm mnoho tisíc galaxií. Do vzdálenosti 3 milionů světelných roků jich je přibližně

75. Dále, v prostoru od 3 do 7 milionů světelných roků jich je jen 12. To znamená, že Místní skupina galaxií tvoří osamocenou soustavu galaxií. Co do velikosti a počtu galaxií je někde mezi skupinou galaxií (s menším počtem členů) a kupou galaxií (která obsahuje stovky až tisíce členů). Někdy je pokládána za kupu galaxií a nazývá se Místní kupa galaxií (nebo Místní galaktická kupa).

Naše Galaxie a Velká galaxie v Andromedě mají v Místní skupině galaxií zdaleka největší hmotnost, a jsou proto jejími dominantními členy. Někde mezi nimi se nachází těžiště a střed skupiny. Jsou to obří spirální galaxie, kolem nichž je nakupena většina ostatních menších galaxií. Místní skupina se tak rozpadá do dvou výrazných podskupin galaxií:

1. V blízkosti Galaxie se pohybují galaxie malé (Velký Magellanův oblak, Malý Magellanův oblak, galaxie ve Střelci objevená v roce 1994) a trpasličí (v souhvězdích Malého vozu, Draka, Lodního kýlu, Sextantu, Sochaře, Pece, Lva).
2. Galaxie M 31 má vedle blízkých jasných trpasličích eliptických průvodců M 32 a M 110 také slabší a vzdálenější NGC 147 a NGC 185 a velmi slabé galaxie And I, And II, And III a možná i And IV. Třetí galaxie Místní skupiny galaxií co do hmotnosti, M 33 v Trojúhelníku, je patrně také gravitací vázána k M 31. Sama má malého průvodce LGS3.

Některé galaxie Místní skupiny galaxií nejsou gravitací vázány do žádné z obou podskupin. Pohybují se volně v gravitačním poli obou obřích spirálních galaxií. Místní skupina není úplně izolována, ale je v gravitační interakci se sousedními skupinami či kupami galaxií. Dochází i k vzájemné výměně galaxií. O některých galaxiích není jisté, zda ke skupině vůbec patří. Naopak se časem objevují nové malé galaxie s velmi malou jasností nebo skryté za pásem Mléčné dráhy, v němž se pohlcuje jejich světlo.

8.24 Kupa galaxií v Panně

Obří kupa galaxií v souhvězdí Panny je od naší Mléčné dráhy vzdálena kolem 60 milionů světelných roků. Tvoří gravitační střed Místní nadkupy galaxií, které někdy říkáme Supergalaxie. Pohyby galaxií jsou velmi rychlé a dosvědčují přítomnost velkého množství temné hmoty. V důsledku rychlého pohybu galaxií se zahřívá také plazma v mezigalaktickém prostoru na teploty desítek milionů kelvinů. Svědčí o tom i rentgenové záření z prostoru kupy galaxií v Panně. Na snímku vidíte nejjasnější galaxie této kupy. Dobře patrná je největší galaxie M 87, která je gravitační dominantou Kupy galaxií v Panně.

Kupa galaxií v Panně je obří nepravidelná kupa galaxií, která obsahuje řadu známých objektů z Messierova katalogu. Na obloze ji pozorujeme v souhvězdí Panny,

blízko severního galaktického pólu. Částečně na severu přesahuje do Kupy ve Vlasech Bereniky. Je to nejbližší obří kupa galaxií, ve vzdálenosti 60 milionů světelných roků. Vzdálenost byla určena pomocí cefeid v galaxii M 100.

Kupa galaxií v Panně je středem Místní nadkupy galaxií (Supergalaxie). Obsahuje kolem 2 500 galaxií, z nichž asi 75 % jsou spirální galaxie a zbytek jsou převážně eliptické galaxie a pouze několik nepravidelných galaxií. Eliptické galaxie jsou soustředěny ke středu kupy, spirální spíše na jejím okraji. Svou obrovskou hmotností působí na všechny galaktické kupy, které do Supergalaxie náležejí. Místní skupina galaxií je přitahována ke Kupě v Panně a pohybuje se k ní rychlostí asi 250 km s^{-1} . O tuto rychlost je zmenšena rychlost vzdalování v důsledku rozpínání Vesmíru (cca $1\,200 \text{ km s}^{-1}$). Podle spektrálního posuvu se od nás Kupa v Panně vzdaluje rychlostí pouze 950 km s^{-1} . Některé její galaxie mají přesto modrý posuv, pohybují se tedy směrem k nám. Například galaxie IC 3258 se podle spektra pohybuje směrem k nám rychlostí 520 km s^{-1} ; tj. vzhledem k těžišti kupy se pohybuje rychlostí $1\,470 \text{ km s}^{-1}$. A naopak, galaxie s vlastním pohybem směrem od nás se vzdalují rychlostmi přes $2\,500 \text{ km s}^{-1}$. Rekordní rychlostí $2\,535 \text{ km s}^{-1}$ se vzdaluje galaxie NGC 4388.

Nejjasnější, nejhmotnější, nejaktivnější galaxií z celé kupy galaxií v Panně je dominantní galaxie M 87. Je intenzivním zdrojem rentgenového záření, označovaným v seznamu rentgenových zdrojů jako Virgo X1, a zároveň rádiovou galaxií Virgo A. Ve středu M 87 je obří černá díra, která je příčinou nesmírných toků elektromagnetického záření galaxie a energetických výtrysků žhavých plynů, vyvrhovaných rychlostmi mnoha tisíc km s^{-1} . Z radiální rychlosti rotujícího disku ve středu galaxie M 87 je možné určit hmotnost černé díry na rekordních 7 miliard slunečních hmotností, které jsou lokalizovány v objemu srovnatelném s naší planetární soustavou.

V prostoru mezi galaxiemi kupy ve Vlasech Bereniky je mnoho žhavého plazmatu (o teplotě několika desítek milionů kelvinů), které vysílá rentgenové záření. Součástí kupy je temná hmota, které je více než atomární látky ve všech galaxiích kupy dohromady. Švýcarský astronom Fritz Zwickey upozornil v roce 1933 na skutečnost, že zářící hmota všech galaxií v kupě nemůže zdaleka vysvětlit pozorované rychlé pohyby. V kupě musí být mnohem více hmoty, která nezáří, která je však vybavena gravitační silou. Od té doby byla nezářivá hmota nalezena i v mnoha jiných kupách galaxií.

8.25 Kupa galaxií Cl 0024+17

Kupa galaxií Cl 0024+17 se nachází v souhvězdí Ryb. Snímek je z roku 2007 a pochází z Hubbleova dalekohledu. Přes něj je přeložena modrá mapa rozložení temné hmoty, jejíž výskyt byl dopočten na základě gravitačních účinků. Temná hmota je tvořena částicemi

dosud neznámé povahy, které s běžnou látkou interagují jen velmi málo. Temná hmota v této kupě galaxií tvoří zřetelný prstenec. Je to první detekovaná pravidelná struktura složená z temné hmoty. Pro vzdálenější objekty působí celá kupa jako gravitační čočka. Modré čárky blízko středu jsou obrazy velmi vzdálených galaxií, které nepatří do této kupy a byly jí gravitačně zdeformovány.

Kupa galaxií (galaktická kupa, hnízdo galaxií) je nápadné seskupení galaxií na zdánlivě malém kousku oblohy. Její rozměry mohou být 10 až 20 milionů světelných roků. Počet galaxií v chudé kupě je několik desítek až stovek. Bohatá kupa galaxií má až deset tisíc galaxií. Galaxie jsou drženy v kupě vzájemnou gravitací. Osamocené galaxie (které nejsou členy nějaké kupy) jsou ve Vesmíru vzácné. Nejznámější je obří kupa galaxií v souhvězdí Panny, vzdálená 60 milionů světelných roků. Je středem Místní nadkupy galaxií (Supergalaxie), do níž patří i naše Galaxie.

8.26 Kupa galaxií MACS 1206

MACS 1206 je kupa galaxií s velkým množstvím temné neboli skryté hmoty. Svědčí o tom obrazy vzdálenějších galaxií, které jsou zesíleny a deformovány mohutnou gravitací této kupy. Hovoříme o tzv. jevu gravitační čočky. Samotná galaktická kupa MACS 1206 je blíže než s pomocí ní zobrazované galaxie. Je od nás vzdálena 4,5 miliardy světelných roků. Světlo, které dnes na snímku vidíme, opustilo galaktickou kupu v době, kdy vznikala naše Země. Takové snímky pomáhají astronomům podrobně mapovat rozložení temné hmoty v galaktických kupách.

CLASH (*Cluster Lensing And Supernova survey with Hubble*) je projekt pro Hubbleův dalekohled, v rámci kterého se detailně studuje rozložení temné hmoty v 25 velmi hmotných galaktických kupách. Byly vybrány tak, aby jejich směry pokryly rovnoměrně celou oblohu. Jednou z vybraných kup je MACS 1206. Projekt probíhá na všech vlnových délkách, ve kterých pracuje Hubble.

8.27 Srážka galaktických kup Abell 2744

Kupa Abell 2744 je vícenásobným objektem Abellova katalogu. Jde o složitou srážku nejméně 4 galaktických kup. Oblast se nachází v jižním souhvězdí Sochaře a je od nás vzdálená 3,5 miliardy světelných roků. Všechny interagující kupy zaujímají prostor o velikosti 6 milionů světelných roků. Na pozadí je vizuální snímek z Hubbleova dalekohledu. Modrou barvou je zobrazeno rozložení temné hmoty dopočtené na základě gravitačního čočkování. Červenou barvou je zobrazen rentgenový signál zachycený z horkých plynů rentgenovou observatoří Chandra.

Abell je katalog galaktických kup, který dnes obsahuje 4 073 kup galaxií. Katalog publikoval americký astronom George Abell v roce 1958, tehdy obsahoval „pouze“ 2 712 kup. Základem byly pozorování v rámci První Palomarské přehlídky oblohy, která byla prováděna za pomoci pětimetrového dalekohledu na Mt. Palomaru.

8.28 Místní nadkupa galaxií (Supergalaxie)

Mléčná dráha je jednou z desítek galaxií v naší Místní nadkupě galaxií neboli Supergalaxii. Střed naší Supergalaxie je v Kupě galaxií v Panně. Naše Galaxie je od tohoto středu v souhvězdí Panny vzdálena 60 milionů světelných roků. Od jejího okraje nás dělí vzdálenost 15 milionů světelných roků. Supergalaxie je systém mnoha kup a malých hnízd galaxií. Naše Supergalaxie, kterou na rozdíl od ostatních píšeme s velkým S, je zploštělý útvar o průměru 150 milionů světelných roků.

Nadkupa galaxií (Supergalaxie) je soustava kup galaxií a galaxií. Rozměry supergalaxií jsou stamiliony světelných roků. V supergalaxii je zhruba stotisíc galaxií. Jsou známy desítky supergalaxií, nacházejí se v uzlech, kde se protínají mohutná vlákna temné hmoty. Naši supergalaxii označujeme velkým písmenem – Supergalaxie. Její střed se nachází v Kupě galaxií v Panně a je od nás vzdálený 60 milionů světelných roků.

8.29 Hubbleovo velmi hluboké pole

Hubbleovo velmi hluboké pole je obraz malé oblasti v jižním souhvězdí Pece. Je výsledkem pozorování Hubbleovým dalekohledem v infračerveném záření od září 2003 do ledna 2004. Představuje nejvzdálenější pohled do Vesmíru. Bylo složeno z 800 snímků, na kterých je 10 000 galaxií v různých vývojových stádiích. Nejčervenější a nejslabší objekty jsou ohraničeny čtverečky. Jejich detailní obrázky vidíte v pravé části. Jsou to nově vzniklé malé galaxie, od nás vzdálené kolem 13 miliard světelných roků. Lze odhadnout, že takové snímky celé oblohy by obsahovaly 400 miliard galaxií.

Hubbleovo velmi hluboké pole (Hubble Ultra-Deep Field) – viz snímky 1.29 a 1.30.

8.30 Obří černá díra v eliptické galaxii NGC 4261

NGC 4261 je eliptická galaxie vzdálená 100 milionů světelných roků ve směru souhvězdí Panny. V centru galaxie je velmi hmotná černá díra, na jejíž bezprostřední okolí se

díváte na snímcích z Hubbleova dalekohledu. Černá díra je krmená plynem a prachem z tlustého akrečního disku o průměru 800 světelných roků. Je dobře patrný na pravém snímku. Část padajícího materiálu je vytlačena magnetickým polem do obrovských výtrysků, které vidíte nalevo. Měřením rychlosti rotace prachového disku byla stanovena hmotnost černé díry na 400 milionů hmotností Slunce. Tato obromá hmotnost se nachází v oblasti srovnatelné s naší planetární soustavou.

Disk obklopující černou díru má hmotnost 100 000 Sluncí a byl objeven v roce 1992. Snímky z roku 1995 zaznamenaly poprvé strukturu disku, která pravděpodobně souvisí s vlnami a nestabilitami šířícími se diskem. Také se ukázalo, že černá díra s diskem nejsou přesně v centru galaxie NGC 4261. Pro tento fakt zatím chybí uspokojivé vysvětlení.

Souhvězdí Panny (Virgo) je velké souhvězdí jarní oblohy. Archeologické nálezy sošek nasvědčují tomu, že v době našich indoevropských předků (před 6000–7000 lety) toto souhvězdí představovalo bohyni-matku. Klas v její ruce (hvězda Spica) je symbolem letní úrody. Tehdy byl bod letního slunovratu v souhvězdí Panny. Později, v antice, se bohyně-matka přeměnila v bohyni Pannu s klasem. Řekové v souhvězdí Panny spatřovali bohyni Démétér, které její bratr Zeus svěřil péči o rolnictví a plodnost země.

Pro obyvatele údolí Eufratu a Tigridu představovalo toto souhvězdí bohyni *Ištar*, dceru nebes a královnu hvězd. V Egyptě bylo souhvězdí Panny nazýváno *Eses*, což byla matka boha Slunce *Hora* a manželka *Usireva*, boha podsvětí.

Panna je zvířetníkové souhvězdí, v němž světový rovník protíná zdánlivou dráhu Slunce – ekliptiku. Tento průsečík světového rovníku s ekliptikou (podzimní bod) je přibližně uprostřed mezi hvězdami β Vir a η Vir. Slunce na své zdánlivé dráze po ekliptice tímto bodem přechází na jižní nebeskou polokouli, končí léto a nastává podzim.

K nejzajímavějším objektům v souhvězdí Panny patří Kupa galaxií v Panně. Kupa galaxií je vzdálená 60 milionů světelných roků a obsahuje přibližně 2 500 galaxií, z nichž většina jsou spirální (podobné Galaxii), ostatní jsou eliptické a jen několik nepravidelných. Tato kupa galaxií se nachází v severní části souhvězdí Panny, u souhvězdí Vlasy Bereniky (*Coma Berenices*) a bývá nazývána „*Říše galaxií*“.

Několik desítek jich lze vidět dalekohledem o průměru alespoň 15 cm. Messierův katalog jich zahrnuje celkem 16, a to těch nejjasnějších: M 49, M 58, M 59, M 60, M 61, M 84, M 85, M 86, M 87, M 88, M 89, M 90, M 91, M 98, M 99 a M 100. Messier je nazýval „kupa mlhovin“, neboť neznal jejich skutečnou podstatu.

Kupa galaxií v Panně – viz snímek 8.24.

8.31 Výtrysk z M 87

Ukázalo se, že černé díry jsou v centrech všech větších galaxií. V některých již není v okolí dosti materiálu a galaktický střed je relativně klidnou oblastí. V jiných je kolem akreční disk z plazmatu, které dopadá na černou díru a velmi intenzivně září. Část částic zachrání před pádem do černé díry silné magnetické pole v jejím okolí. Toto pole vytváří magnetické silotrubice, které částice fokusují do dvou výtrysků ve směru rotační osy a urychlují je na rychlosti blízké rychlosti světla. Tyto výtrysky pak září synchrotronovým zářením a postupně se brzdí o okolní prostředí. Na jejich koncích bývají typické rádiové laloky. Na snímku se díváte na výtrysk z aktivního jádra obří eliptické galaxie M 87.

Zdrojem energie, která urychluje částice do relativistických rychlostí, je gravitace obří černé díry ve středu galaxie. Její obrovská gravitační, rotační a magnetická energie se „peckovým jevem“ mění v kinetickou energii výtrysku. Černá díra uprostřed galaxie M 87 má hmotnost sedmi miliard Sluncí. Ta je soustředěna do prostoru srovnatelného s naší planetární soustavou. O bouřlivých procesech u rotující obří černé díry ve středu galaxie M 87 svědčí i to, že je mohutným zdrojem všech druhů záření – od gama až po rádiové.

M 87 je největší galaxií v centru velké kupy galaxií, která je středem Místní nadkupy galaxií (Supergalaxie). Je obklopena rozsáhlým systémem kulových hvězdokup. Na zvětšeném snímku galaxie vlevo nahoře vidíme ty nejjasnější jako jasné body – ve skutečnosti jsou to hvězdné systémy kulového tvaru obsahující statisíce hvězd. Galaxie M 87 má přibližně 15 000 kulových hvězdokup (zatímco naše Mléčná dráha jich má asi jen 200).

8.32 Černá díra v centru galaxie

Ve Vesmíru nenalézáme jen černé díry, které jsou pozůstatky života velmi hmotných hvězd. Obří černé díry také sídlí v centrech galaxií. Jsou jakýmsi hnacím motorem galaxie, energie vyzařovaná z akrečního disku bývá nejpodstatnější složkou energetického výdaje galaxií. I naše Galaxie má ve svém středu obří černou díru, někdy říkáme veledíru. Má hmotnost 4 miliony Sluncí a naše Sluneční soustava ji obíhá ve vzdálenosti 26 000 světelných roků.

Existenci obřích děr ve středu mnoha galaxií už potvrdil Hubbleův dalekohled. Nesmírný tok záření z poměrně malého objemu kvazarů pochází z gravitační energie obřích černých děr v jejich středu. Také aktivní galaxie čerpají energii pro svou obrovskou svítivost z gravitační energie obřích černých děr, které se nacházejí v jejich středu. Dnes se zdá, že každá větší galaxie má ve svém středu černou díru. Jejich původ je, na rozdíl od hvězdných černých děr, nejasný.

8.33 Aktivní galaktická jádra

V průběhu několika desetiletí se objevilo několik druhů galaxií s aktivními jádry. Později se ukázalo, že společným mechanismem všech těchto typů je obří černá díra sídlící v centru, která má kolem sebe plazmový disk, ze kterého materiál padá do černé díry. Plazmový torus se vnitřním třením zahřívá a intenzivně září i v rentgenové oblasti. Část látky je vyvrhována magnetickým polem do dvou výtrysků ve směru rotační osy černé díry. Vně plazmového disku bývá často ještě prachový torus, který brání ve výhledu k nejvnitřnější části černé díry. Jednotlivé postupně nacházené typy galaxií s aktivními jádry jsou pravděpodobně jediným druhem objektu, na který se díváme z různých směrů. Podle směru pohledu můžeme vidět blazar, kvazar, radiogalaxii nebo Seyfertovu galaxii.

Aktivní galaktické jádro je jádro aktivní galaxie, v němž je uvolňováno obrovské množství energie ve formě kinetické energie a elektromagnetického záření v celém rozsahu: od rádiového záření až po gama fotony s energiemi řádově TeV. Celková energie uvolňovaná jádrem každou sekundu (výkon jádra) v některých případech převyšuje až několikatisíckrát zářivost Galaxie. Zdrojem mimořádné energie je pravděpodobně gravitační energie obří černé díry ve středu galaktického jádra.

8.34 Černá díra v centru Mléčné dráhy I

Nejbližší velmi hmotná černá díra se nachází přímo ve středu naší Galaxie, v souhvězdí Střelce, ve vzdálenosti 26 000 světelných roků. Celá oblast se projevuje především jako rádiový zdroj Sgr A, který byl objeven v roce 1933 Karlem Guthem Janským. V roce 1974 byl v oblasti nalezen bodový zdroj označovaný od té doby Sgr A. Kolem zdroje obíhá značné množství hvězd, Sgr A* je vlastně středem hvězdokupy. Z přesného měření pohybu těchto hvězd byla vypočtena hmotnost objektu jako 4 miliony Sluncí, tomu odpovídá Schwarzschildův poloměr 0,08 AU, což je 12 milionů kilometrů. Měření pohybu hvězd probíhá v blízkém infračerveném oboru, v jiných oborech jsou hvězdy v centrální oblasti Galaxie zakryty mračny plynu a prachu. Vědci si hodně slibují od radioteleskopické sítě ALMA, která byla vybudována v chilské poušti Atacama. Za pomoci tohoto přístroje uvidíme až do bezprostřední blízkosti naší centrální černé díry.*

Černá díra ve středu Galaxie je především zdrojem rádiového záření, ale vysílá i v submilimetrové, infračervené a rentgenové oblasti spektra. Jak v infračerveném, tak v rentgenovém oboru vydává Sgr A* záblesky trvající přibližně hodinu a nepravdělně se opakující po několika hodinách. V infračerveném oboru jde o synchrotronové záření elektronů s teplotou 10^{11} K, malé procento elektronů je v průběhu záblesku zahřáto až na 10^{12} K. V rentgenovém oboru je záření generováno inverz-

ním Comptonovým rozptylem. Ve všech pozorovaných záblescích byla na observatoři VLT (viz snímek 1.26) objevena v oboru 1,4 až 4 μm kvaziperiodická složka se základní periodou 17 až 22 minut. Tato složka pravděpodobně souvisí s oběhem elektronů z vnitřní části akrečního disku kolem černé díry. Poslední stabilní orbita pro Schwarzschildovu černou díru o hmotnosti $4 \times 10^6 M_\odot$ má periodu přibližně 30 minut. Z přibližně dvacetiminutové periody záblesků plyne, že musí jít o rotující černou díru, která kolem sebe svou rotací strhává časoprostor (Lenseův-Thirringův jev). Samotná geneze záblesků je nejasná, nejčastěji se uvažuje o přepojení magnetických siločar (vždy po několika hodinách), při kterém se uvolněná energie předává elektronům. Na světelné křivce záblesků tak lze najít jednotlivá nepravidelná maxima odpovídající rekonexím a periodickou složku odpovídající oběhu plazmatu kolem černé díry. Elektrony zahřáté při rekonexi poté předávají svou energii fotonům při inverzním Comptonově rozptylu, čímž pravděpodobně vzniká rentgenová složka záblesků.

Synchrotronové záření – viz snímek 8.22.

8.35 Černá díra v centru Mléčné dráhy II

Prachoplynný oblak prolétávající kolem černé díry uprostřed naší Galaxie byl poprvé pozorován v roce 2002 a jeho průlet pericentrem je očekáván v roce 2013. V jádru Galaxie se nachází obrovitá černá díra, jejíž hmotnost je z pohybu okolních hvězd dopočtena na 4 miliony Sluncí. Dosud byly v její blízkosti velmi komplikovanými technikami pozorovány jen hvězdy a z nich jen ty, které září v mikrovlnné a infračervené oblasti. Pozorovat prachoplynný oblak, jak bude ovlivňován v blízkosti jádra Galaxie, bude něco mimořádného. Oblak by měl být rozerván slapovými silami a následně stahován do černé díry.

ALMA (Atacama Large Millimeter Array) je síť 66 radioteleskopů, která byla zprovozněna v roce 2012 v chilských Andách ve výšce 5 100 m nad mořem. Jde o projekt Evropské jižní observatoře, smlouva o stavbě byla podepsána v roce 2002, se stavbou se započalo na podzim 2003. Každý radioteleskop má průměr 12 metrů. Radioteleskopická síť ALMA je určena především pro milimetrové vlnové délky a očekává se, že s ní bude možné dohlédnout do bezprostřední blízkosti černé díry v centru naší Galaxie (Mléčné dráhy).

ALMA – viz také snímek 7.23.

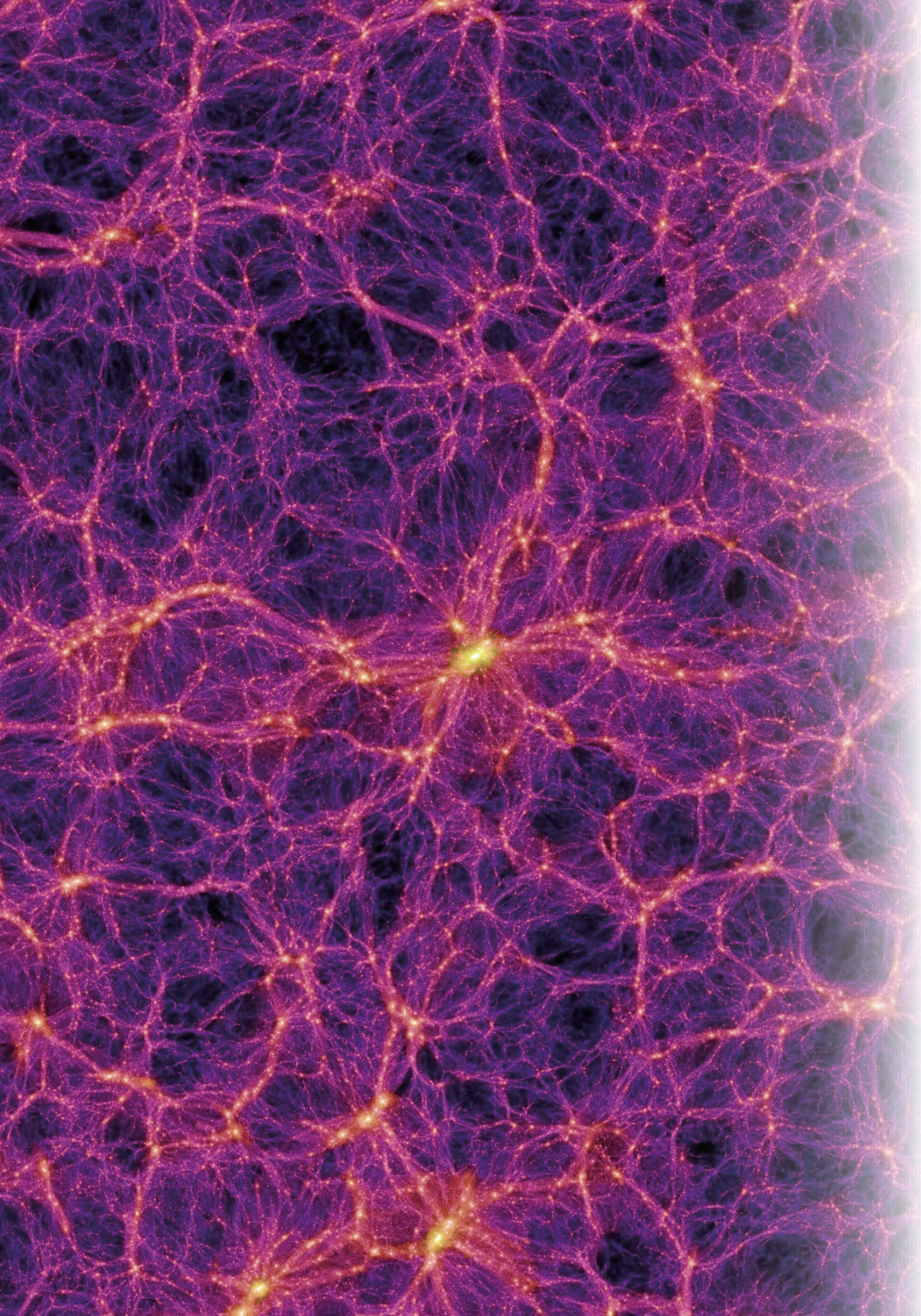
Pericentrum je bod na eliptické dráze kolem centrálního tělesa, který je tomuto tělesu nejbližší. Pro Slunce se používá výraz perihélium, pro Zemi perigeum, pro Měsíc periluna, pro hvězdu periastrum. Opakem je apocentrum, nejvzdálenější bod na oběžné dráze (vzhledem k centrálnímu tělesu).

Zdroje k osmé prezentaci

- 8.1 <http://www.jburnell.com/QSI/M53color.jpg>
- 8.2 <http://www.acoustimac.net/wpg/wp-content/gallery/space/11944034.jpg>
<http://ndla.no/sites/default/files/images/sy5f028e.jpg>
- 8.3 <https://webpace.utexas.edu/cokerwr/www/Talk/gravity.jpg>
http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/d3/Albert_Einstein_Head.jpg
- 8.4 archiv autora
- 8.5 <http://imgsrc.hubblesite.org/hu/db/images/hs-2008-08-a-print.jpg>
- 8.6 http://apod.nasa.gov/apod/image/0010/siriusb_cxo_big.jpg
http://www.nasa.gov/images/content/139459main_image_feature_468_ys_full.jpg
- 8.7 http://imgsrc.hubblesite.org/hu/db/images/hs-2009-32-a-full_jpg.jpg
<http://www.mjccreteil.com/asso/wp-content/uploads/2012/01/PLANETARIUM-2.jpg>
http://apod.nasa.gov/apod/image/0803/lh95_hst_big.jpg
http://messier.seds.org/Pics/Hi-res/m42_lv3niihaoiii.jpg
- 8.8 http://www.princeton.edu/~rvdb/images/NJP/m13LRGB_RC10.jpg
<http://www.eso.org/public/archives/images/publicationjpg/eso0844a.jpg>
- 8.9 www.eso.org/public/images/potw1119a/
celkový pohled: www.eso.org/public/images/eso-paranal-33/
- 8.10 archiv autora
- 8.11 <http://imgsrc.hubblesite.org/hu/db/images/hs-2011-26-a-print.jpg>
- 8.12 http://www.nasa.gov/images/content/498887main_Fermi_bubble_art_no_labels.jpg
- 8.13 http://apod.nasa.gov/apod/image/0901/gcenter_hstspitzer_big.jpg
- 8.14 <http://www.spacetelescope.org/static/archives/images/screen/heic9902o.jpg>
- 8.15 http://www.nasa.gov/centers/marshall/images/content/98792main_1060_xray.jpg
<http://www.spacetelescope.org/static/archives/images/publicationjpg/heic0514c.jpg>
- 8.16 <http://www.eso.org/public/archives/images/wallpaper5/eso1118a.jpg>

- http://lpnhe-d0.in2p3.fr/vlimant/NEPAL/NEPAL_Etoile2005/Photos/JLM_HST-Galaxy.jpg
<http://www.wallz.eu/photo/52187.jpg>
http://cosmicphotos.com/gallery/displayimage.php?fld_image_id=214&fld_album_id=12&fld_resol=3
- 8.17 http://astronomychamber.files.wordpress.com/2010/12/galaxia_m82_dez_2010_big.jpg
 - 8.18 <http://bigpicture.caltech.edu/mediaonly/bigpic3lrg.jpg>
 - 8.19 http://www.nasa.gov/images/content/420970main_M51HST-GendlerMr_full.jpg
 - 8.20 <http://www.spitzer.caltech.edu/images/1605-ssc2006-08a-A-Shocking-Surprise-in-Stephan-s-Quintet>
 - 8.21 <http://www.spacetelescope.org/images/heic0615a/>
<http://www.eso.org/public/images/eso1137c/>
 - 8.22 <http://www.eso.org/public/images/eso1221a/>
http://chandra.harvard.edu/graphics/photo/printgallery/printshop_16x20.jpg
<http://images.nrao.edu/11>
<http://chandra.harvard.edu/photo/printgallery/2002/>
 - 8.23 <http://www.kraiseeh.com/uploads/5/9/6/1/5961076/3547985.jpg?709>
 - 8.24 <http://www.spacetelescope.org/static/archives/images/screen/heic0709a.jpg>
 - 8.25 <http://www.spacetelescope.org/static/archives/images/screen/heic1115a.jpg>
 - 8.26 http://apod.nasa.gov/apod/image/1104/201103_VirgoGCM_andreo.jpg
 - 8.27 <http://www.eso.org/public/archives/images/large/eso1120a.jpg>
 - 8.28 archiv autora
 - 8.29 http://apod.nasa.gov/apod/image/0709/galaxylego_hst_big.jpg
 - 8.30 <http://hubblesite.org/newscenter/archive/releases/exotic/black%20hole/1995/47/image/a/>
<http://www.wolaver.org/Space/NGC4261.htm>
 - 8.31 http://www.sdss.org/iotw/M87_big.jpeg
<http://magic.mppmu.mpg.de/physics/recent/M87/>
 - 8.32 <http://chandra.harvard.edu/photo/2006/bhcen/animations.html>
<http://chandra.harvard.edu/resources/animations/blackholes.html?page=4>

- 8.33 http://heasarc.gsfc.nasa.gov/docs/cgro/images/epo/gallery/agns/agn_up_model.eps
- 8.34 <http://images.nrao.edu/images/sgrAVLA.jpg>
<http://www.jodrellbank.manchester.ac.uk/research/ska/brochure/000001.jpg>
<https://www.cfa.harvard.edu/~jzhao/GC/dyn/sgra.jpg>
- 8.35 <http://images.nrao.edu/images/sgrAVLA.jpg>
<http://www.jodrellbank.manchester.ac.uk/research/ska/brochure/000001.jpg>
<https://www.cfa.harvard.edu/~jzhao/GC/dyn/sgra.jpg>



9. Kosmický prostor

Kosmickým prostorem rozumíme prostor mezi planetami, mezi hvězdami v galaxiích a mezi galaxiemi v kupách galaxií.

Kosmický prostor je prostoupen gravitační silou nejbližších těles a součtem sil všech těles systému (hvězdokup, galaxií, kup a nadkup galaxií, Velkého atraktoru). Podle moderních poznatků je všechen kosmický prostor rovnoměrně prostoupen mohutnou odpudivou silou (tzv. temnou energií či antigravitací). Naopak přitažlivá gravitace obyčejné hmoty (tzv. baryonové, která je složena z protonů a neutronů) je všude ve Vesmíru zesílena gravitačními účinky nerovnoměrně rozložené temné hmoty.

V kosmickém prostoru je velmi rušno – není to ledová černá prázdnota. Jsou v něm fotony nejrůznějších energií, elementární částice, atomy, molekuly, prachové částice, jsou v něm i osamocené planety bez hvězd. Z prvotního Velkého třesku se mimo nukleonů (protonů a neutronů) a elektronů také dochovaly fotony reliktního záření a neutrina (tzv. „neutrinové moře“). Energie těchto reliktních neutrin je však příliš malá, takže je nelze detekovat (zůstávají zatím hypotetickými částicemi). Velká seskupení atomů, molekul a prachových částic pozorujeme jako mlhoviny – temné, ledově chladné o teplotě deset kelvinů, jež vysílají submilimetrové záření, ale i žhavé, s teplotou několik milionů kelvinů, které vysílají rentgenové záření.

Mezi hmotou v kosmickém prostoru a hvězdami – základními útvary viditelné astronomie – dochází k neustálé interakci. Z temných mlhovin (globulí) se rodí hvězdy a hvězdy se zbavují svých plynů průběžně ve formě hvězdného (například slunečního) větru a dramaticky při svém zániku. Přitom původní kosmický prvek – vodík – je ve hvězdách měněn na prvky, o nichž se učíme v chemii.

Vzájemné interakce hvězd a materiálu v kosmickém prostoru (plynů a prachu) se zúčastňuje také magnetické pole. Magnetické siločáry a silotrubice jsou místy nataženy do vzdáleností mnoha světelných roků. Určují tvar mlhovin a v globulích jsou zárodkem magnetických polí hvězd.

Obecně se jako kosmický prostor označuje veškerý prostor, který je mimo vesmírná tělesa. V angličtině se používá spojení *outer space* – vnější prostor. Podle FAI (Mezinárodní letecké federace) a podle usnesení OSN je hranicí vesmírného prostoru vzdálenost 100 km od povrchu Země (či jiného vesmírného tělesa) – tzv. Kármánova hranice.

Do této výšky sahá svrchovanost (suverenita) států. Tato hranice má i svůj fyzikální důvod: kolem ní svítí meteory, je to zhruba spodní hranice polárních září, astro-

nauti cítí „drncání“ své lodi při návratu na Zem a vrstva žhavého vzduchu před lodí na chvíli přeruší spojení s řídícím centrem.

Obvykle se kosmický prostor dělí na: meziplanetární, mezihvězdný a mezigalaktický.

*Nejenže je Vesmír podivnější než si myslíme,
je dokonce podivnější, než si dokážeme představit.*

(John Burdon Sanderson Haldane)

9.1 Úvod

Přívlastek astronomický bývá často spojen s nepředstavitelnými vzdálenostmi a lidskými smysly neuchopitelnými časovými obdobími. Jeden lidský život není ničím proti stáří Vesmíru a rozměry, které zažíváme na naší Zemi jsou pranepatrné ve srovnání se vzdálenostmi mezi nadkupami galaxií. Přesto tyto prostory nejsou prázdné. Sluneční soustava je zaplněna slunečním větrem, plynem, prachem, úlomky různého materiálu, planetkami a kometami. Mezi hvězdami v galaxiích jsou mlhoviny, ze kterých hvězdy vznikají a které po jejich životě zůstávají. Ani prostor mezi galaxiemi a kupami galaxií není prázdný. Všude nalezneme elektromagnetické záření, magnetická pole, neutrína, temnou hmotu a temnou energii. To vše je propojeno v jeden nedílný a fungující celek, který je naším domovem.

9.2 ① Měření

Chceme-li se orientovat v prostoru, je nutné dokázat změřit polohu těles, ať na Zemi, kde určujeme zeměpisnou šířku, délku a nadmořskou výšku, či ve Vesmíru, kde jde o rektascenzi, deklinaci a vzdálenost objektu. Právě měření vzdáleností ve Vesmíru je nejobtížnější úlohou a budeme jí věnovat nejvíce času.

9.3 Měříme polohu na Zemi

Pro určení polohy na Zemi stačí znát zeměpisnou šířku a délku objektu. Někdy může být užitečná i nadmořská výška, ta je ale už dána polohou na povrchu Země. K určování polohy je velmi užitečný družicový polohovací systém GPS. Kolem roku 2014 bude v plném provozu i evropský systém Galileo, který bude využívat 30 družic. Oba polohovací systémy mají celosvětové pokrytí a uživatelé této služby používají malé elektronické rá-

diové přijímače, které na základě odeslaných signálů z družic umožňují vypočítat jejich polohu s přesností na desítky až jednotky metrů.

GPS (Globální polohovací systém, *Global Positioning System*) je americký globální družicový polohovací systém, který určuje polohu a přesný čas kdekoli na Zemi nebo nad Zemí s přesností do deseti metrů. Přesnost GPS lze s použitím dalších metod ještě zvýšit až na několik centimetrů a pro speciální vědecké účely dokonce až na milimetry. Je to americký vojenský systém. Je k dispozici i civilním uživatelům, ale jen s omezenou přesností. V současné době se systém využívá v mnoha oborech lidské činnosti. Na provoz GPS se ročně vynakládá přibližně 600 až 900 milionů (2006–2008) amerických dolarů.

Galileo je evropská obdoba amerického GPS. Jde o civilní systém, a tak bude k dispozici trvale (americký systém to nezaručuje). Výstavbu Galilea zajišťuje Evropská unie (EU) reprezentovaná Evropskou komisí (EC) a Evropská kosmická agentura (ESA). Spuštění provozuschopného polohovacího systému Galileo bude asi v roce 2014. Centrála systému Galileo je v České republice v Praze. Plný systém bude sestávat z 30 satelitů (27 operačních + 3 záložní) obíhajících ve třech rovinách po kruhových drahách ve výšce 23 222 km. Každá z rovin dráhy bude svírat s rovinou rovníku úhel 56° , což umožní využívat navigační systém bez potíží až do míst ležících na 75° zeměpisné šířky. Galileo umožní každému držiteli přijímače signálu určit jeho aktuální polohu s přesností lepší než jeden metr. Systém Galileo má především sloužit v letecké, silniční, železniční, námořní, říční a městské dopravě. Bude však využíván i v dalších oblastech lidské činnosti (energetický průmysl, bankovníctví, zemědělství, civilní ochrana, životní prostředí, stavebnictví, záchranná služba aj.).

9.4 Měříme na obloze – souřadnice

Chceme-li určit polohu objektu na nebeské sféře, vystačíme se dvěma souřadnicemi – rektascenzí a deklinací, které jsou obdobou pozemské zeměpisné délky a šířky. Základní kružnicí je světový rovník, což je projekce zemského rovníku na nebeskou sféru. Nulovou souřadnici má tzv. jarní bod, což je průsečík zdánlivé dráhy Slunce s nebeským rovníkem, který se nachází v souhvězdí Ryb. Rektascenzi měříme od nultého poledníku procházejícího jarním bodem ve směru rovníku. Druhá souřadnice, deklinace, je úhlová výška objektu nad světovým rovníkem.

Jarní bod (bod rovnodennosti) je místo, v němž Slunce přechází světový rovník z jižní polokoule na severní. Vlivem precese se posouvá po ekliptice o $50,26''$ za rok vstříc Slunci. Proto je tropický rok o málo kratší než hvězdný rok. Rozdíl mezi oběma roky je doba, za kterou Slunce urazí právě $50,26''$.

Jarní bod je výchozím bodem pro počítání rektascenze nebeských těles v rovníkových souřadnicích a astronomické délky v ekliptikálních souřadnicích. Označuje se symbolem Υ , což je symbol souhvězdí Skopce (*Aries*), v němž se jarní bod nacházel před několika tisíci lety. Od té doby ho precese posunula po ekliptice západním směrem do sousedního souhvězdí Ryb (*Pisces*) a za několik málo století se bude nacházet v souhvězdí Vodnáře (*Aquarius*). Podle definice jsou souřadnice jarního bodu: rektascenze $\alpha = 0^\circ$, deklinace $\delta = 0^\circ$.

Rektascenze (α) je první ze dvou rovníkových souřadnic, které udávají polohu na nebeské sféře. Rektascenze je úhel mezi deklinační kružnicí hvězdy a deklinační kružnicí jarního bodu. Je to tedy obdoba geografické délky, v níž deklinační kružnice jarního bodu odpovídá greenwichskému poledníku.

Deklinace (δ) je druhá ze dvou rovníkových souřadnic, které udávají polohu na nebeské sféře. Deklinace je úhlová vzdálenost paralely, na níž hvězda leží, od světového rovníku. Hvězda na rovníku má deklinaci rovnou nule, hvězdy na severní polokouli mají deklinaci kladnou, na jižní zápornou. Hvězda na severním pólu má deklinaci $+90^\circ$, na jižním pólu -90° . Deklinace je obdobou zeměpisné šířky na Zemi. Měří se podél deklinační kružnice ve stupních ($^\circ$), minutách ($'$) a vteřinách ($''$).

9.5 Měření vzdálenosti – triangulace

Pokud chceme porozumět struktuře Vesmíru, nevystačíme jen s polohou objektů na nebeské sféře, ale musíme znát i vzdálenost objektů. Určování vzdálenosti patří k nejobtížnějším astronomickým úlohám. Na velmi krátké vzdálenosti nám pomůže triangulace založená na zaměření objektu ze dvou různých míst a následného výpočtu polohy z jednoduchých geometrických zákonů. Takto byly dříve určovány vzdálenosti objektů na Zemi, rozměry naší Země i vzdálenost k Měsíci.

Polohu je také možné na krátkých vzdálenostech určovat z doby návratu odraženého paprsku, ať již laserového nebo radarového. V dobách výprav Apollo zanechali američtí astronauti na Měsíci koutové odražeče, které umožnily přesné změření vzdálenosti Měsíce laserovým paprskem vyslaným ze Země, odraženým od Měsíce a opět zachyceným na Zemi. Z radarových odrazů byl poprvé mapován povrch Venuše, která je pod trvalým příkrovem neprůhledné oblačnosti. Trigonometrie spolu s odrazem paprsků patří k nejpřesnějším metodám určování malých vzdáleností.

Koutový odražeč je optický prvek, jehož odrazné plochy připomínají roh místnosti. Dopadající paprsek se odráží na třech plochách a vrátí zpět přesně do směru, ze kterého přiletěl. Využívá se například u odrazných ploch na dopravních značkách.

9.6 Měření vzdálenosti – paralaxa

Další metodou měření vzdálenosti je měření tzv. paralaxy hvězd. Při tomto měření se využívá pohybu Země kolem Slunce. V lednu se na hvězdu díváme z jiného místa oběžné dráhy než v červenci. Blízké hvězdy proto opisují na obloze zdánlivou elipsu vzhledem ke hvězdám vzdálenějším. Úhlový poloměr této elipsy nazýváme paralaxa. Jde vlastně o úhel, pod kterým bychom z hvězdy viděli poloměr oběžné dráhy Země kolem Slunce. Z trigonometrie pak můžeme snadno dopočítat vzdálenost hvězdy. Nejbližší hvězda, Proxima Centauri, má paralaxu, 0,76", vzdálenější hvězdy mají paralaxu ještě menší. Měření paralaxy je obtížné, a je proto omezeno v současné době jen na hvězdy bližší než 1 000 světelných roků. Přesná měření polohy mnoha hvězd provedla astrometrická družice Hipparcos. Přípravovaná kosmická sonda GAIA proměří s velkou přesností vzdálenosti asi jedné miliardy hvězd.

Hipparcos je astrometrická družice, jejímž úkolem bylo proměřit přesné vzdálenosti hvězd a jejich jasnost (magnitudu). Hipparcos je zkratka z *High Precision Parallax Collecting Satellite*. Družice byla vypuštěna v roce 1989 a její činnost byla ukončena v roce 1993. Program měl dvě části: *Hipparcos Experiment* měřil pět astrometrických parametrů u cca 120 000 hvězd s přesností 0,002 až 0,004". *Tycho Experiment* měřil astrometrické a fotometrické vlastnosti u dalších 400 000 hvězd s o něco menší přesností. Výsledkem rozsáhlého měření jsou dva podrobné katalogy pojmenované *Hipparcos* a *Tycho*.

9.7 Měření vzdálenosti – cefeidy

Určování ještě větších vzdáleností ve Vesmíru je značně složité. Někdy nám mohou pomoci hvězdy, kterým říkáme cefeidy. Cefeidy jsou pulzující proměnné hvězdy, u kterých můžeme snadno změřit periodu změn jejich jasnosti na obloze. Tato perioda souvisí se zářivým výkonem cefeidy. Pokud změříme periodu kolísání jasnosti, můžeme dopočítat zářivý výkon cefeidy. Podle její skutečné jasnosti na obloze pak určíme její vzdálenost. K určování vzdáleností využila tento typ proměnných hvězd poprvé Henrietta Swan Leavittová v roce 1912. Za svůj život objevila 2 400 proměnných hvězd.

Za pomoci cefeid měřil na observatoři Mt. Wilson americký astronom Edwin Hubble vzdálenosti k relativně blízkým galaxiím, ve kterých byly cefeidy ještě rozlišitelné. Na základě těchto měření Hubble objevil v roce 1929 expanzi Vesmíru a Hubbleův zákon (vzdalování galaxií je úměrné jejich vzdálenosti). Dnes se naopak z měření rychlosti vzdalování galaxie dá z Hubbleova zákona odhadnout její vzdálenost.

Cefeidy – viz snímek 7.17.

9.8 Měření vzdálenosti – supernovy typu Ia

Na velkých kosmologických vzdálenostech veškeré metody selhávaly. Teprve na konci 20. století se začaly k měření vzdáleností využívat supernovy typu Ia. Je to bílý trpaslík, na kterého přetéká látka ze sousední hvězdy. Po překročení meze stability, která pro trpaslíka činí 1,4 hmoty Slunce, dojde k jeho termojaderné explozi, při které se vždy uvolní přibližně stejné množství energie. Explodující bílý trpaslík tak představuje jakousi standardní svíčku, z jejíž jasnosti na obloze lze odhadnout nejenom vzdálenost samotného trpaslíka, ale samozřejmě i jeho mateřské galaxie. V pravé horní části snímku vidíte fotografie čtyř galaxií, v levém sloupci před explozí a v pravém po explozi supernovy typu Ia. Exploze umožnila přesné určení vzdálenosti těchto galaxií.

Supernova typu Ia je závěrečné vývojové stádium těsné dvojhvězdy. Tvoří-li dvojhvězdu bílý trpaslík a obr (veleobr) nebo hvězda hlavní posloupnosti, může docházet k přenosu látky na bílého trpaslíka, který tak zvětšuje svoji hmotnost. Po překročení Chandrasekharovy meze ($1,4 M_{\odot}$) se bílý trpaslík zhroutí do neutronové hvězdy, dojde k explozivnímu termonukleárnímu hoření C a O na ^{56}Ni v celém objemu trpaslíka a uvolněná potenciální energie se projeví jako supernova typu Ia.

Množství energie je vždy zhruba stejné, takže z relativní pozorované jasnosti lze vypočítat vzdálenost příslušné supernovy a její mateřské galaxie. Přesnější hodnoty se pak určí z tvaru světelné křivky (z průběhu nárůstu a poklesu jasnosti). Supernovu typu Ia lze identifikovat podle tvaru jejího spektra, ve kterém chybí čáry vodíku a jsou přítomné čáry křemíku. Původní hvězda se při explozi supernovy typu Ia zcela rozmetá.

Měření vzdálenosti galaxií za pomoci supernov typu Ia umožnilo v roce 1998 objev zrychlené expanze Vesmíru (Adam Riess, Brian Schmidt a Saul Perlmutter), za které by měla být zodpovědná temná energie (antigravitační síla), jejíž podstata je dosud neznámá.

9.9 ② Meziplanetární prostor

Prostor Sluneční soustavy představuje kosmické prostředí pro naši Zemi. Některé procesy zasahují do jejího života. Z Vesmíru i ze Sluneční soustavy atakují Zemi nejrůznější částice, prach, kameny a někdy větší tělesa. První ochranou linií je heliosféra – magnetický obal celé Sluneční soustavy. Jako druhá v pořadí nás před nepříznivými vlivy chrání magnetosféra naší Země. Poslední, třetí úroveň ochrany zabezpečuje zemská atmosféra. Na pozadí tohoto snímku vidíte zodiakální světlo. Je to sluneční záření rozptýlené na meziplanetární hmotě, jejíž hlavní složkou je prach.

9.10 Meteoroidy

Zdrojem meziplanetárního prachu a menších těles jsou srážky planetek a rozpadající se jádra komet. Tato tělíska přilétající k Zemi nazýváme meteoroidy. Většina z nich shoří v atmosféře. Při setkání těchto částic s atmosférou vznikne svítící stopa, které říkáme meteor. Pokud dopadne nějaká část původního tělesa na povrch Země, hovoříme o meteoritu. Naše Země občas křížuje dráhu některé ze současných nebo už rozpadlých komet.

V místě setkání je zvýšené množství meteoroidů a my můžeme na noční obloze pozorovat desítky až stovky meteorů za hodinu neboli meteorický roj. Některé pravidelné roje vidíte v dolní části obrázku. Nejznámějším rojem jsou srpnové Perseidy. Převyší-li hodinová frekvence stovky meteorů za hodinu, hovoříme o meteorickém dešti. Na obloze k nám tyto meteory společného původu míří jakoby z jednoho jediného místa – úběžníku, kterému říkáme radiant.

Nejznámějším a nejpravidelnějším meteorickým rojem jsou Perseidy. Lidově se nazývaly „slzičky svatého Vavřince“, protože nejčastěji padaly kolem 10. srpna, kdy se slavil den sv. Vavřince. V 60. letech 19. stol. italský astronom G. V. Schiaparelli (1835–1910) vypočítal jejich dráhu a zjistil, že mají stejnou dráhu jako Swiftova-Tuttleova kometa (1862 III). To byl první zjištěný případ genetické souvislosti meteorického roje s kometou. Každý meteorický roj má svou mateřskou kometu.

9.11 Subkosmické a kosmické záření

Zemi atakuje obrovské množství elementárních částic – protonů, elektronů, fotonů, jader hélia i dalších. Pokud je jejich zdroj ve Sluneční soustavě, hovoříme o subkosmickém záření. Energie těchto částic je nižší než 100 MeV na nukleon. Zdrojem subkosmického záření jsou sluneční erupce a meziplanetární rázové vlny. Tok subkosmického záření je regulován meziplanetárním magnetickým polem, takže kolísá se sluneční činností.

Naopak kosmickým zářením nazýváme vysokoenergetické částice dopadající na Zemi z kosmického prostoru. Jsou v něm jádra různých prvků, protony, elektrony a záření gama. Jako primární kosmické záření se označují částice před dopadem do atmosféry. Pohybují se Vesmírem rychlostí blízkou rychlosti světla a jejich energie je větší než 100 MeV na jeden nukleon. V atmosféře vytvářejí tzv. spršku sekundárního záření.

Kosmické záření (kosmické paprsky) jsou částice s velkou energií, které dopadají na Zemi z kosmického prostoru. Jedná se především o protony (85 až 90 procent) a jádra hélia (9 až 14 procent). Zbytek tvoří elektrony, jádra jiných atomů a další elementární částice.

Primární kosmické záření nepronikne do atmosféry hlouběji než zhruba do výšek 12 až 15 km. Jeho částice interagují v atmosféře s jádry kyslíku a dusíku a rozbíjejí je na nukleony (tzv. vypaření jádra) nebo větší odštěpky a z jeho energie navíc vznikají gama fotony a páry částic s odpovídajícími antičásticemi. Takto může vzniknout v atmosféře v nepatrném zlomku sekundy z jedné primární částice proud až několika milionů sekundárních částic a gama-fotonů, které pokračují v jejím původním směru. Energie primární částice se tak změní při průletu atmosférou ve spršku kosmického záření.

Největším detektorem kosmického záření na světě je Observatoř Pierra Augera v Argentíně.

Sekundární kosmické záření je tok energetických částic v atmosféře vyvolaný velmi energetickými částicemi primárního kosmického záření. Při srážce s atomem kyslíku nebo dusíku v atmosféře se jádro „vypaří“, tj. rozpadne se na nukleony (protony a neutrony), mezony π (neutrální π^0 , a s elektrickým nábojem π^+ a π^-), úlomky atomových jader (alfa částice), deuterony a gama fotony.

9.12 Kosmické počasí a podnebí

Zdaleka nejdůležitějším činitelem rozhodujícím o kosmickém prostředí naší Země a tedy i o počasí a podnebí na jejím povrchu je Slunce. Kosmickým počasím rozumíme okamžitý stav okolozemního prostoru a vyšších vrstev zemské atmosféry a magnetosféry. Kosmické počasí ovlivňuje kolísání meziplanetárního magnetického pole a intenzita slunečního větru, který deformuje zemskou magnetosféru. Plazmoidy ze Slunce mohou na Zemi způsobit magnetické bouře a polární záře. Kosmickým podnebím rozumíme dlouhodobý průměrný stav kosmického prostředí, jímž prochází při oběhu kolem středu Mléčné dráhy naše Sluneční soustava. Kosmické počasí je sledováno řadou k tomu určených družic.

Na naši Zemi dopadá sluneční záření s intenzitou 1,4 kW na 1m² vně atmosféry – (sluneční konstanta). Na celou Zemi dopadá výkon 180 000 TW. Sluneční záření zahřívá Zemi (z -260 °C na +18 °C), rozdmychává větry, udržuje koloběh vody, dodává biosféře 90 TW a udržuje její život, osvětluje její polovinu a umožňuje vidění.

Se sluneční činností kolísá meziplanetární magnetické pole, které ovlivňuje tok kosmického záření dopadajícího na Zem. Energetické ultrafialové, rentgenové případně i gama záření vysílané erupcemi ovlivňuje stav (teplotu, ionizaci, tlak) vyšších vrstev atmosféry. Ze Slunce může uniknout koronální výron hmoty, který s sebou nese nejenom nabitě částice, ale i zamrzlé magnetické pole. Pokud se takový chuchvalec plazmatu přiblíží k Zemi, způsobí magnetickou bouři – náhlé kolísání magnetic-

kého pole, které je pozorovatelné jako chvění střelky kompasu. Magnetické bouře jsou nebezpečné pro komunikační systémy, dálkové rozvody energie a elektroniku přístrojů na družicích. Kosmické počasí je monitorováno mnoha desítkami družic a pravidelně ho lze sledovat na stránce:

www.spaceweather.com

Kosmické podnebí, tj. dlouhodobý průměrný stav kosmického prostředí, jímž prochází při oběhu kolem středu Mléčné dráhy naše Sluneční soustava, může ovlivnit setkání s cizí hvězdou nebo dokonce s černou dírou – pozůstatkem po hvězdném veleobru, výbuch supernovy vzdálené méně než padesát světelných roků nebo průchod galaktickou rovinou, v níž jsou hustá mezihvězdná oblaka. Z dlouhodobého hlediska se kosmické podnebí daleké budoucnosti nepochybně změní – zcela jistě k tomu přispějí následující události:

- rozpínání Slunce v červeného obra po vyhoření vodíku v jeho nitru,
- srážka Mléčné dráhy s Velkou galaxií v Andromedě,
- zánik Slunce za sedm miliard roků,
- pád do Velkého atraktoru v jižním souhvězdí Pravítka.

9.13 Sluneční aktivita

Ze Slunce uniká elektromagnetické záření převážně ve formě světla a infračerveného záření. Slunce ale opouští i žhavé proudy plynů. Podél vlájících magnetických siločar unikají ze Slunce nabitě částice, které tvoří sluneční vítr. Při přepojení slunečních siločar dochází k uvolnění energie a ke sluneční bouři. Konečnou fází sluneční bouře jsou sluneční erupce a výrony hmoty, při nichž jsou vymrštěny miliardy tun plazmatu rychlostí několika set kilometrů za sekundu. Na snímku je vlevo eruptivní protuberance a vpravo sluneční vítr pozorovaný v říjnu 2010 přístrojem EIT na družici SOHO.

Tvar a razance sluneční erupce jsou dány konfigurací a energií magnetického pole aktivní oblasti. Pokud se k sobě dostanou siločary opačného směru, může dojít k jejich přepojení, při kterém magnetické pole prudce změní svou dosavadní topologii do jiné, energeticky výhodnější podoby a dojde k uvolnění magnetické energie. Tato energie se přemění v tepelnou energii, rentgenové záření zahřátého plazmatu a kinetickou energii odlétajícího plazmatu. Plazmatický útvar, který odlétá od Slunce, nazýváme plazmoidem. Často s sebou nese i sluneční magnetické pole. Hovoříme o tzv. zamrzlém magnetickém poli. V roce 2005 jeden z těchto plazmoidů způsobil postupně polární záře na třech planetách – Zemi, Jupiteru a Saturnu.

9.14 Sluneční vítr

Ze sluneční koróny stále vane tok ionizovaných plynů – sluneční vítr. Je silně proměnlivý a jeho tlak deformuje magnetosféry planet do protáhlého tvaru. Pokud planeta magnetosféru nemá, jako například Venuše, interaguje sluneční vítr s její ozonosférou, která pro něj představuje nabitou překážku. Sluneční vítr má u Země rychlost kolem 500 km s^{-1} . Na snímku vidíte záznam průletu chuchvalce plazmatu ve slunečním větru kolem naší Země dne 22. února 2012. Plazmoid výrazně ovlivnil jak magnetosféru Země, tak proudění v ionosféře.

Sluneční vítr je proud elektronů, protonů a jader hélia, který trvale uniká ze Slunce. Lze ho pozorovat jako protáhlé světlé úzké proudy z koróny. Jeho rychlost, hustota i magnetické pole (které s sebou vítr unáší) jsou proměnlivé a měří je družice a některé meziplanetární sondy. Kolísavý tlak slunečního větru na magnetosféru způsobuje na Zemi proměnlivé magnetické pole i magnetické bouře. Nižší hodnoty rychlosti (kolem 500 km s^{-1}) má sluneční vítr z oblastí uzavřených magnetických polí nad aktivními oblastmi. Vyšší hodnoty (až 900 km s^{-1}) se vyskytují v rychlých proudech z koronálních děr, v nichž jsou magnetické siločáry otevřené do meziplanetárního prostoru. Elektrony a ionty prvků podél siločar hladce kloužou. Ze stejného důvodu snadno stoupají konvektivní proudy ve fákulích a flokulích. Proto jsou jasnější než okolí. Po sluneční bouři dochází k mohutnému zesílení hustoty, rychlosti i magnetického pole slunečního větru. Nazývá se meziplanetární bouře.

9.15 Heliosféra

Heliosféra je rozsáhlý prostor obklopující planetární soustavu, v němž vane sluneční vítr. Hranice heliosféry – heliopauza – je někde v Oortovu oblaku komet, několik set astronomických jednotek od Slunce. Uvnitř heliosféry převládá tlak slunečního větru, který s sebou unáší magnetické siločáry ze Slunce. Vně heliosféry převládá tlak mezihvězdného plynu a jeho magnetického pole. Heliosféra představuje magnetosféru Slunce. Je to dutina v galaktickém větru, podobně jako magnetosféra Země je dutina ve slunečním větru. Galaktický vítr vane směrem od středových oblastí Galaxie rychlostí $10\times$ menší, než je rychlost slunečního větru. Nápor nabitých částic v galaktickém větru dává heliosféře kapkovitý tvar.

Heliosféra chrání (do jisté míry) planetární soustavu před nepřízní mezihvězdného prostředí. Avšak neutrální atomy a molekuly mezihvězdného plynu, jakož i částice mezihvězdného prachu, meteoroidy a komety prolétávají heliosférou a mohou se srazit s tělesy planetární soustavy. Sondy Voyager 1 a 2 prolétají hranicí heliosféry.

Nalezly v ní prudce se měnící oblasti magnetického pole, jakousi magnetickou pěnu. Její „bublinky“ jsou veliké jako vzdálenost Země od Slunce.

9.16 Parkerova plocha

Rozhraní mezi severní a jižní polaritou meziplanetárního, tedy převážně slunečního pole, tvoří zvlněnou vrstvu, v níž teče elektrický proud. Tuto vrstvu nazýváme Parkerova plocha. Země při svém oběhu kolem Slunce prochází touto plochou, a tím se dostává do oblastí s různě orientovaným magnetickým polem. Na to reaguje magnetosféra: opačně orientované siločáry se mohou propojit se siločarami meziplanetárního pole. Stejně orientované siločáry v magnetosféře a v meziplanetárním poli magnetosféru stlačí. Zvlnění plochy nulového pole má tvar Archimédovy spirály a je způsobeno otáčením Slunce.

Meziplanetární magnetické pole v rovině ekliptiky tvoří sektory severní a jižní polarit. V S sektoru směřují siločáry pryč od Slunce. V J sektoru naopak směřují směrem ke Slunci. Meziplanetární sektor je výseč v rovině ekliptiky, kde je stejná polarita magnetického pole. Sektor vychází ze Slunce a vějířovitě se rozvírá se vzdáleností od něho. Na každý z obou sektorů reaguje zemská magnetosféra různým způsobem – podle toho zda jsou siločáry sektoru rovnoběžné se zemskými nebo orientované v protisměru. V prvním případě dochází k odpuzování. Opačně orientované siločáry se naopak propojí a sluneční vítr ze sektoru snadněji proniká do magnetosféry.

9.17 ③ Mezihvězdný prostor

Mezihvězdným prostorem nazýváme rozsáhlé oblasti mezi hvězdami. Vzdálenosti mezi sousedními hvězdami se udávají ve světelných rocích, v kulových hvězdokupách jen ve světelných týdnech. V mezihvězdném prostoru jsou malé oblasti meziplanetárního prostoru o velikosti pouze několika světelných hodin. Mezihvězdný prostor na pomezí galaxie přechází v mezegalaktický prostor, v němž jsou charakteristické vzdálenosti mezi sousedními galaxiemi statisíce světelných roků. Mezihvězdný prostor je zaplněn mezihvězdnou hmotou, reliktním zářením, neutrinovým oceánem, korpuskulárním zářením, magnetickým a gravitačním polem, temnou hmotou a temnou energií.

V mezihvězdném prostoru působí gravitační síla blízkých těles. Závisí na vzdálenosti od nich a především na jejich hmotnosti.

Polarizace světla vzdálených zdrojů a dlouhá vlákna mlhovin svědčí o tom, že v mezihvězdném prostoru jsou magnetická pole. Hvězdy s sebou při vzniku z mezihvězdných oblaků strhávají magnetické siločáry a magnetické pole tak zesilují. Kolem

mezihvězdných magnetických siločar krouží po šroubovicích velmi rychlé elektrony kosmického záření. Při tom vysílají tzv. synchrotronové záření. Mezihvězdný prostor je zaplněn fotony (elektromagnetickým zářením) různých druhů – od oboru gama až po rádiové vlny. Jejich množství a druh závisí na vzdálenosti od zdrojů. Celý Vesmír – včetně prostoru mezi hvězdami – je zaplněn mikrovlnným reliktním zářením ($450 \text{ fotonů v } 1 \text{ cm}^3$). Jsou to fotony ze zářivého období Vesmíru – tj. z prvních 400 000 roků po Velkém třesku. Vesmír je také zaplněn reliktním neutrinovým mořem. Neutrina se oddělila od látky v období kolem 1 s. V mezihvězdném prostoru se míhají částice kosmického záření a vznikají a zanikají na kratičkou chvíli částice s antičásticemi (podle Heisenbergova principu). Od hvězd vane hvězdný vítr – obdoba větru slunečního.

V některých prostorách Mléčné dráhy vanou mezihvězdné větry o různé rychlosti a hustotě. Od zanikajících hvězd slunečního typu se vzdalují vnější vrstvy rychlostí zhruba 20 km s^{-1} (tzv. planetární mlhoviny), zánik hvězdných veleobrů je provázen výbuchem (supernovou) s rychlostí několika tisíc km s^{-1} a výtrysky od obřích černých děr ve středech galaxií chrlí částice urychlené téměř na rychlost světla.

Rozsáhlé prostory mezi hvězdami zaplňují mlhoviny. Jsou to oblaka složená jednak z plynů (zhruba: 90 % atomů vodíku, asi 9 % atomů hélia a 1 % těžších prvků), jednak z prachových zrn. Jsou to zrna podobná cigaretovému kouři – vytvořená spojením atomů v mezihvězdném prostoru. Obsahují uhlík, křemičitany a těžkovatelné látky. Není to tedy prach vzniklý drcením pevného materiálu, jak ho známe na polích nebo prašných cestách. Velikost mezihvězdných prachových zrn je několik desetin mikrometru (tj. několik desetitisícin milimetru). Z polarizace světla vyplývá, že částčky prachu mají protáhlý tvar.

Synchrotronové záření – viz snímek 8.22.

Neutrina – viz snímky 2.25, 4.13 a 11.2.

9.18 Herbigovy-Harovy objekty

U rodících se hvězd často vznikají husté prachové disky. Od pólů vystřelují proudy žhavých plynů vytlačované magnetickým polem hvězdy. Tyto výtrysky interagují s okolním mezihvězdným prostředím a na jejich koncích vznikají typické rázové vlny. Energie dodávaná výtrysky látky kolem rodící se hvězdy umožňuje slučování vodíku a kyslíku na vodní molekuly. Objekty tohoto typu se nazývají Herbigovy-Harovy objekty. Na snímku z Hubbleova dalekohledu je Herbigův-Harův objekt, který je starý jen několik set tisíc roků. Nachází se v jižním souhvězdí Plachty ve vzdálenosti 1 500 světelných roků. Rodící se hvězda je skryta ve spodní části. Tlakem vytvořila okolní vějířovitou dutinu.

Herbigovy-Harovy objekty jsou malé jasné mlhoviny vznikající při utváření hvězdy, které jsou formovány výtrysky materiálu a tvrdého záření ve směrech obvykle odpovídajících rotační ose centrální hvězdy. Mlhoviny vznikající při interakci výtrysků s okolním mezihvězdným prostředím svítí ve viditelné oblasti spektra. Jde o vysoce ionizované prostředí. V chladném plynu za rázovou vlnou pak dochází k rekombinaci. Záření HH objektů má typické emisní spektrum. Objekty jsou pojmenovány po Georgu Herbigovi a Guillermu Harovi, kteří v letech 1946–1947 objevili první tři objekty tohoto typu ve Velké mlhovině v Orionu. Všechny v současnosti známé HH objekty jsou obklopeny hustým prachovým diskem a jsou intenzivními zdroji infračerveného záření.

Peckový jev (anglicky *melon-seed effect*) je vytlačování nabitých částic magnetickým polem ve směru rotační osy hvězdy nebo černé díry. Stlačením homogenního zmagnetizovaného plazmatu se siločáry stanou rozbíhavými. V důsledku diamagnetizmu plazma uniká ve směru slabšího magnetického pole. Podobně jako vystřelí pecka z plodu při jeho zmáčknutí – odtud název. Tento mechanismus se uplatňuje jak u hvězd (Herbigovy-Harovy objekty, neutronové hvězdy), tak u černých děr (aktivní galaxie, kvazary). Také typ výtryskové protuberance je vystřelován z povrchu Slunce do koróny peckovým mechanismem. Peckový jev je částečně odpovědný za rychlý sluneční vítr unikající z polárních oblastí na Slunci.

9.19 Hvězdné vichřice

Některé hvězdy obohacují okolní mezihvězdný prostor obrovským množstvím látky. Příkladem mohou být velmi horké Wolfovy-Rayetovy hvězdy, které jsou zdroji doslova mezihvězdných vichřic. Wolfova-Rayetova hvězda WR 124 chrlí do okolního prostoru chuchvalce látky, které mají hmotnost větší než naše Země, rychlostí kolem $2\,000\text{ km s}^{-1}$. Wolfova-Rayetova hvězda AB 7 se nachází v Malém Magellanově oblaku a hvězdná vichřice z ní unikající je více než deset milionkrát intenzivnější než sluneční vítr. Ještě více obohacují okolní mezihvězdný prostor supernovy – gigantické exploze, při nichž hvězda rozmetá do okolí podstatnou část své látky. Napravo vidíme pozůstatky po tzv. Tychoonově supernově z roku 1572.

Wolfovy-Rayetovy hvězdy jsou velmi žhavé hvězdy vysoko na hlavní posloupnosti HR diagramu. Poprvé popsali tento typ hvězd v roce 1867 Charles Wolf a George Rayet. Nejjasnější WR hvězdou na obloze je hvězda druhé magnitudy – γ^2 Velorum. Dnes jich je známo v Galaxii a v okolních galaxiích přes 300.

Většina ze známých WR hvězd mají ve spektru buď čáry vodíku (H), hélia (He I, He II), uhlíku (C II, C III, C IV) a kyslíku (O II, O III, O IV) nebo hélia a dusíku

(NII, NIII, NIV, NV). Podle toho se dělí do dvou spektrálních podtříd: WC – uhlíkové hvězdy a WN – dusíkové hvězdy. V obou skupinách je neobvykle vzácný vodík. Ve skupině WN chybí uhlík a kyslík.

Vedle absorpčních čar jsou ve spektru WR hvězd široké emisní čáry (především He I a He II) vyzařované atmosférou, která se rozpíná rychlostí kolem $2\,000\text{ km s}^{-1}$. Tento velmi prudký a hustý hvězdný vítr odnáší z WR hvězdy mnoho hmoty, přibližně $10^{-4} M_{\odot}$ za rok. Asi polovina známých WR hvězd se vyskytuje ve dvojhvězdách, takže lze z jejich pozorování určit hmotnost WR hvězdy. Ta představuje desítky slunečních hmotností. Stáří WR hvězd nemůže být vyšší než 100 000 let. Průvodcem WR hvězd ve dvojhvězdě je obvykle hvězda třídy O nebo B. Například dvojhvězda Gama Venaticorum se skládá z hvězd spektrálních tříd WC8 a O7.

Tychonova supernova se nachází v souhvězdí Kasiopěji ve vzdálenosti 13 000 světelných roků. V roce 1572 k nám doletěl signál o explozi bílého trpaslíka v dvojhvězdě. Takové supernovy označujeme jako typ Ia. K explozi došlo při překročení meze stability trpaslíka, která je $1,4 M_{\odot}$. Průměr pozůstatku je 55 světelných roků. Rentgenový snímek pořídil dalekohled družicové observatoře Chandra, hvězdné pozadí ve světle je z přehlídky oblohy DSS. Červeně je nízkoenergetické rentgenové záření, modře je vysokoenergetické rentgenové záření. Snímek ukazuje, že v supernovách dochází k urychlení částic kosmického záření. Jen takové energetické částice mohou vyzařovat do okolního mezihvězdného prostoru rentgenové záření.

9.20 Řasová mlhovina v Labuti

Řasová mlhovina v souhvězdí Labutě je složena z mnoha jemných vláken. Proto má několik označení v katalogu NGC i na hvězdných mapách. Mlhovina zabírá oblast oblohy přibližně $10\times$ větší než Měsíc a nachází se v blízkosti hvězdy Epsilon Cygni. Je od nás vzdálena 2 500 světelných roků. Jde o pozůstatek po explozi supernovy, která vybuchla asi před 50 000 lety. Její původní rychlost $10\,000\text{ km s}^{-1}$ se průletem mezihvězdným prostředím snížila na dnešních 100 km s^{-1} . Dodnes je však vydatným zdrojem nejen světla, ale i rádiového a rentgenového záření. Při srážce vyvržených plynů s mezihvězdnou hmotou se tvoří rázová vlna. V rázové vlně dochází k stlačení, zahřátí a ionizaci plynů, které září.

Katalog NGC (*New General Catalogue*, Nový všeobecný katalog) je katalog mlhovin, hvězdokup a galaxií, který publikoval v roce 1888 dánský astronom J. L. E. Dreyer na Armagh Observatory v Irsku. Katalog NGC byl sestaven na základě předcházejících katalogů Williama a Johna Hershela. Původní Dreyerův katalog NGC obsahoval 7 840 známých mlhovin, hvězdokup a galaxií (i když tehdy ještě nebylo známo, že se jedná o galaxie). Objekty v katalogu mají pořadové číslo podle rektascenze.

U každého objektu je udána jeho poloha a popis. Například NGC 1976 je Velká mlhovina v Orionu, NGC 1952 je Krabí mlhovina. Nejjasnější objekty v katalogu NGC lze najít i pod Messierovým číslem: například Krabí mlhovina NGC 1952 je zároveň prvním objektem v Messierově katalogu M 1. Katalog NGC je však více než 100× obsáhlejší než Messierův katalog. Později objevené objekty (přes 5 000) publikoval Dreyer ve dvou dodatcích, které nazval *Index Catalogues* (IC). Prvý byl uveřejněn v roce 1895, druhý v roce 1908. Všechny tři katalogy jsou publikovány v jednom svazku a obsahují celkem přes 13 000 objektů. Jsou označovány dodnes původními zkratkami NGC a IC.

9.21 Mlhoviny – zdroje prachu

Mezi hvězdami je mnoho prachu. Tvoří temné mlhoviny, které zakrývají oblasti za ním, nebo reflexní mlhoviny, které odrážejí světlo blízkých hvězd. Prachové částice jsou chladné. Na nich se zachycují atomy vyvržené z hvězd a spojují se v různé molekuly – včetně organických. Vhodnější než o prachu by bylo hovořit o kouřových částicích. Jednotlivé částičky totiž nevznikly drobením, tak jak tomu je u běžného prachu. Velikosti zrněk jsou od setiny mikrometru až po mikrometr. Na dolním obrázku vidíme oblaka prachu v centrální části Mléčné dráhy.

Mezihvězdným prachem nazýváme pevné částice v mezihvězdné hmotě. Jsou to zrna o velikosti od setiny mikrometru až po mikrometr. Jsou patrně složena z uhlíku, křemičitanů, ledů a kovů. V průměru připadá jedna prachová částice na 10 až 100 m³ mezihvězdného prostoru. Mezihvězdný prach působí na procházející světlo hvězd dvojím způsobem: rozptyluje světlo do různých směrů a pohlcuje je (mění světelnou energii v teplo). Oba procesy dohromady působí mezihvězdnou *extinkci* (zeslabení světla vzdálených hvězd). Protože extinkce ovlivňuje především krátké vlnové délky, projevuje se zčervenáním světla vzdálených objektů.

Prachové částice vznikají z atomů uhlíku, křemíku, síry, kyslíku, hliníku, železa a dalších prvků vytvořených v nitru velmi hmotných hvězd a vyvržených do mezihvězdného prostoru. Jejich zdrojem jsou proto především staré hvězdy na sklonku života: červení obři a supernovy. Jejich rozpínající se obálky chladnou a ve vzdálenosti několika miliard kilometrů od povrchu hvězdy jsou už natolik vychladlé, že se atomy těžkotavitelných prvků a jejich molekul shlukují do jemných částic o rozměrech několika nanometrů až po setiny milimetru. Zrna mezihvězdného prachu vznikají z plynů a svým vznikem se podobají „kouřovým částicím“. Klasické prachové částice vznikají například při srážkách v pásu planetek. Infračervené spektrum prachu v obálkách starých hvězd svědčí o uhlíku, karbidu křemíku SiC, oxidu hlinitém Al₂O₃, silikátech

(Mg,Fe)SiO₄ a sulfidech (FeS, ZnS, CdS). Uhlík je hydrogenovaný – částečně jsou na něj vázány atomy vodíku – například C₂H₂, C₂H atd. Tyto molekuly jsou základním materiálem pro vznik benzynu (psáno skutečně „ypsilon“) C₆H₄ – šestiúhelníkového jádra. Následuje vznik fenylacetyleny a radikálů naftalenu. Vzniká přes 40 různých molekul a ještě za teplot několika set stupňů probíhá řada reakcí, které vedou ke kondenzaci polycyklických aromatických uhlovodíků (značených PAH).

Postupným stmelováním narůstají částice až do velikosti několika setin milimetru. Růst prachových částic je náhodný proces, podobně jako u kouřových částic. Proto mají částice mezihvězdného prachu nepravidelný tvar, připomínající částice kouře. Zatímco částice mezihvězdného prachu vznikají z molekul růstem, prach meziplanetární v pásu planetek vzniká drobením větších těles při srážkách (bylo by proto logičtější říkat „mezihvězdný kouř“). Drobením (například uhlí, suché hlíny) vzniká i prach na Zemi.

Mezihvězdný prach je velmi chladný. Pozorování v infračerveném a submilimetrovém oboru (dalekohledy Spitzer, Herschel a Planck) ukázala, že většina galaxií obsahuje velká množství mezihvězdného prachu; ten září ve střední a daleké infračervené a submilimetrové oblasti spektra.

Spitzerův vesmírný dalekohled – viz snímek 9.27.

Herschel (infračervená observatoř) – viz snímek 11.9.

Planck (mikrovlnná observatoř) – viz snímek 11.9.

9.22 Mlhoviny – zdroje obřích molekul

Mezi hvězdnými částicemi byly nalezeny fullerény. Jsou to obří molekuly složené z pěti a šestičlenných kruhů atomů uhlíku, uspořádaných v prostoru do kulového tvaru. Takové molekuly jsou mimořádně odolné vůči vnějším fyzikálním vlivům. Byly nazvány po americkém architektovi Buckminsteru Fullerovi, který projektoval kopule podobného tvaru. Molekuly fullerenu bývají velice často duté, avšak v jedné z milionu molekul se může vyskytnout atom hélia. Ve většině případů se tam dostane při vzniku molekuly fullerenu. Na snímku je planetární mlhovina PIA 13551 v Malém Magellanovu oblaku, ve které byly fullerény nalezeny. Spitzerův dalekohled je objevil také na několika místech v naší Mléčné dráze.

Fullerény jsou sférické struktury tvořené atomy uhlíku, rozměr těchto obřích molekul je asi 0,7 nm. Nejdůležitější z fullerenů jsou C₆₀, C₅₀ a C₇₀ obsahujících 60, 50 a 70 atomů uhlíku. Fullerény za normálních podmínek sublimují při teplotách nad 500 °C. Ve Vesmíru se mohou vyskytovat i fullerény složené z 540 atomů uhlíku.

9.23 Koňská hlava

Temná prachová mlhovina Koňská hlava v souhvězdí Orionu je vzdálená 1 500 světelných roků. Z infračervených snímků je patrné, že se uvnitř mlhoviny rodí nové hvězdy. Koňská hlava je součástí obřího molekulárního oblaku mezihvězdné hmoty kolem Velké mlhoviny v Orionu M 42, jehož rozsah je několik set světelných roků a v němž probíhá překotný zrod hvězd.

Fotografie je kompozicí ze tří snímků pořízených dalekohledem Kueyen na Evropské jižní observatoři na Mt. Paranal (jeden ze čtyř dalekohledů VLT, jejichž zrcadla mají průměr 8,2 m). Snímky byly pořízeny 1. února 2000 na vlnové délce 429 nm (expozice 600 s, snímek byl do kompozice použit jako modrá), 554 nm (300 s, snímek použit jako zelená) a 655 nm (120 s, snímek použit jako červená). Výsledná kompozice má úhlový rozměr 6,5'×6,7'.

9.24 Globule B 68

Globule jsou temné mlhoviny na pozadí svítících hvězd, které se postupně hroutí vlastní gravitací a vytvoří protohvězdu. Na fotografiích je globule B 68. Obě fotografie jsou kombinací snímků z různých částí spektra. Ve vzdálenější infračervené oblasti napravo je patrné, že infračervený svit vzdálenějších hvězd není oblakem tolik utlumen.

Levý snímek je kombinací dvou vizuálních oborů a blízké infračervené, pravý snímek je v nepravých barvách: světlo (modře), blízká infračervená (zeleně) a střední infračervená (červeně).

Globule jsou temné mlhoviny, které lze vidět na pozadí svítících hvězd. Mají průměr až několik světelných roků. Hustota částic je kolem 10^{-19} cm^{-3} , hustota hmoty $10^{-16} \text{ kg m}^{-3}$. Protože globule představují kondenzující protohvězdy, jejich hustota s časem roste. Jejich hmotnost může být od několika až po stovky slunečních hmotností. Teplota uvnitř globulí je nízká, kolem 10 K. Vlastní gravitací se globule smršťuje, zahřívá a později září v infračerveném oboru – mění se tak v protohvězdu a nakonec ve hvězdu. Submilimetrové a infračervené záření proniká z nitra globule, takže submilimetrové a infračervené dalekohledy mohou studovat jejich chemické složení a pohyby uvnitř (především smršťování). Globule představují mateřskou mlhovinu hvězd.

Globule – viz také snímek 6.23.

Sluneční globule – viz snímek 4.7.

Herbigovy-Harovy objekty – viz snímek 9.18.

9.25 ESO 510 – 13: zkroucená galaxie s prachem

Na snímku vidíte galaxii ESO 510-13 vyfotografovanou Hubbleovým dalekohledem. Galaxie se nachází v souhvězdí Hydry ve vzdálenosti asi 150 milionů světelných roků daleko a měří napříč asi 100 000 světelných roků. Na snímku je dobře patrné extrémní množství mezihvězdného prachu v rovníkové oblasti galaxie. Jeho původ je nejasný, v některých podobných případech se do galaxie prach dostal při srážce s jinou galaxií. Tomu by mohlo nasvědčovat i zjevné zkroucení plochého disku této galaxie. Disky mnoha spirálních galaxií jsou tenké a ploché, ovšem ne tuhé, takže obdobná deformace disku není výjimkou. Dokonce i naše Galaxie má pravděpodobně plochý disk poněkud zkroucený.

Fotografie byla, tak jak je to obvyklé, složena ze tří černobílých snímků pořízených ve třech různých částech spektra, které byly počítačem obarveny na červenou, zelenou a modrou a poté složeny do výsledné barevné kompozice.

9.26 Mezihvězdná magnetická pole

V mezihvězdném prostoru jsou mnohé částice elektricky nabitě. Jsou poutány k magnetickým siločarám tzv. Lorentzovou silou, která je kolmá k pohybu iontů a elektronů, takže kolem siločar obíhají a sdílí s nimi společný osud. Plazma sleduje magnetické pole a to naopak sleduje pohyby plazmatu. Hovoříme o magnetickém poli zamrzlém do plazmatu. V pravé části snímku vidíme rekonstrukci magnetického pole ve Vírové galaxii M 51. Ve spirálních ramenech galaxií jsou siločáry nataženy podél ramen. Vznikající protohvězdy si strhávají magnetické siločáry, které se v nich účastní různých pohybů a stanou se základem magnetického pole vznikajících hvězd.

Magnetické pole hvězd poté sleduje další vývoj hvězdy. Pokud hvězda zvětšuje rozměry, pole slabne. Naopak, malé kompaktní hvězdy mívají extrémně silné pole. Například „obyčejné“ neutronové hvězdy mají pole až 10^9 T. Nejextrémnější magnetické pole mají magnetary, neutronové hvězdy, u nichž bylo pole zesíleno jevem tekutinového dynama ještě tisíckrát, na hodnotu až 10^{12} T. Pohybují-li se elektrony kolem siločar velmi rychle (rychleji než 100 tisíc kilometrů za sekundu), vysílají tzv. synchrotronové záření. Je spojitě a polarizované a lze z něho snadno zrekonstruovat magnetické pole, které bylo za jeho vznik zodpovědné.

Synchrotronové záření – viz snímek 8.22.

Plazma – viz snímek 10.22.

Vírová galaxie – viz snímek 8.19.

9.27 M 101: Mezihvězdný prach a zrod hvězd

Spirální galaxie M 101 se nachází v souhvězdí Velké medvědice ve vzdálenosti 22 milionů světelných roků. Je podobná naší Galaxii – Mléčné dráze, ale je větší. Na hlavním obrázku jsou složené snímky galaxie M 101 ze tří velkých družicových observatoří. Zdrojem rentgenového záření na namodro obarveném snímku z Chandry je žhavé plazma o teplotě milionů kelvinů. Pochází z explozí supernov nebo jde o žhavý materiál padající ve dvojhvězdách na neutronovou hvězdu nebo bílého trpaslíka. V rentgenovém oboru také září akreční disky černých děr. Ve světelném oboru jsou patrné hvězdy a svítící mlhoviny v prostoru mezi hvězdami. Na infračerveném snímku, který byl obarven na červeně, je chladný mezihvězdný prach, soustředěný především do ramen galaxie.

Chandra je družicová observatoř NASA zkoumající Vesmír v rentgenovém oboru. Byla vypuštěna v roce 1999. Na palubě observatoře je rentgenový dalekohled o průměru 1,2 m a ohniskové vzdálenosti 10,05 m, tvořený čtyřmi soubory souosých paraboloidně-hyperboloidních zrcadel o délce 0,85 m, se zorným polem o průměru 1,0° a s rozlišením 0,5".

Spitzerův vesmírný dalekohled (SST, *Spitzer Space Telescope*) je kosmická observatoř NASA pracující v infračerveném oboru, která byla vynesena na oběžnou dráhu v srpnu 2003 nosnou raketou Delta 7920H ELV. Zrcadlo má průměr 85 cm a je chlazené kapalným héliem na teplotu 5,5 K. Pozorovací spektrální rozsah je 3 až 180 μm . Původní předpokládaná životnost byla tři až pět let, ale činnost dalekohledu již byla několikrát prodloužena. Program observatoře má na starosti *California Institute of Technology*.

9.28 ④ Mezigalaktický prostor

Mezigalaktickým prostorem nazýváme prostor mezi galaxiemi. Je vyplněn elektromagnetickým zářením, zejména reliktním zářením z období konce Velkého třesku, magnetickými poli, neutrinami, mezigalaktickými mosty z vodíku a dalších prvků, temnou hmotou a temnou energií. Prostor mezi galaxiemi tedy rozhodně není prázdný.

9.29 Reliktní záření

Prvních 400 000 roků byl Vesmír natolik horký, že se nacházel v plazmatickém stavu. Volné elektrony způsobovaly neprůhlednost prostoru a chovaly se jako „kosmická mlha“. Poté Vesmír ochladnul natolik, že se elektrony staly součástí atomárních obalů a ve Ves-

míru začaly převládat kompletní atomy. Vesmír se stal průhledným a záření se oddělilo od látky. Toto záření nazýváme reliktní záření. V době jeho vzniku šlo o světelné záření, dnes má vlnovou délku kolem jednoho milimetru, na kterou se roztáhla původní délka spolu s expanzí Vesmíru. Teplota záření je 2,73 K, podle měření ze sond COBE, WMAP a Planck není tato teplota ve všech směrech stejná. Skvrnky na mapě reliktního záření, které vidíte, jsou otiskem dávných struktur do reliktního záření. Z těchto struktur se později vyvinuly první galaxie a první hvězdy. Díváme se na obraz reliktního záření, které opustilo látku na samém konci Velkého třesku, v době formování elektronových obalů.

Reliktní mikrovlnné záření oblohy je 13,8 miliardy roků staré. Dále do minulosti Vesmíru nemůžeme nikdy za pomoci elektromagnetického záření dohlédnout. Před vysláním tohoto záření (ve formě světla) byl Vesmír žhavý a zaplněný volnými elektrony. Ty působily neprůhlednost prostoru jako „kosmická mlha“. Jde o záření z počátečního (tzv. zářivého) období Vesmíru z prvních 400 000 roků. Jasná místa jsou vytvořena teplejšími a hustšími shluky vodíku a hélia, ze kterých později vznikly galaxie a hvězdy v nich. Původně bylo reliktní záření světlo, ale od té doby se Vesmír zvětšil desettisíckrát a s ním i vlnová délka. Tak se ze světla stalo mikrovlnné záření, v němž je snímek pořízen. Dále do Vesmíru nemůžeme nikdy dohlédnout. Nedovolují to volné elektrony ionizovaného vodíku a hélia.

Hlavním činitelem rozhodujícím o dalších osudech Vesmíru se tehdy stala hmota – neboť reliktní fotony zchudly natolik, že obsahovaly méně energie než hmotné částice. Základní charakteristikou hmotného období je převaha hmoty nad zářením. Vyjádřeno přesněji: ve hmotném období průměrná hustota energie hmoty převažuje nad průměrnou hustotou energie záření. Hmotné období začíná temným obdobím – ve Vesmíru jakoby zhaslo světlo. Změnilo se na infračervené záření.

Vymizením původního světla (a jeho „zteplání do infračerveného – tepelného záření“) nastalo v dějinách Vesmíru temné období Vesmíru, které trvalo 400 milionů roků. Během temného období gravitace shlukovala atomy vodíku s héliem do galaxií a jejich hvězd. Ty se rozsvítily vlastním světlem – z přeměny vodíku na hélium – tedy tím zdrojem energie, který probíhá v dnešním Slunci a většině hvězd. Ve Vesmíru bylo opět světlo (avšak tentokrát z termojaderných reakcí v nitru hvězd) a ionizované látky v jejich okolí. Temné období tak skončilo.

9.30 Kosmické záření

Kosmickým zářením nazýváme vysokoenergetické částice dopadající na Zemi z kosmického a mnohdy mezigalaktického prostoru. Na vísle ose je počet částic, na vodorovné ose jejich energie. Z grafu je patrné, že částic s vyšší energií přilétá k Zemi podstatně méně než

částic s nižší energií. Zatímco částice s energií 100 GeV dopadne zhruba jednou za sekundu na každý metr čtvereční, částice s energií 10 miliard GeV dopadne jediná na kilometr čtvereční za rok. Některé z těchto částic mají původ v aktivních jádrech galaxií, původ jiných je neznámý. Ke sledování kosmického záření je třeba stavět detektory pokrývající velkou plochu. Jedině tak je možné zachytit větší množství částic ze sekundární spršky, která vznikla dopadem primární částice do atmosféry.

Na svislé ose grafu je počet částic s energiemi v intervalu 1 GeV, které proletí za 1s plochou o velikosti 1 m². Na vodorovné ose je energie částic. Obě stupnice na grafu jsou logaritmické. Na pozadí jsou dvě sekundární spršky, které vznikly z primární částice kosmického záření interagující s horními vrstvami atmosféry. Mimořádně urychlené částice kosmického záření (především protony) k nám přicházejí z dalekých hlubin Vesmíru. Na své cestě je jejich dráha ovlivněna magnetickými poli, a proto je nesmírně obtížné určit směr, ze kterého primární částice přiletěla. Největším detektorem pro výzkum kosmického záření je detektor Pierre Auger v argentinské pampě, který je na rozloze 3 000 km² a na detekci se podílí 24 fluorescenčních detektorů a 1 600 Čerenkovových detekčních stanic. Tohoto projektu se velmi aktivně účastní Česká republika.

Kosmické záření – viz také snímek 9.11.

9.31 Oblaka vodíku kolem Mléčné dráhy

V mezigalaktickém prostoru uvnitř Místní skupiny galaxií je mnoho oblak mezigalaktického vodíku. Některá z nich dopadají na naši Galaxii velkou rychlostí. Tato oblaka jsou tvořena především vodíkem s příměsí hélia. Radiální rychlosti oblak jsou vyšší než 200 km s⁻¹. Rychlé vpády mezigalaktických oblak obohacují Mléčnou dráhu o stavební materiál pro další hvězdy. Při průchodu galaktickou korónou se oblaka rozzáří podobně jako meteor při průchodu atmosférou.

HVC (*High Velocity Clouds*, oblaka s vysokou rychlostí) – viz také snímek 8.11.

9.32 Oblaka ve světle kvazarů

Kvazar vysílá spojité spektrum. Na cestě k nám dlouhé miliardy světelných roků se každý oblak do spektra kvazaru zapíše spektrální čarou. Určitá čára – například L alfa – bude v pozemském spektru zapsána s tím větší vlnovou délkou, čím je oblak vzdálenější. To je důsledek rozpínání Vesmíru. Hustota atomů v mezigalaktickém prostoru je velmi malá. Hrubý odhad je jeden atom v jednom metru kubickém. V mezigalaktických oblacích je ale větší.

Mezizgalaktická oblaka jsou shluky mezizgalaktické hmoty, které se projevují ve spektru vzdálených kvazarů jako Lymanův les. Jsou to vodíková oblaka s příměsí hélia – vesměs primitivní kosmický materiál, který zůstal mimo galaxie a nebyl ještě pozměněn nukleosyntézou ve hvězdách. Tato oblaka prvotního vodíku jsou rozložena na zorném paprsku ke kvazaru a vytvářejí v jeho spektru absorpční čáru L_α . Posuv této čáry, vytvořené neutrálním vodíkem v jednotlivém oblaku, je závislý na jeho vzdálenosti. Je to důsledek rozpínání Vesmíru. Tak například čára L_α z nejbližších kvazarů se rozpínáním Vesmíru protáhla z původních 121,6 nm, které měla, když opustila kvazar, přibližně 4 až 5×, než se dostala do našich spektrografů. Neviditelná čára se tak díky rozpínání Vesmíru za dlouhé období stala viditelnou. Velký počet mezizgalaktických oblaků se v pozorovaném spektru kvazaru projevuje jako *Lymanův les*.

9.33 Obří dutina v Eridanu

Obrovská dutina, které se anglicky říká Giant Void, se nám promítá do souhvězdí Eridanus. Má asi miliardu světelných roků v průměru a vzdálenostně sahá od 6 do 10 miliard světelných roků. Na obloze má rozsah 10 disků Měsíce. Průmět dutiny na oblohu je označen šedou barvou a představu o velikosti získáme srovnáním s velikostí úplňku – červenou tečkou v levé části mapy.

Souhvězdí Eridanus je dlouhé souhvězdí, které se vine klikatě jako řeka od hvězdy Rigel v Orionu na jih. U nás je nad obzorem viditelná pouze jeho severní část, a to nejlépe v prosinci večer. Egypťané viděli v tomto souhvězdí obraz posvátného Nilu. Pro antické Evropany Eridanus byla patrně řeka Pád v severní Itálii. Zmiňuje se o ní báje o Faethónovi, který si kdysi vypůjčil od svého otce, boha Slunce Héliu, jeho sluneční vůz. Při jízdě po obloze se však koně polekali obrovského štíra a zděšený Faethón pustil otěže z ruky. Neřízené spřežení pobíhalo zmateně po obloze a žár, který z ohnivého vozu sálal, spálil Zemi a vše živé s ní. Zeus chtěl Zemi zachránit a srazil Faethóna bleskem ze slunečního vozu dolů. Nešťastný Faethón letěl Vesmírem jako padající hvězda a utonul ve vodách Eridanu. Jeho sestry Heliady naříkaly nad jeho krutým osudem. Byly proto proměněny v truchlící topoly po obou stranách řeky. Jiná verze vypráví, že po Eridanu plula kdysi bájná loď Argo na své pouti za zlatým rounem.

9.34 Temná hmota

Temná neboli skrytá hmota tvoří ve Vesmíru obrovskou neviditelnou síť. Její gravitace je zodpovědná za prostorové rozmístění galaxií a kup galaxií, které jsou z normální tj. atomární svítící hmoty. Shlukují se především u velkých uzlů temné hmoty. Vláknata temné

hmoty jsou na pozadí zobrazena fialově, atomární látka je světlejší. Temné hmoty je 27 % celku, atomární látky jen 5 % celku. Jde o částice, které interagují s běžnou látkou jen slabě. Z gravitačního působení můžeme rekonstruovat mapu rozložení temné hmoty, tak jak vidíme na obrázku v popředí.

Mapa temné hmoty je výsledkem dvouročního pozorování Hubbleova dalekohledu, čistý pozorovací čas odpovídá 640 oběhům dalekohledu kolem Země. Pozorování se zúčastnilo navíc přes sto vědců z více než 10 největších observatoří světa. Na obrázku je rozložení temné hmoty na dvou čtverečných stupních v rovníkové oblasti souhvězdí Sextant. Pro srovnání: čtverec opsaný kolem Měsíce či Slunce zabírá přibližně čtvrt čtverečného stupně. Pozorování spočívalo v určení gravitačního působení („gravitační čočkování“) temné hmoty na dva miliony galaxií do vzdálenosti 7,5 miliard světelných roků. Z deformace jejich obrazu bylo dopočteno rozložení temné hmoty.

Temná hmota ovlivňuje pohyb hvězd v galaxiích i galaxií v kupách galaxií. Toto ovlivnění je pozorováno od 30. let 20. století, kdy na něj upozornil švýcarsko-americký astronom Fritz Zwicky. Částice temné hmoty se usilovně hledají v několika desítkách experimentů na celé Zeměkouli.

9.35 Rozpínání Vesmíru

Aristoteles i Einstein se domnívali, že Vesmír nemá začátek, že je tu nekonečně dlouho. Hubbleův objev rozpínání Vesmíru z roku 1929 zcela změnil pohled na Vesmír. Vesmír se rozpíná současně ze všech svých míst. Každé místo Vesmíru lze považovat za střed expanze. Vzdálenější objekty se od místa pozorovatele vzdalují tím rychleji, čím jsou dále. Úměrnosti mezi vzdáleností a rychlostí expanze říkáme Hubbleův zákon a konstantu úměrnosti nazýváme Hubbleovou konstantou. Expandující Vesmír má minulost i budoucnost. V daleké minulosti musel být hustý a horký a mít nějaký počátek. V roce 1998 byla objevena zrychlená expanze Vesmíru. Za zrychlenou expanzi nemůže být odpovědná přitažlivá gravitační síla. Hovoříme o temné energii nebo o antigravitaci dosud neznámé podstaty.

Dnes je rychlost expanze Vesmíru přesně změřena a hodnota Hubbleovy konstanty se udává 67 km s^{-1} na megaparsek. To znamená, že dvě galaxie vzdálené 1 megaparsek se od sebe vzdalují rychlostí 67 km s^{-1} . Hubbleova konstanta byla určena nezávisle několika způsoby, například z měření vzdáleností za pomoci supernov typu Ia nebo z rozboru fluktuací reliktního záření. Dříve se udávala až desetkrát vyšší hodnota Hubbleovy konstanty. Bylo to způsobeno neznalostí vzdálenosti vzdálených galaxií. Stáří Vesmíru se dnes odhaduje na 13,8 miliardy roků. Stáří myslitelé chápali pojem stáří vesmíru jinak, a proto nutně dospěli k jiným výsledkům:

James Ussher vycházel z Bible: svět byl stvořen 23. října 4004 př. n. l.

Hinduizmus: svět je starší než 300 000 miliard roků

Aristoteles: svět je nekonečně starý

9.36 Temná energie

Od objevu rozpínání Vesmíru v roce 1929 byli astronomové přesvědčeni, že se rozpínání Vesmíru zpomaluje jako důsledek vzájemného gravitačního přitahování galaxií. Různá pozorování nejvzdálenějších galaxií v posledních letech 20. století však tento názor vyvrátila. Rozpínání Vesmíru se urychluje, a to zcela neznámým mechanismem. Za expanzi činíme odpovědnou tzv. temnou neboli skrytou energii. Celý vesmírný prostor včetně vakua je zaplněn touto energií. Síla z ní odvozená se někdy nazývá antigravitace, neboť urychluje rozpínání a tak působí opačně než gravitace – která rozpínání brzdí. Temná energie by mohla být způsobena kvantovými projevy samotného vakua. Také by mohlo jít o novou, pátou interakci, tzv. kvintescenci. A nebo je vše jinak. V každém případě čeká rozluštění záhady zrychlené expanze Vesmíru na budoucí generace fyziků.

Velké dalekohledy – pozemské i družicové – dohlédnou do velkých vzdáleností tj. na události před mnoha miliardami roků. Měření maximální jasnosti supernov typu Ia dovoluje určit jejich vzdálenost, a tím i vzdálenost mateřské galaxie. Tento typ supernov má vždy stejný maximální zářivý výkon. Rychlost vzdalování galaxie, v níž se supernova vyskytne, lze změřit z Dopplerova posuvu spektrálních čar. Tyto dva údaje udávají rychlost rozpínání vesmíru v době určené vzdáleností galaxie a její supernovy.

Překvapivě se ukázalo, že zhruba v polovině historie Vesmíru se začalo rozpínání Vesmíru urychlovat. Můžeme obrazně říci, že urychlování rozpínání začalo „v kosmickém středověku“. Z urychlování rozpínání lze odvodit sílu (antigravitaci) a potřebnou energii – temnou (neboli skrytou) energii, jejíž podstata je dosud neznámá. Víme, že vyplňuje homogenně celý prostor a nevytváří žádné pozorovatelné struktury. Její současné zastoupení je 68 % hmoty a energie ve Vesmíru a do budoucnosti bude toto číslo růst, neboť s expanzí hustota látky a záření, na rozdíl od temné energie, klesá.

Jednou z možností je, že temná energie je způsobena kvantovými projevy vakua. Kvantová teorie nepřipouští, aby vakuum bylo zcela prázdné. Z relací neurčitosti plyne, že v něm musí být určité základní množství fluktuací polí a virtuálních párů částic a antičástic, které vznikají zdánlivě z ničeho a po krátké době zase zanikají. Jsou ale i možnosti jiné, existence páté síly neboli kvintescence, nebo odlišné působení gravitace na extrémních vzdálenostech, než jsme dosud poznali atd.

9.37 Budoucnost Vesmíru

Dokud jsme nevěděli o existenci temné energie, zdálo se, že budoucnost Vesmíru bude záviset jen na jeho průměrné hustotě. Jenže temná energie je zdaleka nejdůležitější složkou Vesmíru, a tak má na jeho budoucnost rozhodující vliv. Dokud nepoznáme její podstatu, můžeme se jen dohadovat, zda se Vesmír bude rozpínat neustále, až dojde k jeho velkému rozcupování, nebo zda bude expanze pokračovat umírněnější cestou až k ledově chladnému a řídkému Vesmíru, nebo zda se Vesmír v budoucnosti začne smršťovat a skončí svou existenci v malé časoprostorové oblasti a historie se bude opakovat novým velkým třeskem. Rozluštění záhady temné energie se tak jednou stane i odpovědí na otázku budoucnosti našeho Vesmíru.

Jaký osud čeká Vesmír? Zanikne v nekonečném žáru, nebo jej naopak pohltí mrazivá temnota? Tyto otázky nepřestávají vzrušovat nejen vědce, ale každého přemýšlivého člověka. Konečný osud Vesmíru závisí na tom, zda přemůže antigravitace gravitaci a rozcupuje celý Vesmír. Znalosti antigravitace jsou však zatím nedostatečné a velké rozcupování je jen domněnkou. V případě, že gravitace hmoty a temné hmoty přemůže antigravitaci, dojde naopak k velkému kolapsu. Strašný žár někteří astronomové pokládají za velký třesk budoucího vesmíru. Vesmír by mohl být oscilující. Rozhodující roli by v něm hrála i antihmota – o jejímž množství ve Vesmíru současná astronomie ví jen málo.

Zdroje k deváté prezentaci

- 9.1 <http://quantumwavetheory.files.wordpress.com/2012/02/dark-energy1.jpg>
- 9.2 http://nbhandyman.com/faq_home_maintenance_repair_remodel_waukesha_milwaukee_wi.htm
- 9.3 <http://www.insidegnss.com/auto/popupimage/galileo%20constellation.jpg>
<http://juliasoler.com/li.com/imagenes/fonspri.jpg>
http://www.geobusiness.cz/wp-content/uploads/2011/02/110225_Galileo_IOV-04B-HR_CMYK.png
<http://star-www.st-and.ac.uk/~fv/webnotes/x-world.GIF>
- 9.4 <http://javem.files.wordpress.com/2011/04/cygnus2.jpg>
archiv autora
- 9.5 archiv autora
- 9.6 <http://sci.esa.int/science-e-media/img/ec/30734.jpg>
<http://hvezdy.astro.cz/obr/hvezdy/charakteristika/paralaxa.jpg>
kresba AGA podle archivu autora

- 9.7 kresba AGA podle archivu autora
- 9.8 http://hubble.esa.int/science-e-media/img/94/hires_34452.jpg
<http://vis.lbl.gov/Museum/oldFacilities/gallery/saul/014.jpg>
<http://www.spacetelescope.org/static/archives/images/large/opo0652a.jpg>
- 9.9 http://www.eso.org/public/archives/images/large/yb_vlt_zodiacallight_cc.jpg
- 9.10 <http://img.docstoccdn.com/thumb/orig/1040846.png>
<http://willgater.files.wordpress.com/2010/12/geminid-radiant-large1.png>
- 9.11 http://www.lip.pt/outreach/oldweb/posters/9905005_pt.jpg
- 9.12 http://esamultimedia.esa.int/images/spcs/soho/soho_9_high.jpg
- 9.13 http://educacaoespacial.files.wordpress.com/2010/10/cme_eit_c2_2002.jpg
- 9.14 http://planetologie.destination-orbite.net/images/magnetosphere_venus.jpg
http://earth-chronicles.ru/Publications/26/test_6.20120222171651.jpg
- 9.15 archiv autora
http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/8/8e/NewHeliopause_558121.jpg/1280px-NewHeliopause_558121.jpg
<http://solarsystem.nasa.gov/multimedia/gallery/Heliosphere1.jpg>
- 9.16 archiv autora
<http://wind.nasa.gov/mfi/hcs/HCS.gif>
- 9.17 http://apod.nasa.gov/apod/image/0705/deathvalleysky_nps_big.jpg
- 9.18 <http://www.spacetelescope.org/static/archives/images/wallpaper3/opo9524g.jpg>
http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/2a/HH_object_diagram_fr.svg
- 9.19 http://apod.nasa.gov/apod/image/0303/wr124_hst_big.jpg
<http://www.spacetelescope.org/static/archives/images/screen/opo9838e.jpg>
<http://www.eso.org/public/archives/images/large/eso0310a.jpg>
http://www.nasa.gov/images/content/550411main_42_interactive_full.jpg
- 9.20 <http://www.martinpughastrophotography.id.au/images/Veil-Nebula-75pct.jpg>
- 9.21 archiv autora
<http://www.astrosurf.com/sguisard/Pagim/Milky-Way-GC-STL-28mm.html>
- 9.22 <http://photojournal.jpl.nasa.gov/jpeg/PIA13551.jpg>

- 9.23 <http://www.eso.org/public/images/eso0202a/>
- 9.24 http://www.ulb.ac.be/sciences/astro/cd/stellaire/Barnard68_ESO_02c01-hires.jpg
- 9.25 http://apod.nasa.gov/apod/image/0306/eso510_hst_full.jpg
- 9.26 archiv autora
http://www.astro.ru.nl/wiki/_media/research/fletcherbeck_m51.jpg
- 9.27 <http://www.spacetelescope.org/static/archives/images/large/opo0907a.jpg>
- 9.28 <http://imgsrc.hubblesite.org/hu/db/images/hs-2004-07-b-print.jpg>
- 9.29 http://spaceinimages.esa.int/Images/2013/03/Planck_CMB
- 9.30 http://www.wikinfo.org/upload/5/52/Cosmic_ray_flux_versus_particle_energy.png
<http://astroparticle.uchicago.edu/siteold/showers.jpg>
- 9.31 http://apod.nasa.gov/apod/image/9912/cloudstream_hst_big.jpg
- 9.32 <http://www.eso.org/public/archives/images/wallpaper5/eso0813a.jpg>
- 9.33 <http://aa.usno.navy.mil/library/rare/bayer8.jpg>
- 9.34 http://mppg.shao.ac.cn/leech/fig/l500_gal.jpg
<http://imgsrc.hubblesite.org/hu/db/images/hs-2007-01-a-print.jpg>
- 9.35 http://www2.astro.psu.edu/users/cpalma/astro1h/Images/FG17_04.JPG
<http://crab0.astr.nthu.edu.tw/~hchang/ga2/f2607-hubblelaw3.JPG>
<http://www.astroblogs.nl/wp-content/uploads/2007/04/2007-0412bigbang.png>
<http://www.spacetelescope.org/static/archives/images/large/opo0652c.jpg>
- 9.36 http://map.gsfc.nasa.gov/media/060915/060915_CMB_Timeline300nt.jpg
- 9.37 <http://chandra.harvard.edu/resources/illustrations/darkmatter.html>



10. Pohledy na Vesmír

Vesmír je souhrn všech objektů od kvarků až po nadkupy galaxií (supergalaxie). Kosmos znamená uspořádaný Vesmír. Slovo „*kosmos*“ pochází z řečtiny a znamená řád, uspořádání, pořádek, slušnost, uspořádaný svět, ozdoba (odtud „kosmetika“). Pojem uspořádaného kosmu ovládaného matematickými vztahy propracovala Pythagorejská škola. Uspořádanost Vesmíru do systémů (od kvarků, elektronů až po nadkupy galaxií) byla odhalena až v nedávné době. Řád ve stavbě a dění v kosmu vyjadřují vědci pomocí zákonů, pomocí matematických rovnic.

„Jak vznikl Vesmír?“ Na tuto otázku nám dávají odpověď fyzici a astronomové. Jejich názor se nazývá „Teorie Velkého třesku“ (*Big Bang*). Společným úsilím se jim podařilo zjistit, jak a kdy vznikla hmota, energie, čas a prostor. Všimněte si – vznikla nejen hmota, ale i čas i prostor. Proto nemá význam ptát se: „Co bylo před vznikem Vesmíru?“, neboť čas „před“ neexistoval, vznikl přece při Velkém třesku. Ani otázky „kde vznikl Vesmír?“ a „do čeho se Vesmír rozpíná?“ nemají význam, neboť při Velkém třesku vznikl Vesmír s hmotou a prostorem.

Věda, která se zabývá vývojem a stavbou celého Vesmíru, se nazývá kosmologie. Vysvětlení vzniku Vesmíru a událostí, které se odehrály v nepatrném zlomku sekundy po vzniku, je čistě spekulativního rázu a nazývá se kvantová kosmologie. Ověřovat naše představy můžeme až od času 10^{-13} s po vzniku Vesmíru. Tehdy v něm bylo kvarkové-gluonové plazma (jeho éra končila v 10^{-5} s), které dnes dokážeme uměle připravit na největších urychlovačích světa. Podle současných představ můžeme počáteční fáze života Vesmíru před nástupem látky rozdělit na 7 základních období:

1. **Planckovo období.** Trvalo tak kratičkou dobu, že až na 43. místě za desetinnou čárkou je jednotka a za ní je napsán rozměr sekunda – končilo v čase 10^{-43} sekundy. Je to období, v němž se události odehrávaly v rozměru menším než tzv. Planckova délka (10^{-35} m). Je to délka stotrilionkrát menší, než je velikost protonu. Při této délce přestávají platit fyzikální zákony a čas může mít zrnitou strukturu. Tak malý prostoročas přestává být hladký a je podroben divokým změnám. Říká se mu Planckova kvantová pěna. Vesmír se zrodil z Planckovy kvantové pěny. Podle teorie Velkého třesku – všechna hmota a energie, čas i prostor dnešního Vesmíru byly před asi třinácti miliardami roky vměstnány do nepatrného mikroskopického prostoru. V tomto pranepatrném „semínku Vesmíru“ (o rozměru Planckovy délky) byla nesmírně velká hustota a nepředstavitelná teplota. Odborníci tomu semínku Vesmíru říkají „singularita“.

2. **Inflace.** Po krátkém počátečním Planckově období by podle standardního kosmologického modelu mohlo dojít k rychlému rozeprnutí zárodečného Vesmíru. Tomuto nesmírně prudkému rozeprnutí prostoru se říká *inflace*. Rychlost rozeprnutí byla mnohem vyšší než rychlost světla (nelekejte se – šlo o rozeprnutí prostoru mezi částicemi – nikoliv o pohyb hmotných částic v prostoru, ty se přece nemohou v prostoru pohybovat ani rychlostí světla, natož pak vyšší). Potřebnou energii k inflaci dodala odpudivá energie kvantové povahy – mohla souviset s oddělováním interakcí nebo s přechodem vakua z jednoho kvantového stavu do druhého. V krátkém čase (od 10^{-35} s až 10^{-30} s) se každá oblast Vesmíru o velikosti stotřilionkrát menší než rozměry protonu zvětšila přibližně na velikost kopacího míče. Další rozpínání Vesmíru po inflaci pokračovalo setrvačností (až dodnes) a gravitační přitažlivost mezi galaxiemi ho už jen poněkud brzdila. Inflace dosud není s jistotou potvrzena pozorováním. Pokud inflace existovala, z uvolněné energie překotně vznikaly elementární částice. V té době mezi nimi působila jakási prasíla (někdy se jí říká supergravitace), ze které se postupně oddělovaly jednotlivé interakce. Možná, že se při oddělení některé z prvních interakcí uvolnila energie, která byla původcem inflace. Naše představy tohoto období jsou značně nejisté.
3. **Kvarkové období.** Po inflaci byl rozpínající se Vesmír nesmírně hustý a nepředstavitelně žhavý. Mezi bleskurychle se pohybujícími částicemi a jejich antičásticemi (kvarky, antikvarky a elektrony i pozitrony, jakož i neutriny a antineutriny) se zběsile proháněly gama fotony. Těch bylo mnohem více než hmotných částic. Kvarky s antikvarky se při setkání měnily v gama fotony (tzv. anihilace) a naopak gama fotony se měnily v dvojici kvark-antikvark (tzv. materializace). Podobně anihilovaly elektrony s pozitrony a měnily se v gama fotony. Takový žhavý rozpínající se kvarkový Vesmír trval až do první stotisíciny sekundy po vzniku. Nebyly v něm ještě ani protony, ani neutrony. Nemohly vzniknout pro nesmírně vysokou teplotu. Toto krátké období astronomové nazývají kvarkové období. Žhavý materiál v oné době nazývají kvarkové (nebo kvarkové-gluonové) plazma nebo „kvarková polévka“. Uměle bylo kvarkové plazma připraveno poprvé v Evropském středisku jaderného výzkumu CERN u Ženevy v roce 2000. Poznávání dějů v kvarkovém období Vesmíru se tak stalo předmětem fyziky vysokých energií a fyzici už mohou ověřovat vlastnosti kvarkového plazmatu pomocí pokusů. Tato část kosmologie se proto nazývá *částicová kosmologie*. Zatímco v kvantové kosmologii dominují čistě teoretické úvahy, které nelze pokusem či pozorováním ověřit, částicová kosmologie se může opírat o pozorované skutečnosti.
4. **Vznik protonů a neutronů** (po stotisícině sekundy). Expanze Vesmíru s sebou nesla ochlazování a pokles hustoty. Asi stotisícinu sekundy po vzniku Vesmíru

poklesla rozpínáním teplota na bilion stupňů. Kvarky „u“ a „d“ se spojovaly do trojic a vytvořily protony a neutrony. Spojila je mohutná silná interakce (za ni jsou odpovědné gluony). Tehdy – při tak vysoké teplotě – bylo stejně protonů jako neutronů. Objevilo se ještě mnoho jiných druhů částic (hyperonů a mezonů), avšak jejich život byl jepičí – neboť se záhy rozpadaly na stabilnější protony, neutrony a elektrony. Dnešní protony (například jádra vodíku ve vodě) pocházejí z doby, kdy byl Vesmír starý stotisícinu sekundy.

5. **Vznik jader lehkých prvků** (od desítek sekund do několika minut). Když teplota Vesmíru rozpínáním poklesla na desítky miliard stupňů, protony se spojovaly s neutrony. Neutrony se s protony neodpuzejí, neboť neutron nemá elektrický náboj. Naopak, jakmile se přiblíží na vzdálenost biliontiny milimetru, přitahují se mohutnou jadernou silou. Spojováním neutronů a protonů vznikala jádra těžkého vodíku (deuterony) a jádra hélia (alfa částice). Tomuto období trvajícímu přibližně prvé tři minuty se říká období *prvotní nukleosyntézy*. Po třech minutách zůstal žhavý plyn složený z protonů, deuteronů, alfa částic a elektronů. Na jedno jádro hélia připadalo 12 volných protonů a na šedesát tisíc volných protonů připadal jeden deuteron. Dodnes je tomu přibližně tak. To znamená, že hmotnostně je Vesmír zhruba z 25 % hélia a 75 % vodíku. Vodík a hélium jsou tedy nejstarší ze všech chemických prvků, o kterých se učíme v chemii. Připomeňme si, že volné neutrony se pozvolna rozpadají (za čtvrt hodiny se rozpadne polovina neutronů). Neutrony, které se v prvních třech minutách nestačily sloučit s protony do atomových jader těžkého vodíku (zvaných deuterony) a hélia, se rozpadly. V jádru jsou neutrony stále a nerozpadají se. Těžký vodík (například v těžké vodě) pochází z oněch dob, kdy byl Vesmír starý asi tři minuty.
6. **Vznik prvních atomů** (kosmologická rekombinace, stáří 400 000 let). Přibližně 400 000 roků po svém vzniku vychladl Vesmír pod deset tisíc stupňů. Kdybychom byli svědky té doby, ze všech směrů by k nám dopadalo intenzivní světlo. Ve všech směrech bychom viděli takovou záři, jako kdybychom rozprostřeli dnešní Slunce po celé obloze. Při této teplotě už docházelo ke spojení elektronů s protony, s deuterony a s alfa částicemi. Takovému spojení se říká *rekombinace*. Proběhla současně v celém Vesmíru, a proto se nazývá kosmologická rekombinace. Elektrická přitažlivost spojila kladná atomová jádra (protony, deuterony a alfa částice) s volnými elektrony. Tak vznikly první atomy v dějinách Vesmíru. Kosmologická rekombinace je velmi důležitou a převratnou událostí v dějinách Vesmíru. Končí nadvláda záření (fotonů) a o dalších osudech Vesmíru začíná rozhodovat hmota (elementární částice s nenulovou klidovou hmotností). Po éře záření nastupuje éra látky. Při přechodu od zářivého období k hmotnému se ztratily volné elektrony, neboť našly své místo v obálkách atomů. Volné elektrony

při kosmologické rekombinaci zmizely a s nimi se rozptýlila i „kosmická mlha“. Jinak řečeno, Vesmír se stal pro záření průzračným. A záření z oné doby se volně pohybuje celým Vesmírem až dodnes. Jenomže se prostor rozpínáním od té doby zvětšil bilionkrát a tolikrát také poklesla hustota fotonů. V oné době jich bylo asi 450 bilionů v 1 cm^3 , dnes jich je pouze 450 v 1 cm^3 . S rozpínáním Vesmíru se navíc zvětšily vlnové délky fotonů z oné doby. Celkem asi desettisíckrát. A tak se původní světlo z konce zářivého období za třináct miliard roků přeměnilo v milimetrové až decimetrové záření, které dnes pozorujeme a říkáme mu *reliktní záření*. To znamená „pozůstatkové“ záření. Jeho fotony jsou zchudlým dědictvím po zářivém období Vesmíru.

7. **Éra temné energie** (od poloviny existence vesmíru dodnes). Po zářivém období následuje éra látky, v ní zmizí hvězdy a galaxie a Vesmír má vlastnosti, které dnes důvěrně známe. Někdy přibližně v polovině existence Vesmíru nad látkou převládla temná energie a Vesmír se začal rozpínat zrychleně. Toto *období temné energie* panuje ve Vesmíru dodnes.

Vývoj Vesmíru pokračoval ke stále složitějším strukturám. V mlhovinách se objevily komplikované organické sloučeniny a nejméně v jednom místě ve Vesmíru byly vhodné podmínky pro vývoj inteligentního života, jehož příslušníci se nyní snaží Vesmír, jejich domov, pochopit.

*Inteligentní bytosti by neměly být překvapeny, jestliže pozorují,
že jejich lokalita ve Vesmíru uspokojuje podmínky nutné pro jejich existenci.
Je to podobný případ jako boháč, který bydlí v přepychové čtvrti, a diví se,
že nikde nevidí žádnou chudobu.*

(Stephen Hawking)

10.1 Úvod

*Vesmír znamená vše. Částice, ze kterých je vybudován, pojivo v podobě interakcí, které základní kameny skládají do složitých systémů, i člověka, který se snaží Vesmíru, jehož je součástí, porozumět. Některé objekty jsou obrovské a velmi vzdálené. Například planety, Slunce, galaxie. Říkáme jim **makrokosmos**. K Vesmíru patří i všechny věci, které vidíme kolem nás: kapka vody, kámen na cestě, kniha, naše město a okolní krajina. Říkáme jim **mesokosmos**. Je však také mnoho objektů tak malých, že je naše oko neuvidí: bakterie, buňky, viry, atomy, protony, neutrony, elektrony. Jsou mnohem menší než člověk, a proto jim říkáme **mikrokosmos**.*

Člověk je složen ze stejných kvarků a elektronů jako každý jiný živočich nebo rostlina či kámen nebo hvězda. Jsme vytvořeni ze stejného „vesmírného těsta“ jako skály, moře, květiny, Měsíc, planety, komety, Slunce, hvězdy a nejvzdálenější kvazary. Člověk je zkrátka částí Vesmíru. Objevil se na Zemi poměrně nedávno – asi před čtyřmi miliony roky. Je pouze článkem ve vývoji Vesmíru. Ve srovnání s nekonečným Vesmírem je zcela nicotný. Je však obrovský svým duchem, neboť poznává nekonečný Vesmír a rozumí mu.

10.2 ① Materiál

Věnujme se nyní elementárním částicím, ze kterých je vybudován Vesmír. Můžeme si je představit jako cihly, ze kterých je postaven dům. Vesmírnou maltou, která spojuje základní stavební kameny dohromady, jsou polní částice čtyř interakcí – elektromagnetické, silné, slabé a gravitační.

10.3 Materiál a pojivo

To člověk sám si rozdělil Vesmír na obří makrokosmos, střední mesokosmos a droboučký mikrokosmos. Ve skutečnosti však je jen jediný Vesmír. A všechny věci v něm jsou složeny z velice malých elementárních částic. Pro nás jsou nejdůležitější protony s neutrony složené z kvarků a elektrony, ze kterých jsou atomární obaly. Tyto částice jsou spolu propojeny čtyřmi interakcemi. Slabá a silná interakce mají velmi krátký dosah, elektromagnetická a gravitační interakce mají nekonečný dosah. Celým Vesmírem pak prolétají ještě fotony s nulovou klidovou hmotností. Představují balíčky energie, které jsou polními částicemi elektromagnetické interakce.

Částice s nenulovou klidovou hmotností mají klidovou energii $E = m_0c^2$. Pokud se pohybují, mají pohybovou hmotnost m a energii $E = mc^2$. Částice s nulovou klidovou hmotností, jako jsou fotony, mají energii $E = pc$, kde p je hybnost částice. Fotony jsou jakési balíčky nebo kapky energie, vyskytují se v nedělitelných kvantech, jejichž velikost je daná frekvencí: $E = hf$, kde h je Planckova konstanta.

10.4 Antihmota

Známy Vesmír je složený z hmoty – z protonů, neutronů a elektronů. Dříve lidé předpokládali, že ve Vesmíru jsou i rozsáhlé oblasti z antihmoty, to se však nepotvrdilo. Na hranici hmoty s antihmotou by probíhala anihilace, která by obě oblasti oddělila elektro-

magnetickým zářením. Nedošlo by k žádné explozi, jak čteme ve sci-fi románech, ale k pomalé plošné anihilaci. Obdobný jev známe i z běžného života. Kapka vody na rozpálené plotně nezasyčí a nezmizí. Dlouho na plotně poskakuje, protože je od ní oddělená vrstvou páry. Plocha mezi hmotou a antihmotou by byla zdrojem záření o energii 511 keV, žádné takové se ovšem nenašlo. Ve Vesmíru vznikají v extrémních energetických podmínkách jen tu a tam antičástice v páru s částicí a po chvíli zase zanikají. Příkladem může být jádro naší Mléčné dráhy, ve kterém je 511 keV anihilační čára pozitronů s elektrony dobře známá. Zajímavý je velký oblak vyzařující anihilační fotony gama nad středovou oblastí Galaxie.

Antihmota je látka složená z antičástic, které mají oproti částicím opačná znaménka všech kvantových nábojů. Atomární jádra jsou u antihmoty tvořena antiprotony a antineutrony, atomární obaly jsou složené z pozitronů. Uměle dokážeme připravit antivodík (CERN, Fermilab). Z Vesmíru k nám přilétají jen jednotlivé antičástice, zejména antiprotony. V energetických oblastech vznikají elektron-pozitronové páry, které záhy zanikají za vzniku fotonů o energii 511 keV. Ve Vesmíru převládla zcela dominantně hmota nad antihmotou. Příčiny této antisymetrie se intenzivně hledají.

Leidenfrostova vrstva je vrstva plynů, která odděluje kapalinu od horkého podkladu. Pojmenována je podle Johanna Gottloba Leidenfrosta, který ji poprvé popsal v roce 1756. Obdobná vrstva gama záření vzniká mezi oblastí z hmoty a antihmoty.

AMS 2 (*Alpha Magnetic Spectrometer 2*) je detektor připravený v Evropském středisku jaderného výzkumu CERN, který raketoplán Endeavour dopravil na Mezinárodní kosmickou stanici. Šlo o předposlední start raketoplánu vůbec. Úkolem detektoru AMS 2 je hledat antičástice v kosmickém záření. Přesněji řečeno v primárním kosmickém záření dopadajícím z Vesmíru na Zem. Jeho energie se v atmosféře přemění v sekundární záření – v němž jsou částice i antičástice. Nejsou to antičástice z Vesmíru, ale energie materializovaná v atmosféře Země.

10.5 Změny energie a hmoty

Hmota a energie jsou provázány Einsteinovým vztahem $E = mc^2$. Klidová energie hmoty se zvyšuje přidáním energie – například zahřátím nebo uvedením do pohybu. Zahřátím sklenky čaje vzroste jeho hmotnost a stane se nepatrně těžší, aniž by se změnil počet molekul. Naopak ubírat energii z hmoty mohou čtyři interakce. Jde o základní způsob získávání energie ve Vesmíru (například ve Slunci, hvězdách, kvazarech), ale i v našem životě, například při spalování potravy v buňkách, dřeva v kamnech nebo benzinu v motoru auta. Jiným příkladem je štěpení jader uranu v atomové elektrárně.

Vazebná energie je energie potřebná k rozložení systému na jednotlivé složky. Jednotlivé složky systému jsou vázány některou z interakcí. Vazebná energie je záporná, a proto je hmotnost systému nižší než součet hmotností jeho komponent. Systémem může být například atomové jádro vázané silnou interakcí nebo galaxie vázaná gravitační interakcí.

Částice při vstupu do systému odevzdává malou část své klidové hmotnosti Δm (tzv. hmotnostní úbytek nebo schodek), která se mění v energii $\Delta E = \Delta mc^2$. Chemickými reakcemi se uvolňuje pouze miliardtina klidové energie, při termonukleárních reakcích několik promile. Vazebná energie uvolněná při vzniku atomových jader je zdrojem hvězdného záření.

10.6 Údolí stabilních jader

Obrázek stabilních jader můžeme nakreslit třírozměrně. Jako údolí, jehož hloubka vyjadřuje vazební energii nukleonů. Rozevřené údolí vazebné energie jader je názornou pomůckou pro vznik jader prvků. Údolí je rozevřené v místě, kde je nejhlubší – tj. v počtu protonů 26, což odpovídá jádru železa. Průměrná vazebná energie jednoho nukleonu v jádru železa je největší ze všech jader. Jádra s menším počtem protonů, která se nacházejí nalevo, jsou tvořena při termojaderné fúzi ve hvězdách. Na pravém dlouhém křídle otevřeného údolí jsou jádra, jejichž vazebná energie jednoho nukleonu je menší než u atomu železa. Toto navýšení klidové energie proběhlo při explozích supernov. Jejich výbuch probíhá za teplot 200 miliard kelvinů a právě z tohoto tepla se obohatila jádra za železem.

Detaily k údolí stabilních jader – viz snímek 7.26.

10.7 Předávání energie mezi hmotou a zářením

Pokud se setká částice s antičásticí, přemění se jejich klidová hmota na záření, zpravidla na dva fotony. Takovému procesu říkáme anihilace, hmota se mění na čistou energii. Foton s dostatečně vysokou energií se naopak může přeměnit na pár částice a antičástice. Tento proces se nazývá materializace. Česky bychom mohli říct „zhmotnění energie“. Množství energie a hmoty přitom zůstává zachováno. Ve velkém měřítku dochází k materializaci energie v sekundárním kosmickém záření, jak je naznačeno na obrázku vpravo dole.

Anihilace. Dostane-li se nějaká částice do dostatečné blízkosti ke své antičástici (například při srážce), dojde: (a) k pružnému (neboli elastickému) rozptylu, při němž se

rozletí různými směry, aniž vzniknou další částice; (b) k nepružnému rozptylu, kdy se rozletí při současné produkci jedné nebo několika nových částic; (c) k anihilaci, kdy obě zaniknou za současného vzniku alespoň dvou nových částic. Tak může anihilovat proton s antiprotonem nebo elektron s pozitronem za současného vzniku jiného páru částice s antičásticí, několika fotonů, popř. dalších částic apod. Zvláštním případem jsou takové anihilační procesy, při nichž vznikají jen (a to nutně alespoň dva) fotony.

Anihilace se podobně jako všechny nukleární a subnukleární procesy řídí zákony zachování fyzikálních veličin. Jsou to buď přesné zákony (zachování celkové energie, hybnosti, momentu hybnosti, elektrického náboje) nebo přibližné (například podivnosti, izospinu, parity aj.). Baryonové a leptonové číslo se podle současných představ zachová jen při nízkých energiích. Při anihilaci může dojít k rozsáhlé, někdy i sto-procentní přeměně různých druhů energie, například klidové v kinetickou (nazývané někdy přeměnou hmoty v energii), nebo naopak kinetické v klidovou. Velký oblak vyzařující anihilační gama-fotony (o energiích 0,5 MeV) je pozorován nad středovou oblastí Galaxie.

Anihilace je základním procesem interakce mezi hmotou a antihmotou. Je nejúčinnějším způsobem přeměny klidové energie hmoty v jiné formy energie. V kosmologii antihmoty má anihilace základní význam. Anihilovat může každá dvojice částice-antičástice: kvark s antikvarkem, hadron s antihadronem (například proton s antiprotonem, neutron s antineutronem), lepton s antileptonem (například elektron s pozitronem). Opačným procesem k anihilaci je materializace (neboli produkce páru).

10.8 Elektromagnetické spektrum

Z Vesmíru přichází k Zemi celkem 92 oktáv elektromagnetického záření. Světlo představuje jedinou oktávu – neboť kmitočty fialového a červeného světla jsou poměru 2:1 jako u oktáv tónů. Elektromagnetické obory se často nazývají „barvy“, přestože nejsou vůbec viditelné. Mnohobarevný pak znamená „pozorovatelný ve více spektrálních oborech“. Fotonů bylo na počátku Vesmíru mnohem více než hmotných částic a velmi energetické gama fotony obsahovaly větší energii než hmotné částice. Proto se prvních 400 000 roků Vesmíru nazývá zářivé období. K energetickému vyrovnání hmotné a fotonové složky došlo při tzv. kosmologické rekombinaci – kdy elektrony vytvořily atomární obaly. To byl konec zářivého období Vesmíru a začátek hmotného období, kdy gravitace začala shlukovat vodík a helium do galaxií a uvnitř nich do hvězd.

Na grafu vidíte rozměry typických objektů (živých i neživých), které svou velikostí odpovídají vlnové délce daného spektrálního oboru. Na dolní stupnici je teplota,

kterou by těleso muselo mít, aby mělo maximum vyzařování v určitém spektrálním oboru. Čím teplejší těleso, tím kratší vlnové délky, na kterých září. Tomuto zákonu se říká Wiennův posunovací zákon a jeho matematickým vyjádřením je vztah pro vlnovou délku maxima vyzařování:

$$\lambda_{\max} = b / T; b = 0,00289 \text{ K m},$$

konstanta b se nazývá Wiennova konstanta. Celkový výkon na jednotku plochy tělesa je úměrný čtvrté mocnině teploty, je dán Stefanovým-Boltzmannovým zákonem

$$L = \sigma T^4, \sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4},$$

konstanta σ se nazývá Stefanova-Boltzmannova konstanta.

10.9 Záření ve Vesmíru

Vesmírná tělesa září. Podle jejich teploty vysílají různé druhy záření, jak je vidět z grafu. Křivky vyjadřují závislost toku záření na jeho vlnové délce pro tzv. absolutně černé těleso. Kosmická tělesa, jako jsou hvězdy, planety, měsíce, se do jisté míry absolutně černému tělesu přibližují. Horká tělesa září na krátkých vlnových délkách, chladná tělesa naopak na dlouhých vlnových délkách. Nejchladnější je ve Vesmíru reliktní záření, které se oddělilo od látky 400 000 let po vzniku Vesmíru v období, kdy elektrony vytvářely atomární obaly. Tenkrát reliktní záření svítilo ve viditelném světle. Dnes ochladlo natolik, že ho nalezneme na milimetrových vlnových délkách.

Viz také snímek 7.13.

10.10 Základní složky Vesmíru

Podle všech dostupných měření vychází celkový podíl atomární látky, tj. látky složené převážně z protonů a neutronů, na pouhých 5 % celku. Pokud bychom vzali v úvahu jen svítící látku, je výsledek ještě horší. Na obloze vidíme pouhé jedno procento celku. Dalších 27 procent tvoří temná neboli skrytá hmota, která vytváří základní vláknitou strukturu látky ve Vesmíru. Je složena z dosud neobjevených částic, které s hmotou interagují jen gravitační a pravděpodobně i slabou interakcí. Největší podíl ve Vesmíru má temná neboli skrytá energie, která způsobuje zrychlenou expanzi Vesmíru. Její povaha je neznámá. Nejpravděpodobnějším kandidátem na temnou energii jsou kvantové projevy vauka. Dalšími možnostmi jsou pátá interakce (kvintesence) nebo modifikovaná gravitační teorie.

Viz také snímky 9.34 až 9.36.

10.11 Temná hmota

Temná neboli skrytá hmota tvoří ve Vesmíru obrovskou neviditelnou síť. Její gravitace uspořádává prostorové rozmístění supergalaxií a galaxií, které jsou z normální tj. atomární svítící hmoty. Shlukují se především u velkých uzlů temné hmoty. Vlákna temné hmoty jsou na pozadí zobrazena fialově, atomární látka je světlejší. Temné hmoty je 27 % celku, atomární látky jen 5 % celku. Jde o částice, které s běžnou látkou interagují jen slabě. Z gravitačního působení můžeme rekonstruovat mapu rozložení temné hmoty, tak jak vidíme na obrázku v popředí.

Viz také snímek 9.34.

10.12 Temná hmota v kupě galaxií

V mohutných kupách galaxií je mnoho temné neboli skryté hmoty, která je na obrázku označena světle modře. Její rozložení bylo dopočteno z gravitačního působení na světlo galaxií, které leží daleko za kupou. Obrovská gravitace atomární a skryté hmoty způsobuje velmi rychlý pohyb galaxií v kupě. Vlastní gravitace pozorovaných galaxií nestačí na vysvětlení tohoto pohybu. Kinetická energie galaxií se přenáší i do mezigalaktického plynu mezi nimi, který je tímto způsobem zahříván na sto milionů stupňů a vysílá intenzivní rentgenové záření.

Působení temné (skryté) hmoty poprvé pozoroval v roce 1932 u hvězd naší Galaxie holandský profesor Jan Oort (1900–1992). O dva roky později pozoroval švýcarsko-americký astronom Fritz Zwickey (1898–1974) působení temné hmoty na pohyb galaxií v kupě galaxií ve Vlasech Bereniky. V roce 1968 se intenzivně problematikou temné hmoty v jednotlivých galaxiích zabývala americká astronomka Vera Rubinová (1928). Měřila rotační křivky hvězd v galaxiích a zjistila jejich nesoulad s gravitačním zákonem, pokud by pohyb ovlivňovala jen pozorovatelná atomární látka.

10.13 Temná energie a expanze Vesmíru

Od objevení rozpínání Vesmíru v roce 1929 byli astronomové přesvědčeni, že se rozpínání Vesmíru zpomaluje jako důsledek vzájemného gravitačního přitahování galaxií. Různá pozorování nejvzdálenějších galaxií v posledních letech 20. století však tento názor vyvrátila. Rozpínání Vesmíru se urychluje, a to zcela neznámým mechanismem. Za expanzi činíme odpovědnou tzv. temnou neboli skrytou energii. Celý vesmírný prostor včetně vakua je zaplněn touto energií. Síla z ní odvozená se někdy nazývá antigravitace, neboť

urychluje rozpínání, a tak působí opačně než gravitace, která rozpínání brzdí. Temná energie by mohla být způsobena kvantovými projevy samotného vakua. Také by mohlo jít o novou, pátou interakci, tzv. kvintesenci. A nebo je vše jinak? V každém případě čeká rozluštění záhady zrychlené expanze Vesmíru na budoucí generace fyziků.

Viz také snímek 9.36.

SCP projekt (*Supernova Cosmology Project*) je projekt, jehož cílem je objasnit podstatu temné energie. Projekt vede Saul Perlmutter, jeden z objevitelů zrychlené expanze (1998) a nositel Nobelovy ceny za fyziku (2011). V roce 2010 byly zveřejněny první výsledky projektu SCP. Autoři důkladně analyzovali dostupná data ze supernov typu Ia (719 měření, 557 použitelných), z analýzy fluktuací reliktního záření a z celoblohových přehlídek velkorozměrových struktur, do kterých se vyvinuly prvotní fluktuace. Všechny tři zdroje se setkávají na 68 % temné energie. Z analýzy se zdá, že nejpravděpodobnějším původcem temné energie jsou kvantové projevy vakua. Jiné varianty ale nejsou ještě vyloučeny.

10.14 ② Pojivo

Čtyři interakce uspořádaly počáteční nesmírně žhavé kvarkové plazma během 13,8 miliard roků do systémů současného kosmu. Můžeme je tedy nazvat budovateli nebo pojivem uspořádaného Vesmíru. Je to silná interakce, slabá interakce, elektromagnetická interakce a gravitace. Na pozadí vidíte numerickou simulaci gluonového pole – pojiva silné interakce.

10.15 Interakce

V přírodě máme čtyři interakce. Silná interakce spojuje kvarky uvnitř protonů a neutronů a drží pohromadě celé atomové jádro. Člověk tuto interakci využívá v jaderných elektrárnách, v atomových zbraních, jaderné reaktory mohou pohánět ledoborce nebo ponorky. Silná interakce je také zodpovědná za uvolňování energie ze Slunce. Elektromagnetickou interakci využíváme v domácnosti nejvíce. Je na ní založen každý spotřebič, televizní a rozhlasové vysílání, chemické procesy, setkáme se s ní při bouři a magnetické pole ovládá proudění plazmatu na povrchu Slunce. To je jen několik příkladů z mnoha. Slabá interakce ovládá rozpady částic. Beta rozpad látek uvolňuje v nitru Země teplo, které se na povrchu projeví jako horká zřídla nebo sopečná činnost. Ve slabé interakci neplatí levoprávní symetrie, přístroj postavený podle zrcadlového obrazu by fungoval jinak než originál. A poslední gravitační interakce? Díky ní můžeme chodit po povrchu Země, stavět naše stavby, využívat spádu řek a potoků ve vodních elektrárnách. Gravitační interakce ovládá pohyby planet, hvězd i galaxií.

Dvě z interakcí – silná a slabá jsou krátkého dosahu, druhé dvě – elektromagnetická a gravitační mají nekonečný dosah. Tři z interakcí jsou popsány kvantovou teorií (elektromagnetická, silná a slabá) a jedna pokřiveným světem obecné relativity (gravitační). Tři z interakcí jsou výběrové, tj. působí jen na některé částice (elektromagnetická, silná a slabá interakce) a jedna jediná – gravitace – působí úplně na vše, co je ve Vesmíru.

10.16 Nosiče sil

Sílu si dnešní kvantová teorie představuje jako pole, které je zodpovědné za působení mezi částicemi. A toto pole je plné tzv. polních, nebo mezipůsobících částic. Například elektromagnetická interakce mezi dvěma elektrony probíhá tak, že si tyto částice neustále vyměňují fotony – polní částice elektromagnetické interakce. Silnou interakci způsobuje 8 druhů gluonů. Samé slovo „glue“ znamená v angličtině lepidlo nebo pojivo. Slabá interakce má tři polní částice. Jednu neutrální, tu označujeme Z^0 a dvě nabité, tzv. W částice. Jediná gravitace stojí v našich představách poněkud stranou. Máme pro ni zcela jinou teorii, pokřivený svět obecné relativity. Kvantová teorie dosud neexistuje. Hypotetické částice, které by mohly v této budoucí teorii způsobovat gravitační interakci, se nazývají gravitony.

Všechny polní částice jsou bosony a neplatí pro ně Pauliho vylučovací princip. Bosony mohou být ve stejném kvantovém stavu a za nízkých energií toho využívají a tvoří tzv. bosonový kondenzát. Naopak všechny skutečně elementární částice látky, tzv. kvarky a leptony, jsou fermiony splňující Pauliho vylučovací princip.

10.17 Oddělování interakcí

Všechny čtyři interakce poznáváme za relativně nízkých teplot současného Vesmíru. Podle našich teorií se ale tyto interakce za vysokých teplot a energií částic chovají zcela jinak. Už za teploty 10^{16} K, která je dosažitelná na velkých urychlovačích, se elektromagnetická a slabá interakce chovají jako jedna jediná, tzv. elektroslabá síla. Za ještě vyšších teplot se přidá silná interakce a poté gravitační. Vesmír byl na počátku nesmírně hustý a horký. Za těchto podmínek v něm existovala jediná prasíla, které někdy říkáme supergravitace. Jak Vesmír chladnul, tak se z ní postupně oddělovaly interakce až do dnešní podoby, kterou důvěrně známe.

Energie, při které se spojuje elektromagnetická interakce spolu se slabou interakcí na elektroslabou interakci, je dosažitelná na velkých urychlovačích, například v komplexu urychlovačů CERN. Zde byly také na přelomu let 1983 a 1984 objeveny polní

částice slabé interakce. Pokud půjdeme od nižších energií k vyšším, začnou se obě různé interakce chovat jako jedna jediná. Pokud budeme naopak energii snižovat, rozštěpí se elektroslabá interakce na dvě různé interakce. Ostatní energie oddělování interakcí jsou pro nás v pozemských laboratořích nedosažitelné. Takové energie ale existovaly v raných fázích Vesmíru, kde pravděpodobně k takovému oddělování docházelo. Oddělení interakcí v raných fázích mohlo mít za následek uvolnění energie, která mohla způsobit inflaci – prudké rozepnutí Vesmíru.

10.18 ③ Systémy

Systém je základním pojmem v mnoha vědních disciplínách. Při popisu Vesmíru budeme jako systém chápat cokoli, co je složené ze základních stavebních kamenů – elementárních částic. Systémem je tedy proton složený z kvarků i kupa galaxií neboli supergalaxie složená z jednotlivých galaxií.

10.19 Materiál a pojiva

Podle tzv. standardního modelu elementárních částic je veškerá atomární látka složená z kvarků a leptonů. Kvarky „d“ a „u“ se pojí do neutronů a protonů. Z leptonů je nejdůležitější obyčejný elektron, který vytváří atomární obaly. V energetických procesech při interakci kosmického záření s atmosférou, v okolí neutronových hvězd a černých děr, v jádrech galaxií nebo v našich urychlovačích vznikají i další generace částic – kvarky „s“, „c“, „b“ a „t“ nebo mion a tauon, těžší varianty běžného elektronu. K základním polním částicím, které jsou zodpovědné za síly, patří fotony, gluony a polní bosony W a Z slabé interakce. A mezi tím vším kraluje Higgsova částice, která je zodpovědná za existenci hmotnosti ostatních částic a která byla objevena v komplexu CERN v roce 2012.

CERN (*Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire*, Evropské centrum jaderného výzkumu) je komplex urychlovačů na pomezí Švýcarska a Francie založený v roce 1954. Na výzkumu se podílí 20 členských zemí včetně České republiky. K největším objevům patří objev částic slabé interakce, příprava antivodíku, objev kvarkového-gluonového plazmatu a objev Higgsovy částice. V CERNu byl také vynalezen a poprvé použit Web. V současné době je zde vybudován největší urychlovač světa – *Large Hadron Collider*, který po závadě na jednom z magnetů byl opětovně spuštěn na konci roku 2009. S úplným provozem na energii 14 TeV se počítá v roce 2014.

Ve stavebninách Vesmíru – viz snímek 11.11.

Kvarkové období – viz úvod k prezentaci 10.

10.20 Jak vznikl Vesmír

Tvoření systémů nazýváme dějinami Vesmíru. Zde na Zemi dospěly k člověku. Na vodorovné ose je čas v rocích a svislá osa znázorňuje trojrozměrný prostor. Vesmír vznikl před 13,8 miliardami roků obrovskou explozí – Velkým třeskem. V ní vznikl čas, prostor a energie. Zůstává tajemstvím, co spustilo tuto nesmírnou explozi, jejíž rozpínání pokračuje dosud. V počáteční fázi ve Vesmíru dominovalo záření. Přibližně 400 000 let po začátku ho nahradila látka a zhruba v polovině existence Vesmíru temná energie, která začala Vesmír rozfukovat zrychlenou expanzí. První galaxie a hvězdy vznikaly přibližně 400 milionů let po vzniku Vesmíru.

Detaily o jednotlivých obdobích existence Vesmíru naleznete na snímku 2.6.

10.21 Stavby látky

Látka je všechno, co zaujímá prostor a má nenulovou klidovou hmotnost. Atomární látka je seskupení obrovského množství kvarků a elektronů, vázaných dohromady silnou, elektromagnetickou nebo gravitační interakcí. Jako synonyma slova „látka“ se někdy užívá i „hmota“, tedy v původním smyslu to, co lze hmatat. Vlastnosti látky v makroskopickém měřítku vyplývají z vlastností částic, jejich teploty a hustoty. V pozemském prostředí má atomární látka nízké teploty (zhruba 300 K) a nízké hustoty (0,1 do 10^4 kg m^{-3}). Je složena ze statisíců různých druhů molekul. Tato velká pestrost pozemské atomární látky však mizí při zvyšování teploty či hustoty. Při vysokých hustotách dojde k degeneraci látky, její chování začne být ovlivňováno zákony kvantové mechaniky.

Degenerace je změna stavu látky při stlačování na vysoké hustoty. Nejdříve (při hustotách nad 10^3 g cm^{-3} dochází k ionizaci tlakem: k obyčejné degeneraci. Atomy se k sobě přiblíží natolik, že se elektrony ze svých atomů uvolní a volně se mezi nimi pohybují. Látka sestává z iontů a elektronového plynu. Takovému stavu látky říkáme plazma. Při dalším stlačování dochází k degeneraci elektronového plynu: původní tepelné Maxwellovo rozložení rychlostí přestává platit (a uplatňuje se Pauliho princip). Původní plazma se mění na Fermiho plyn. Tlak elektronového plynu není důsledkem tepelného pohybu elektronů (jak je tomu v normálním řídkém plazmatu), ani jejich vzájemného elektrického odpuzování, ale je způsoben zejména jejich polovinovým spinem a neochotou dvou elektronů obsadit stejný kvantový stav. Při stlačování až do hustot 10^7 g cm^{-3} si látka uchovává své chemické složení. Její atomová jádra totiž zůstala degenerací elektronového plynu nedotčena.

Při hustotách nad 10^7 g cm^{-3} již dochází ke změnám atomových jader, a tím i chemického složení stlačované látky. Nově vtlačené elektrony při rostoucí hustotě musí

(v důsledku Pauliho principu) dostat dostatečně velkou energii, aby se tam vešly. Nižší energie jsou obsazené. A tak se stlačováním stává část elektronů relativistickými, čili dochází k relativistické degeneraci. Po stránce energetické je výhodnější, aby se elektron spojil s protonem v jádře. Takové zachycení elektronu jádrem se nazývá inverzní beta rozpad. Při něm se proton spojí s vysoce energetickým relativistickým elektronem a změní se na neutron: $p + e^- \rightarrow n + \nu_e$. Pokud takový proces probíhá ve velkém měřítku, nazývá se *neutronizace*. Při hustotách kolem $10^{11} \text{ g cm}^{-3}$ dochází k neutronizaci velmi stabilních jader hélia (druhého nejhojnějšího prvku ve Vesmíru): ${}^4\text{He} \rightarrow {}^3\text{He} + n$ a dále ${}^3\text{He} + 2e^- \rightarrow 3n + 2\nu_e$. Symbol ν_e značí elektronové neutrino. S rostoucí hustotou přibývá neutronů na úkor protonů a volné neutrony jsou stabilní. Jejich rozpad $n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e$ není možný, neboť pro elektron z rozpadu není žádné volné místo. Obvyčejná degenerace elektronového plynu probíhá v jádru hvězd, z nichž se pozvolna vyvíjí bílý trpaslík a planetární mlhovina. Naopak velice rychle proběhne *neutronizace* v supernově, jejímž pozůstatkem je neutronová hvězda.

10.22 Plazma

Nejběžnější formou atomární neboli baryonové hmoty ve Vesmíru je ionizovaný plyn čili plazma. V plazmatickém stavu jsou například hvězdy, mnohé mlhoviny nebo rozsáhlé mezigalaktické oblasti v kupách galaxií. Látka v zářivém období Vesmíru – tj. prvních 400 000 roků – byla v důsledku vysoké teploty ve stavu plazmatu. Kosmologickou rekombinací zmizely všechny volné elektrony. Vesmírný prostor se proto stal průzračným pro světlo z oné doby. Rozpínáním Vesmíru se zvětšily desettisíckrát vlnové délky, takže dnes ono světlo z konce zářivého období pozorujeme v mikrovlnném oboru jako reliktní záření.

Plazma je kvazineutrální soubor nabitých a neutrálních částic, který vykazuje kolektivní chování. Lidsky to znamená, že se v dané látce nachází alespoň malé množství elektricky nabitých částic, které jsou v celém objemu elektricky neutrální a jsou schopny reagovat na elektrická a magnetická pole jako celek. Plazma vzniká odtržením elektronů z elektrického obalu atomárního plynu nebo ionizací molekul. S plazmatem se můžeme setkat v elektrických výbojích (blesky, jiskry, zářivky), v polárních zářích, ve hvězdách, ve slunečním větru, v mlhovinách a v mezihvězdném a mezigalaktickém prostoru.

10.23 Vodík

Vodík je nejčastějším prvkem v celém Vesmíru. Vyskytuje se ve třech izotopech. Obvyčejný vodík má v jádře jen jeden jediný proton. Deuterium má v jádře navíc ještě jeden neutron a tritium dokonce dva neutrony. Jádra vodíku a deuteria jsou stabilní, jádro tritia je

nestabilní a rozpadá se s poločasem rozpadu 12,3 roku. Deuterium by mohlo sloužit jako palivo budoucích termojaderných elektráren. V moři je ho nepřeborná zásoba. Na 6 tisíc molekul vody připadá jedna molekula s těžkým vodíkem. Průměr atomu vodíku je desetimiliontina milimetru. Na jeho průměr se vejde řada statisíce protonů. Kdyby měl atom vodíku průměr 10 km, jeho jádro by bylo veliké jako fotbalový míč. V něm se prudce pohybují tři kvarky a mezi nimi přebíhají gluony, které je k sobě pevně vážou. Tak vypadá proton tvořící jádro vodíku.

Vodík (hydrogenium, „tvořící vodu“, H) je nejjednodušší, nejhojnější a nejstarší chemický prvek. Jádrem vodíkového atomu je proton, obal tvoří jediný elektron. V záporném iontu vodíku (H^-) jsou elektrony dva. Vodík je kosmogenní prvek, neboť (s héliem a částečně s lithiem) pochází z nejranějšího období Vesmíru. Z vodíku byly vybudovány ve hvězdách všechny ostatní prvky (až na lithium, berylium a bór).

Vodík je jediný prvek, jehož izotopy mají různé názvy: obyčejný vodík ^1H se někdy nazývá *protium*, těžký vodík ^2H s jedním neutronem *deuterium* (D) a nejtěžší vodík ^3H se dvěma neutrony tritium (T). Na 6 000 atomů ^1H připadá jedno deuterium ^2H . Je to kosmologické deuterium, vzniklé v počátcích Vesmíru. Tritium je radioaktivní, rozpadá se s poločasem 12,3 roku na izotop hélia ^3He . Obnovuje se v atmosféře působením kosmického záření. D a T jsou palivem pro termonukleární reaktory. Vodík získávaný rozkladem vody pomocí sluneční energie je pokládán za palivo budoucnosti. V palivových článcích se slučuje s kyslíkem a produkuje s vysokou účinností elektrický proud.

V atmosférách chladnějších hvězd a v mezihvězdném prostoru je převážná část plynů jako molekulární vodík H_2 . Jeho disociační energie je natolik vysoká (7,4 eV), že k jeho disociaci dochází jen v atmosférách těch nejteplejších hvězd. V chladnějších hvězdách není pozorován, neboť všechny jeho čáry ve viditelném spektru vycházejí z hladiny s energií excitace 6 eV, a pro tu jsou hvězdné atmosféry chladné.

Vodík představuje 90 % počtu všech atomů ve Vesmíru a dvě třetiny jejich hmotnosti. Jeho přeměna na hélium v nitru Slunce a velké většiny hvězd je zdrojem jejich záření. Jsou to hvězdy hlavní posloupnosti HR diagramu. Vodík je hlavní složkou v obřích planetách. V jejich nitru, za vysokého tlaku několika milionů atmosfér, se mění v kov. V roce 1973 se tato přeměna podařila ruským technikům v laboratoři (za tlaku 2,8 Mbar), přičemž se hustota skokem změnila z $1,08 \text{ g cm}^{-3}$ na $1,3 \text{ g cm}^{-3}$. Za pokojové teploty by měl být kovový vodík supravodičem. V nitru Jupiteru se za rok přemění vrstva molekulárního vodíku silná několik málo centimetrů v kovový vodík. Přitom se Jupiter poněkud smrští a uvolní se energie. Proto Jupiter vyzařuje více energie, než přijímá od Slunce.

Vodík se snadno slučuje s jinými prvky. Vyskytuje se ve formě molekul, atomů a iontů podle teploty prostředí. Tvoří řadu sloučenin s jinými prvky, především s těmi, které se ve Vesmíru často vyskytují: s kyslíkem, uhlíkem, dusíkem, křemíkem, hořčíkem a sírou. Vodíkové sloučeniny najdeme v chladných hvězdách, v mezihvězdné hmotě i na planetách a jejich měsících.

10.24 Atom

Atom je složen z těžkého kladného jádra, kolem něhož jsou vázány lehké záporné elektrony. Jádro je složeno z kladných protonů a neutrálních neutronů. Protony a neutrony se nazývají nukleony. Obrázek ukazuje model atomu uhlíku, který vznikl z hélia ve hvězdě za teplot 100 milionů kelvinů. Jádro je drženo pohromadě silnou interakcí. Ta váže kvarky do nukleonů a nukleony do jader. Do jedné stotisíciny sekundy byly kvarky a gluony ve Vesmíru nevázané. Tvořily zárodečnou polévku, ze které v jedné stotisícině sekundy po vzniku Vesmíru vznikaly neutrony a protony a v několika minutách existence Vesmíru vznikala z protonů a neutronů lehká atomová jádra.

Zárodečnou polévku složenou z kvarků a gluonů nazýváme kvarkové-gluonové plazma. Poprvé se ho podařilo uměle připravit na urychlovači SPS v Evropském středisku jaderného výzkumu CERN v roce 2000. Ve středisku CERN se po roce 2000 začal stavět největší urychlovač světa LHC a experimenty s kvarkovým-gluonovým plazmatem se přestěhovaly do Brookhavenské národní laboratoře na Long Island (v blízkosti New Yorku), kde na urychlovači RHIC probíhají dodnes. Ve středisku CERN se v současnosti zkoumá kvarkové-gluonové plazma na urychlovači LHC a jeho detektoru ALICE. Kvarkové-gluonové plazma vznikne při ostřelování dvou těžkých jader (olova ve středisku CERN a zlata v Brookhavenské laboratoři). Teplota při vzniku dosáhne statisícinásobku teploty v nitru Slunce a hustota dvacetinásobku jaderné hustoty.

10.25 Molekula vody

Molekula je systém atomů vázaných elektrickou silou. Molekuly byly a jsou tvořeny ve hvězdném období Vesmíru. Vznik lze ukázat na jednoduché molekule vody – velmi důležité látky pro život. Molekula vody, kterou máme zde na Zemi, byla složena před pěti miliardami roků z atomu kyslíku vytvořeného mateřskou obří hvězdou a ze dvou atomů vodíku – nejstarších atomů vůbec. Potřebnou energii dodal výtrysk z Protoslunce. Stejným způsobem vzniká voda u jiných rodičích se hvězd. Například ve Velké mlhovině v Orionu jich našel Hubbleův dalekohled přes 150.

Molekuly vody mají elektrický náboj rozložený tak, že tvoří dipól. Tím, že se kyslík podílí o dva elektrony s vodíky, má záporný náboj (na obrázku znázorněný modrou barvou). Díky této vlastnosti se molekuly vody přitahují a tvoří snadno kapku. Voda, ve které se koupeme a kterou pijeme, vznikla asi před pěti miliardami roků zároveň se Sluncem. Je tedy starší než Země. Na Zem přinesly vodu komety v době kosmického bombardování (před 4,5 až 4,0 miliardami roků).

10.26 Planety, hvězdy, hvězdokupy, galaxie

Z atomů a molekul vznikala ve Vesmíru složitější tělesa. Přibližně 400 milionů let po vzniku Vesmíru se objevily první hvězdy a první galaxie. Nevíme, co bylo dříve, možná vznikaly hvězdy a galaxie současně. První hvězdy měly obří rozměry a žily velmi krátkou dobu. Okolní Vesmír obohatily v gigantických explozích supernov o těžší prvky, ze kterých vznikaly další generace hvězd spolu s planetami. Planety, hvězdy, hvězdokupy a galaxie jsou tedy jen složitější systémy, které mohly vzniknout z elementárních částic za pomoci čtyř interakcí, když Vesmír dostatečně ochladnul.

O planetách, hvězdách, hvězdokupách a galaxiích pojednávají samostatné prezentace. Konkrétně je planetám věnována pátá prezentace, hvězdám sedmá prezentace a hvězdným systémům osmá prezentace.

10.27 Složité systémy

Pokud jde o uspořádání Vesmíru, je látka na nejnižší úrovni. Například 1,5 litru vody a lidský mozek jsou dva hmotné útvary vybudované z téhož materiálu – stejného počtu kvarků a elektronů. Avšak strukturou se podstatně liší. Lidský mozek je neporovnatelně složitěji uspořádán a mohou v něm proto probíhat mnohem složitější procesy. Mozek je systém složený z devadesáti miliard buněk, tzv. neuronů. Každý neuron je spojen tisíci vlákny s jinými neurony. Rozdíl mezi kamenem, vodou a mozkiem je ve složitosti uspořádání systému. Naše tělo je tedy velmi složitý systém deseti tisíců kvadrilionů elementárních částic. Jeho formování trvalo 13,8 miliard roků.

Člověk je rozumná bytost, ve které je spojen duch s hmotou. Jeho hmotná část (tělo) je systém orgánů, orgán je systém tkání, tkáň je systém buněk, buňka je systém organel, organela je systém molekul, molekula je systém atomů, atom je jádro složené z protonů a neutronů, kolem něhož obíhají elektrony. Člověk je nejsložitějším známým systémem ve Vesmíru, který se snažíme pochopit a poznat.

Místo spojení těla a ducha v mozku – viz snímek 11.15.

10.28 Člověk a Vesmír

Dnešní Vesmír – kosmos – je složený z mnoha systémů, od atomů až po supergalaxie. Systém je účelné seskupení částí, které je uspořádáné tak, aby tvořily funkční celek. Příkladem je náš organizmus, který byl budovaný po 13,8 miliard roků. Jsme částíčkou Vesmíru a článkem v jeho vývoji. Země nám propůjčuje pro náš organizmus atomy a Slunce potřebnou energii. Pro jeden lidský život Slunce přemění v centrální oblasti o něco méně než gram vodíku v hélium. Je to směšně málo, jestliže si uvědomíme, že každou sekundu Slunce přemění půl miliardy tun vodíku v hélium.

Člověk a Vesmír – viz také snímek 11.27.

Život a entropie – viz snímek 11.28.

10.29 Osud Vesmíru

Podle dnešních názorů Vesmír vznikl před 13,8 miliardami roků. A v této souvislosti nás napadá otázka: Jaký osud čeká Vesmír? Zanikne v nekonečném žáru, nebo jej naopak pohltí mrazivá temnota? Tyto otázky nepřestávají vzrušovat nejen vědce, ale každého přemýšlivého člověka. Vesmír je podroben dvěma protikladným silám. Jeho rozpínání je brzděno vlastní gravitací. Naopak rozpínání, které je dědictvím po Velkém třesku, napomáhá v posledních sedmi miliardách roků síla, která je důsledkem existence temné energie. Tato síla působí proti gravitaci, proto ji někdy říkáme antigravitace. Její vlastnosti dosud nejsou prozkoumány. V současné době je považována za nejdůležitější složku Vesmíru. Zůstane jí? Pak rozcupuje galaxie na hvězdy, Sluneční soustavu na planety a atomy na elementární částice. Pokud přestane být rozhodujícím činitelem a převládne vlastní gravitace, Vesmír se zhroutí a v nepředstavitelném chaosu možná vznikne velký třesk dalšího budoucího vesmíru. Dokud nepoznáme podstatu temné energie, budeme o budoucnosti Vesmíru jen spekulovat.

Podle teorie oscilujícího vesmíru by náš Vesmír byl pouze jedním obrovským pulzem v oscilujícím vesmíru. Podle jiných teorií byl Velký třesk pouze dotykem dvou brán v multiverzu tvořeném mnoha jinými vesmíry. Velkou naději na poznání počátku dávají reliktní gravitační vlny, které bychom našimi technickými prostředky mohli zachytit. Čeká nás pekelný žár nebo hrozná mrazivá temnota? Tedy – nás určitě ne – vždyť tu nebude ani náš domov – Sluneční soustava, která zanikne za sedm miliard roků. Ať Vesmír zanikne jakkoliv, bude to za mnohem delší, možná nekonečnou dobu. Budoucnost Vesmíru závisí na zatím neznámých vlastnostech temné energie.

Osudu Vesmíru je také věnován snímek 9.37.

10.30 ④ Účel a smysl světa

Účel a smysl světa, to je příliš provokující otázka na to, abychom se o ní alespoň nezmínili při toulkách Vesmírem. Názory jsou různé. Odpověď není ale úkolem fyziky ani ostatních přírodních věd. Zůstává především předmětem osobní víry.

10.31 Antropický princip

Kdyby se některá z nejdůležitějších konstant určujících vývoj Vesmíru jen nepatrně odchylovala od své hodnoty, vývoj Vesmíru by nemohl dospět k životu našeho typu. Tento fakt mnoho vědců fascinuje a tvrzení, že Vesmír má takové parametry, aby přesně vyhovoval člověku, je základem tzv. antropického principu. Ten má mnoho skalních příznivců i odpůrců. Existuje-li více vesmírů současně, žijeme právě v tom, kde se mohl vyvinout život našeho typu, a proto se nemůžeme divit, že parametry našeho Vesmíru jsou nařizovány tak, aby mohl vzniknout život. Na části molekuly DNA, na kterou se díváte, je zeleně znázorněn uhlík, modře dusík, červeně kyslík a žlutě fosfor. Odlišná hodnota gravitační konstanty, rychlosti světla nebo Planckovy konstanty by vznik molekuly DNA neumožnila.

Některé formulace antropického principu:

1. Brandon Carter (1974): Vesmír se všemi základními konstantami je takový, že na určitém stupni vývoje připouští vznik pozorovatelů.
2. John D. Barrow, Frank J. Tipler (1986): Ve Vesmíru musí dojít k inteligentnímu zpracování informací. Jakmile k tomu dojde, nikdy už nezmizí (finální antropický princip). *Poznámka:* To je možné chápat lokálně – inteligence je stále na jednom místě nebo se z něho šíří podobně jako lokální zákony zachování ve fyzice (kontinuita); nebo globálně – inteligence může zaniknout, ale jinde se objeví. Globální formulace připomíná již čistou spekulaci. Pokud by měl finální antropický princip platit, nemohla by ve Vesmíru proběhnout žádná další inflační fáze.
3. Stephen Hawking: Proč je Vesmír takový jaký je? Kdyby byl jiný, nebyl by v něm nikdo, kdo by mohl podobné otázky klást.

10.32 Vývoj Vesmíru k životu

Prohlédněte si pozorně základní etapy vývoje, které vedly ke vzniku života ve Vesmíru. Nejprve se kvarky spojily v jedné stotisícině sekundy v protony a neutrony. Dohromady je

nazýváme nukleony – částice atomového jádra. V několika minutách existence Vesmíru vznikly z neutronů a protonů lehká atomová jádra. V období 400 000 let po počátku se vytvořily atomární obaly a vznikly první atomy, jak je známe dnes. V nitru hvězd o stovky milionů let později vznikala jádra těžká. Z atomů se v mlhovinách v mezihvězdném prostoru rodily první molekuly. V protoplanetárních discích kolem nově se rodících hvězd pak vznikaly i složité organické molekuly. Na vhodných planetách se mohly z těchto molekul zrodit první primitivní organizmy.

Život, jak jej známe na Zemi, má přes jeho rozmanitost a složitost společné základní schéma: nositelem informace, nezbytné pro udržení jedince a jeho rozmnožování, jsou nukleové kyseliny. Udržení struktury a zajištění většiny funkcí organismu je doménou bílkovin vytvořených z aminokyselin. Vymezení organismu vůči okolí, díky čemuž je možné udržovat relativně stálé vnitřní prostředí, je zajištěno plazmatickými membránami. Tyto základní složky života se navzájem doplňují – bílkoviny se strukturně i funkčně podílejí na ukládání, přenosu, zdvojování a opravách informace v nukleových kyselinách, nukleové kyseliny samy vytvářejí funkční struktury, součástí plazmatických membrán jsou bílkoviny, které umožňují asymetrický transport hmoty a informace do vnějšího prostředí a do buňky.

Na Zemi jsou známy tři mikrobiální ekosystémy, které nepotřebují sluneční svit, kyslík, nebo organické látky produkované na povrchu, kde je slunečního svitu dostatek. Dva z těchto ekosystémů byly nalezeny hluboko ve vulkanických skalách. Získávání energie je zde založeno na metanogeních archebakteriích využívajících vodík produkovaný reakcí mezi vodou a horninou. Třetí ekosystém byl nalezen hluboko pod zemí v Jižní Africe a je založen na baktériích redukujících sulfát, které konzumují vodík a síranové anionty, oboje produkované radioaktivním rozpadem. Pro nás jsou tyto organismy extrémem, proto jim někdy říkáme extremofilní organismy. Ale současně ponaučením, že i na naší Zemi má život mnoho podob a nemusí být šablonoitou kopií toho, co vidíme běžně kolem sebe.

10.33 Proč jsme?

„Proč jsme?“ je palčivá otázka po smyslu života. Názory jsou různé a vymykají se vědeckému přístupu. Jsou záležitostí osobní víry. Věda zkoumá, z čeho jsou objekty ve Vesmíru složeny, jak byly vytvořeny a jaké síly je udržují pohromadě. Otázka účelu těchto objektů, které tvoří Vesmír, je filozofickou otázkou, na kterou neznáme odpověď.

Kultura judaistická, křesťanská a islám se opírají o Mojžíšův výrok v jeho prvé knize (*Genesis*): „Bůh (s) vytvořil člověka k obrazu svému.“ Materialismus a jiné filozofie však dávají jiné odpovědi. Podle antropického principu tvoření bylo od Velkého třesku

zaměřeno vše ke vzniku života. Někteří dokonce tvrdí, že jen Inteligence nesmírněkrát větší než lidská mohla vytvořit z 10^{27} protonů a elektronů tak dokonalý systém, jakým je lidský mozek. V každém případě je názor na smysl života věcí víry.

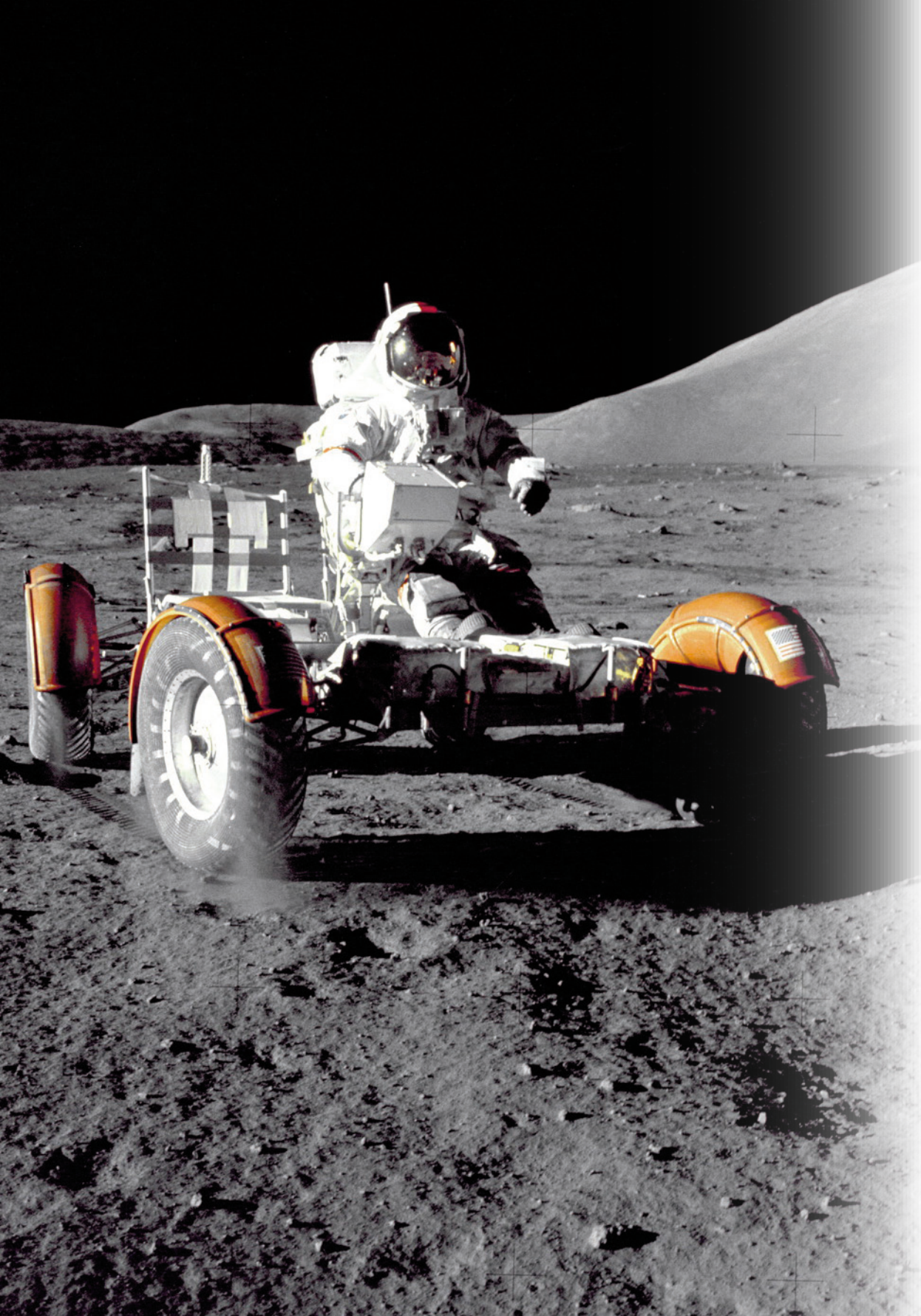
Na snímku je socha Mojžíše od Michelangela Buonarrotiho.

Zdroje k desáté prezentaci

- 10.1 http://www.ffredemption.com/wp-content/uploads/2012/07/space_art_bg.jpg
- 10.2 <http://www.universetoday.com/wp-content/uploads/2010/03/ParticleTracks-in-a-cloud-chamber.jpg>
- 10.3 archiv autora, kresba AGA
- 10.4 http://imagine.gsfc.nasa.gov/Images/news/map_wcap.gif
http://imagine.gsfc.nasa.gov/Images/news/old_wcap.gif
- 10.5 archiv autora
- 10.6 archiv autora
- 10.7 archiv autora
- 10.8 NASA
- 10.9 NASA + archiv autora
- 10.10 <http://chandra.harvard.edu/resources/illustrations/darkmatter.html>
<http://www.eso.org/public/images/ngc2060-cc/>
- 10.11 http://mppg.shao.ac.cn/leech/fig/l500_gal.jpg
<http://imgsrc.hubblesite.org/hu/db/images/hs-2007-01-a-print.jpg>
- 10.12 http://apod.nasa.gov/apod/image/1008/abell1689_hst_big.jpg
- 10.13 http://map.gsfc.nasa.gov/media/060915/060915_CMB_Timeline300nt.jpg
- 10.14 <http://www.physics.adelaide.edu.au/theory/staff/leinweber/teaching/ActionXs24t36gradient.html>
- 10.15 kompilace podle autorova návrhu
- 10.16 <http://hem.bredband.net/sigrunr/bhsim06a.jpg>
- 10.17 http://www.astrobio.nau.edu/~koerner/ast180/lectures/pic/cdrom/art_high-res/ch17/figure-17-07.jpg

- 10.18 <http://imgsrc.hubblesite.org/hu/db/images/hs-2004-07-b-print.jpg>
- 10.19 https://web.infn.it/sbuser/images/stories/immagini/standard_model_from_fermi_lab.jpg
<http://www.eso.org/public/images/vela-snr-schmidtcomp/>
- 10.20 <http://www.geosociety.org/pubs/gsatoday/grgsat/0007-2.htm>
<http://www.cartage.org.lb/en/themes/Sciences/Physics/NuclearPhysics/WhatisNuclear/Nucleons/Nucleons.htm>
<http://hubblesite.org/newscenter/archive/releases/galaxy/interacting/1999/28/image/>
<http://chandra.harvard.edu/photo/2009/casa/>
<http://apod.nasa.gov/apod/ap111115.html>
<http://apod.nasa.gov/apod/ap070314.html>
<http://www.ipac.caltech.edu/2mass/gallery/fest1-457atlas.jpg>
http://solarsystem.nasa.gov/multimedia/display.cfm?Category=Planets&IM_ID=1879
http://nssdc.gsfc.nasa.gov/imgcat/html/object_page/a11_h_40_5903.html
- 10.21 archiv autora
- 10.22 archiv autora, AGA
- 10.23 archiv autora, AGA
- 10.24 archiv autora, AGA
- 10.25 archiv autora, AGA
- 10.26 http://www.backseatbettys.com/solarSite/downloads/hiRes_00-SS.jpg
<http://geospatial.gsu.edu/geog1112/files/Lab10/Sunspots.jpg>
http://imgsrc.hubblesite.org/hu/gallery/db/printshop/ps21/formats/ps21_16x20.jpg
http://aboutfacts.net/Science/SC75/ClusterVLg_jpg.jpg
- 10.27 http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a9/Complete_neuron_cell_diagram_en.svg
archiv autora
- 10.28 http://www.nasa.gov/images/content/478271main_304_Hoop.jpg
<http://tapety.superhry.cz/vesmir/earth/>
http://paul.studio5d.com/gallery/index.php/Vacations/italy_and_greece_2011/rome/DSC_0188

- 10.29 <http://chandra.harvard.edu/resources/illustrations/darkmatter.html>
- 10.30 http://nd04.jxs.cz/484/224/96726d2d48_68897006_o2.jpg
- 10.31 <http://blogs.discovermagazine.com/80beats/files/2011/03/DNA.jpg>
<http://www.grenswetenschap.nl/images/artikelfoto/TR%20Dubbel%20DNA%20090324.jpg>
<http://www.orc.uni-linz.ac.at/mueller/bast/DNA-Ball-and-Stick1.GIF>
<http://www.freakingnews.com/pictures/46000/BIGFOOT-DNA-PROOF-46221.jpg>
http://art.ngfiles.com/images/179/ultimamasher_lrig-emils-a-dna-ypeerc.jpg
- 10.32 tabulka
http://ietl.org/graphics/dna_embr.jpg
- 10.33 <http://santitafarella.files.wordpress.com/2008/10/7b-moses.jpg>



11. Vesmír a člověk

Se značným úsilím hledají biologové, astronomové, chemici, geologové, odborníci na počítače i v jiných oborech odpovědi na otázky vztahu člověka a Vesmíru. Podle antropického principu, kterému část vědců věří, byl vznik života ve Vesmíru předurčen už v prvních okamžicích času. Tehdy bylo jen kvarkové-gluonové plazma – stavební materiál – z něhož čtyři interakce (silná, gravitační, elektromagnetická a slabá) vybudovaly systémy dnešního uspořádaného kosmu. Jsme částíčkou Vesmíru a článkem jeho vývoje trvajícího 13,8 miliard roků. Jako bytosti vybavené abstraktním myšlením se považujeme za poslední vývojový stupeň života. Přesněji řečeno: „života na Zemi, modrém kosmickém prášku u hvězdy zvané Slunce“. Připomeňme si v této části stručně náš vztah k Vesmíru.

Jsme částíčka Vesmíru

1. Materiál pro výstavbu našeho těla poskytuje Země. Půjčuje nám atomy ve formě potravy. Po dokončení života jí je vrátíme. Země tyto atomy dostala při svém vzniku ze sluneční mlhoviny před 4 a půl miliardami roků. A sluneční mlhovina je dostala při výbuchu obří supernovy před sedmi miliardami roků. Sama supernova je vytvořila z elementárních částic při nesmírném žáru mnoha miliard stupňů. Jsme tedy potomci dávné supernovy.
2. Pro budování a život potřebuje náš organizmus neustále energii. Měření ukazuje, že potřebuje tolik energie jako stowattová, neustále zapnutá žárovka. Tu potřebnou energii dostává od Slunce. Ne přímo, ale pomocí zelených rostlin. Záznacným procesem (nazývaným *fotosyntéza*) zelené rostliny zachytávají sluneční záření a vytvářejí složité molekuly (například cukry a škroby) bohaté na energii. Přitom uvolňují kyslík. Uskladněnou energii (například v ovoci, obilí, zelenině) přijímá náš organizmus v potravě a uvolňuje ji okysličováním. Dýchání je opačný proces k fotosyntéze.
3. Vývoj Vesmíru probíhal po 14 miliard roků takovým podivuhodným způsobem, že všechny události směřovaly ke vzniku života na jedné z planet ve Sluneční soustavě. Tomu účelnému dění ve Vesmíru se odborně říká antropický princip (řecké *anthropos* znamená člověk).
4. Není důvodu, proč by život nemohl také vzniknout i na planetách u jiných hvězd – pokud jsou tam příznivé teplotní podmínky a voda. Protože některé planetární soustavy u jiných hvězd jsou o několik miliard roků starší než naše Sluneční soustava, je docela možné, že vývoj života tam pokročil dál než zde na Zemi. Mohli bychom se od nich mnohemu přiučit.

Jsme článkem v dějinách Vesmíru

1. Dějiny Vesmíru jsou postupným vytvářením věcí (systémů) z elementárních částic. Mohli bychom říci, že vývoj Vesmíru je postupné formování hmoty. Počáteční beztvář velmi žhavá hmota byla postupně formována (tj. uspořádávána) do složitějších systémů: atomů, molekul, galaxií, hvězd, planet, živých organismů na planetách... Kdo byli ti stavitelé, kteří formovali hmotu – čili vytvářeli systémy elementárních částic – od atomového jádra až po galaxie? Nazývají se interakce čili síly mezi elementárními částicemi. Jsou čtyři – *jaderná (silná)*, která přitahuje částice v atomovém jádru, *elektrická*, která přitahuje elektrony k protonům, *gravitace*, která je sice ze všech nejslabší, ale přitahuje k sobě všechny částice i na obrovské vzdálenosti a *slabá*, která je zodpovědná za některé rozpady a přeměny částic.
2. Podle dnešního názoru náš Vesmír není věčný, ale vznikl přibližně před čtrnácti miliardami roků nesmírně rychlým výbuchem. Tomu výbuchu se říká *Big Bang* nebo česky Velký třesk. Zlomem sekundy po výbuchu byl Vesmír velice jednoduchý, byla to nesmírně žhavá tlačnice gama fotonů, mezi kterými sem tam zběsile pobíhaly elementární částice (protony, neutrony a elektrony). V prvním období (tzv. zářivém) bylo hlavním činitelem záření. Trvalo 400 tisíc roků.
3. Když byl Vesmír starý 400 tisíc roků, elektrická přitažlivost spojila elektrony s protony, Vznikly tak vodíkové atomy s elektronovým obalem. Z Vesmíru při tom zmizely volné elektrony, které se projevovaly jako „kosmická mlha. Vesmír se stal průhledným. V této době byl ve Vesmíru jen vodík (s trochou hélia a nepatrným množstvím několika dalších lehkých prvků). Nebyly zde žádné těžké prvky, nebyly hvězdy ani planety.
4. Potom přišla na řadu gravitační síla, působící mezi hmotnými částicemi. Proto se doba po 400 000 letech nazývá hmotné období Vesmíru. Gravitační přitažlivost počala po roce 400 000 shlukovat vodíkové (a heliové) atomy do galaxií a hvězd. Trvalo jí to 400 milionů roků, než vytvořila první galaxie a v nich hvězdy. To byla první generace hvězd, složená jen z vodíku a hélia.
5. Po celých 400 milionů roků byl Vesmír bez světla, do doby, než se rozzářily první hvězdy. Tomuto období se říká kosmické temno (temný věk Vesmíru).
6. V nitru první generace hvězd – za teplot mnoha milionů stupňů – jaderná síla spojovala protony a postupně vytvářela atomy všech prvků. Obří hvězdy končí svůj život katastrofickým výbuchem, který se nazývá supernova. Při výbuchu supernovy se atomy dostanou z nitra zanikající hvězdy ven, do prostoru mezi hvězdami. Tam se smíchají s oblaky vodíku a hélia a vytvoří se mlhovina obohacená o všechny prvky, které znají chemici.

7. Pro nás byla životně důležitá jedna z tisíců mlhovin v naší Galaxii. Tě mlhovině říkáme Sluneční mlhovina. Vznikla po výbuchu obrovské supernovy před sedmi miliardami roků. Po dvou miliardách roků (tedy před pěti miliardami roků) ji počala stlačovat vzájemná gravitační přitažlivost jejích atomů. Stlačováním se mlhovina zahřívala a v jejím středu vznikalo Slunce.
8. Kolem rodícího se Slunce se otáčel disk plynů a prachu. Říkáme mu protoplanetární disk, neboť z něho gravitace vytvářela planety – včetně naší Země. Stalo se tak před čtyřmi a půl miliardami roků. Připomeňme si, že i v dnešním Vesmíru je mnoho protoplanetárních disků, z nichž gravitace vytváří planety kolem hvězd. Jen ve Velké mlhovině v souhvězdí Orionu jich objevil Hubbleův dalekohled přes 150. Naše Sluneční soustava je zcela obyčejným výtvozem Vesmíru. Je proto nepochopitelné, proč se někteří pozemšťané považují za pány tvorstva.
9. O tom, co se dalo po vzniku planety Země, vypráví geologie. Vznik a vývoj života na Zemi je předmětem paleontologie a o dalším vývoji člověka se dovíme v antropologii.
10. Naše časová osa znázorňuje události ve Vesmíru. Na jejím konci je člověk. Tím však vývoj Vesmíru nekončí. Vznikají nové galaxie, v nich se rodí hvězdy s planetami a pravděpodobně by i tam mohl vzniknout život. Možná inteligentní život, kde člověk člověku je bratrem a inteligence slouží jen k rozvoji života a ne k jeho ničení.
11. Astronomové naslouchají na rádiových vlnách mnoha planetárním soustavám, zda se odněkud neozvou inteligentní bytosti. Pokud se tak stane, bude to velká událost v dějinách člověka.

*Lidé jsou stvořeni k tomu,
aby se obdivovali Vesmíru a přemýšleli o něm.
Oni sami nedosahují této vrcholné dokonalosti,
ale jsou součástí této dokonalosti.*

(Marcus Tullius Cicero)

11.1 Úvod

Jaký je vztah člověka k Vesmíru? Lidstvo hledá po generace odpovědi na mnoho otázek. Kdo je vůbec člověk? Kde se ve Vesmíru nacházíme? V které části jeho existence žijeme? A proč vůbec? Jaká je naše role ve Vesmíru? Oproti Vesmíru jsme jen nepatrnou částíčkou a malým článkem vývoje Vesmíru. Přesto vynakládáme nemalé prostředky, abychom zjistili, jaký je náš vesmírný domov a odhalili naši úlohu v tomto světě.

11.2 ① Jak poznáváme Vesmír?

Jako první se vyvinula vizuální astronomie, která využívá k pozorování Vesmíru světlo. Po dlouhou dobu to byl jediný zdroj našich informací o vzdáleném Vesmíru. Ve 30. letech 20. století vznikla radioastronomie. Dnes sledují Vesmír na rádiových vlnách obří radio-teleskopické sítě. Světelné a rádiové vlny procházejí naší atmosférou. V ostatních oborech elektromagnetického spektra musíme Vesmír sledovat z kosmického prostoru. Za pomoci důmyslných vesmírných observatoří dnes pozorujeme Vesmír v infračerveném, ultrafialovém, rentgenovém i gama oboru. Tím naše možnosti ale nekončí. Do blízkého Vesmíru jsme schopni vyslat sondy, které zkoumají tělesa Sluneční soustavy přímo na místě. Umíme zachytit neutrína ze vzdálených zdrojů, snažíme se polapit gravitační vlny. Možnosti poznávání Vesmíru se s každou nastupující generací dramaticky zvětšují.

Radioastronomie (rádiová astronomie) je moderní obor astronomie, který studuje Vesmír pomocí rádiového záření. Podle způsobu výzkumu se dělí na: (a) *pasivní radioastronomii*, která rádiové vlny z Vesmíru pouze přijímá. Studuje nejen Sluneční soustavu, ale i vzdálený a nejvzdálenější Vesmír (rádiové záření hvězd, mlhovin, zbytků supernov, planetárních mlhovin, obřích molekulárních oblaků, galaxií a kvazarů; (b) *aktivní radioastronomii*, která pomocí radaru vysílá rádiové vlny a po odrazu od nebeského tělesa je přijímá a studuje. Její výzkum je omezen na Sluneční soustavu (polární záře, meteorů, ionosféra, Měsíc, Merkur, Venuše a Slunce).

Podle studovaného objektu se radioastronomie člení na meteorickou, planetární, sluneční, galaktickou a extragalaktickou. Podle umístění přístrojů je radioastronomie buď pozemská, nebo kosmická (z družic a kosmických sond). Pozemská radioastronomie je omezena propustností atmosféry na vlnové délky delší než 1 mm (kmitočty nižší než 300 GHz) a kratší než 10 m (kmitočty vyšší než 30 MHz). Vlny kratší než milimetrové pohlcuje z větší části vodní pára v atmosféře a vlny delší než 10 m se odrážejí v ionosféře zpět do kosmického prostoru. Pozorovací přístroje je nutné vynést nad ionosféru. Pozorování z kosmu dala vznik dlouhovlnné radioastronomii (nízkofrekvenční radioastronomii).

Základními přístroji radioastronomie jsou rádiové teleskopy, rádiové interferometry, spektrografy a radary. Oblasti oblohy, které jsou v rádiovém záření jasnější než okolní obloha, nazýváme rádiové zdroje.

Vznik radioastronomie spadá do počátku 30. let 20. století. Americký inženýr s českými kořeny Karl Jansky (1905–1950) tehdy hledal původ rádiového šumu (tzv. *atmosfériků*), který rušil krátkovlnné spojení mezi loďmi a pobřežím. Zjistil, že zdrojem je střed Galaxie. Objev byl publikován v New York Times v roce 1932, ale zůstal bez povšimnutí až do druhé světové války. Angličtí odborníci zjistili, že intenzivním

zdrojem rádiového záření je také Slunce. Dnes se stalo rádiové Slunce důležitým předmětem radioastronomie.

Neutrinová astronomie (neutrino – viz také snímky 2.25, 4.13, 9.17) využívá ke sledování Vesmíru neutrin. Neutrino jsou leptony, které nemají elektrický náboj. Neinteragují ani silně ani elektromagneticky, proto látkou většinou procházejí. Neutrino známe ve třech provedeních – elektronová, mionová a tauonová. Alespoň jedno z neutrin má nenulovou klidovou hmotnost, a proto dochází k tzv. oscilacím neutrin, samovolné přeměně mezi jednotlivými typy. Neutrino dnes umožňují zkoumat nitro Slunce, exploze supernov, procesy v nitru Země a další fyzikální jevy.

Elektronové neutrino je částice patřící mezi leptony, vzniká spolu s pozitronem při slabých rozpadech. Jde o částici velmi malé hmotnosti, která interaguje s hmotou jen slabou interakcí, snadno proto hmotou proniká. Jeho existenci předpověděl Wolfgang Pauli v roce 1930 na základě analýzy beta rozpadu. Název neutrino mu dal Enrico Fermi po objevu neutronu v roce 1932 (v italštině znamená neutrino malý neutron). Jeho existence byla potvrzena v roce 1956 v jaderné elektrárně Savannah River v Jižní Karolíně (Frederick Reines, Clyde Cowan).

Mionové neutrino doprovází při slabých rozpadech mion (těžký elektron). Má podobné vlastnosti jako neutrino elektronové. Mionové neutrino objevili Leon Lederman, Melvin Schwartz a Jack Steinberger v roce 1962 na urychlovači v Brookhavenu (Long Island, USA). Za tento objev obdrželi Nobelovu cenu za fyziku pro rok 1988.

Tauonové neutrino doprovází tauon (supertěžký elektron) při slabých procesech. Bylo objeveno v laboratoři Fermilab v roce 1999 v experimentu DONUT (Do Nu Tau). Z objevitelského týmu jmenujme Philipa Yagera a Vittoria Paoloneho.

11.3 Elektromagnetické vlny – zdroj informací

Fotony záření přinášejí základní informace nejen o našem okolí, ale o celém Vesmíru vůbec. Světlo bylo po staletí naším jediným zdrojem informací o okolním světě. Základem našeho poznávání Vesmíru je světelný obraz, který dokáže zpracovat lidské oko. Ostatní obrazy, například gama, rentgenový, ultrafialový, infračervený, submilimetrový, mikrovlnný, rádiový nebo neutrinový, je nutno nejprve změnit na světelný obor. Takové snímky jsou v nepravých barvách.

Co měří astronomické přístroje? Nejde jen o to zaznamenat světelný obraz, ale je potřeba z něho získat co nejvíce informací. Nejčastěji se určuje směr, jasnost, spektrum a polarizace světla.

Směr, odkud fotony přicházejí, umožní zjistit polohu světelného zdroje. Protože s námi Země obíhá kolem Slunce, hvězdy opisují na obloze malou elipsu, tím menší, čím je hvězda vzdálenější. Z velikosti této elipsy lze dopočítat vzdálenost blízkých hvězd. Tento obor se nazývá *astrometrie*.

Jasnost objektu (hvězdy) je dána množstvím fotonů a jejich kmitočtem. Tento obor se nazývá *fotometrie*. Pokud známe i vzdálenost objektu, můžeme odhadnout vyzařovaný výkon.

Spektrum objektu (hvězdy) je podíl fotonů různých barev na jasnosti hvězdy. Tento obor se nazývá *spektrofotometrie*. Umožní určit teplotu objektu, chemické složení, radiální pohyb, magnetické pole i další parametry.

Polarizace je směr kmitání fotonů. Zabývá se jím *polarimetrie*. Ze stočení roviny polarizace je někdy možné určit magnetické pole a z polarizace reliktního záření je například možné odhadnout období vzniku prvních hvězd ve Vesmíru.

11.4 Ze Země – dalekohledy

Pozorování Vesmíru pozemskými dalekohledy se nám dnes zdá samozřejmostí. Poprvé se na oblohu podíval dalekohledem Galileo Galilei v roce 1609. Šlo o malý dalekohled, neporovnatelný s dnešními obřími přístroji. V prvních dvou třetinách 20. století byl ikonou pozorovací astronomie Haleův dalekohled se zrcadlem o průměru 5 metrů. K největším přístrojům dneška patří Velmi velký dalekohled, anglicky Very Large Telescope, astronomové ho znají pod zkratkou VLT a říkají mu „vé-el-téčko“. Nachází se v chilské poušti Atacama. Jde o čtveřici dalekohledů se souvislými zrcadly, každé z nich má průměr přes 8 metrů. V současnosti se začíná stavba obřího dalekohledu, který se nazývá E-ELT neboli Extra velký evropský dalekohled. Jeho primární zrcadlo bude mít průměr 39 metrů a bude složeno ze 798 segmentů. Dalekohled vyrostе na Cerro Armazones v Chile v nadmořské výšce 3060 metrů. Do provozu by měl být uveden po roce 2020. Předpokládá se, že půjde o skutečnou revoluci v pozorovací technice. Dalším ambiciózním projektem je Obří Magellanův dalekohled, který by měl být složen ze sedmi zrcadel o průměru 8,4 metru. Takový přístroj by se choval jako jediné zrcadlo o průměru 25 metrů. Stavba by měla být dokončena v polovině 20. let 21. století.

Haleův dalekohled je pětimetrový přístroj na Mount Palomaru v Jižní Kalifornii. Je pojmenován po americkém slunečním astronomovi Georgi Ellery Haleovi. Přístroj byl uveden do provozu v roce 1948. Nebyl vybaven adaptivní optikou a neklid atmosféry silně snižoval jeho rozlišovací schopnost.

Velmi velký dalekohled (VLT, *Very Large Telescope*) – viz snímek 1.26.

Obří Magellanův dalekohled (GMT, *Giant Magellan Telescope*) je přístroj, který se bude stavět v chilské poušti Atacama, v lokalitě Cerro Las Campanas (nadmořská výška 2 550 m), kde je 300 čistých pozorovacích nocí v roce. Bude ho tvořit sedm zrcadel o průměru 8,4 m umístěných na jediné montáži. Celková sběrná plocha bude odpovídat jedinému dalekohledu o průměru 25 metrů. Dalekohled je pojmenován po portugalském mořeplavci a objeviteli Ferdinandu Magellanovi.

Evropský extrémně velký dalekohled (E-ELT, *European Extremely Large Telescope*) je zatím největším realistickým projektem dalekohledu, který má být postaven v lokalitě Cerro Armazones v Chile, v nadmořské výšce 3060 metrů. Zrcadlo bude mít průměr 39 metrů a bude složeno ze 798 šestiúhelníkových segmentů o šířce 1,4 metry. Sekundární zrcadlo bude mít průměr 4 metry. Kupole má mít výšku 90 metrů a šířku také 90 metrů. Se zprovozněním se počítá na počátku 20. let 21. století.

Aktivní optika je způsob korekce nízkofrekvenčních (0,03 Hz a nižších) deformací primárního zrcadla. Poprvé byl systém aktivní optiky vyvinut a použit pro dalekohled NTT (*New Technology Telescope*) o průměru 3,5 metru, který patří ESO a je umístěn na hoře La Silla. Aktivní optika by měla eliminovat především tyto jevy: stálé výrobní vady, tepelné deformace způsobené teplotním gradientem, kompenzace vlastního průhybu zrcadla způsobeného gravitací, kompenzace nízkofrekvenční složky deformace zrcadla způsobené větrem a změny způsobené přechodem mezi Nasmythovým a Cassegrainovým ohniskem. Dnes je nedílnou součástí všech velkých dalekohledů.

Adaptivní optika slouží ke korekci vysokofrekvenčních změn obrazu způsobených zejména turbulencí atmosféry (až 1 000 korekcí za sekundu). Korekce se provádí počítačem řízenými posuny a deformacemi pomocných zrcátek. K vyhodnocení aktuálního tvaru vlnoplochy slouží referenční hvězda, která se musí nacházet v blízkosti pozorovaného objektu. Asi v 1 % případů lze využít přirozenou hvězdu (NGS – *Natural Guide Star*). Většinou se používá umělá hvězda (LGS – *Laser Guide Star*), která se vytváří laserovým paprskem fokusovaným do výšky přibližně 90 km, kde zpětným rozptylem vzniká skvrna zářících sodíkových atomů. Druhou možností je využití Rayleighovy difúze ve výškách 10 až 20 km. Umělou hvězdu můžeme vytvořit jakkoli blízko sledovanému objektu, vyvstávají ale problémy spojené s její konečnou výškou a velikostí. Adaptivní optiku využívají všechny velké dalekohledy současnosti.

11.5 Ze Země – dalšími přístroji

Dnes má astronomie i další možnosti a k pozorování Vesmíru nepoužívá jen světlo. Na povrchu Země jsou rozsáhlé sítě radioteleskopů, na levém horním snímku vidíte americkou síť 27 radioteleskopů v Novém Mexiku, její název je Very Large Array, zkratkou VLA.

V radiovlnách můžeme spatřit nejchladnější zákoutí Vesmíru. Zcela jiným přístrojem je observatoř Pierra Augera v argentinské pampě. 1 600 detektorů na území o rozloze 3 000 km² zachytává sekundární spršky kosmického záření. Několik přístrojů se pokouší zachytit gravitační vlny přicházející z Vesmíru. Na snímku vlevo dole vidíte v tuto chvíli nejcitlivější zařízení tohoto druhu. Říká se mu VIRGO, nachází se v Itálii, a jde o obří interferometr, jehož ramena mají délku 3 kilometry. Bohužel se doposud přímá detekce gravitačních vln nezdařila. Na posledním snímku je IceCube, ledová kostka. Tento detektor neutrin se nachází hluboko pod antarktickým ledem ve vrtech dosahujících do hloubky až 2450 metrů. V ledu je zamrzlých 5 160 fotonásobičů, které monitorují záblesky vzniklé interakcí neutrin s vodou.

VLA (*Very Large Array*) je síť 27 radioteleskopů poskládaných do tvaru písmene Y umístěná v Socorro v Novém Mexiku. Průměr jedné antény je 25 metrů, hmotnost 230 tun. Elektronicky zpracovaná data poskytují rozlišení odpovídající základně 36 kilometrů a citlivost odpovídající jednomu dalekohledu o průměru 130 metrů. Síť provozuje *National Radio Astronomy Observatory* (NRAO) od roku 1980.

VLBA (*Very Large Baseline Array*) je síť deseti radioteleskopů rozmístěná od Havajských po Panenské ostrovy s délkou základny 8 600 km. Průměr každé antény je 25 m, provozovatelem je National Science Foundation se sídlem v Novém Mexiku. Síť je v provozu od roku 1993.

Pierre Auger je dosud největší projekt pro sledování kosmického záření, pojmenovaný podle objevitele spršek kosmického záření. Observatoř obsahuje celkem 24 fluorescenčních detektorů a 1 600 Čerenkovových detekčních stanic pokrývajících území 3 000 km². Jako vhodné místo byla zvolena Argentina, oblast Pampa Amarilla, což je polovyprahlá planina v blízkosti města Malaragüe. Do projektu, jehož realizace započala v roce 2005, je zapojena i Česká republika. Observatoř je v plném provozu od roku 2007.

VIRGO je největší evropský interferometr pro hledání gravitačních vln s délkou ramen 3 km. Je umístěn u vesničky Cascina, 10 km od italské Pisy proslulé svou šikmou věží. Na koncích ramen jsou zavěšena zrcadla, od kterých se odrazí laserový paprsek. Poloha těchto zrcadel je velmi přesně monitorována.

IceCube (ledová krychle, ve skutečnosti hranol) je detektor neutrin zamrzlý hluboko v antarktickém ledu. Nachází se v blízkosti Amundsenovy-Scottovy základny, vyrostl v roce 2010. V kilometru krychlovém ledu je zamrzlých 5 160 fotonásobičů, které detekují Čerenkovovo záření nabitých částic vznikajících interakcí neutrin s atomovými jádry v molekulách ledu. Nový detektor nevyrostl na „zelené louce“. Vznikl zvětšením předchozího detektoru AMANDA a umožní další rozvoj neutrinové astronomie.

11.6 Z oběžné dráhy – Hubbleův dalekohled

Hubbleův dalekohled je největší optický dalekohled obíhající Zemi. Původně byl nazván „Kosmický dalekohled“, později pojmenován podle Edwina Powella Hubblea. Byl koncipován jako trvalá družicová observatoř, která slouží mezinárodní astronomii od roku 1990. Vznikl spoluprací americké NASA a Evropské kosmické agentury ESA. Průměr primárního zrcadla tohoto přístroje je 2,4 metru. Hubbleův dalekohled je ikonou současné astronomie a jeho fotografie z blízkého i ze vzdáleného Vesmíru se hluboko vryly do povědomí široké veřejnosti.

Hubbleův vesmírný dalekohled (HST, Hubble Space Telescope). Návrh na stavbu kosmického dalekohledu podala v roce 1962 skupina astronomů pod vedením prof. Lymana Spitzera z Princetonu. Konečný návrh předložila skupina vědců z 38 ústavů až v roce 1977. Dalekohled byl dokončen v roce 1985. Na oběžnou dráhu měl být dalekohled vynesena v roce 1986 raketoplánem. Havárie raketoplánu Challenger v lednu toho roku však posunula vypuštění o čtyři roky.

Když byl 25. dubna 1990 dalekohled úspěšně vynesena raketoplánem Discovery na oběžnou dráhu, bylo zjištěno, že hlavní zrcadlo dalekohledu je chybně vybroušeno (bylo příliš ploché). Okraj zrcadla byl při broušení snížen o 0,002 mm. Bod se zobrazoval jako rozmazaná malá skvrnka a rozlišovací schopnost se tím značně zhoršila. Chybu napravili astronauti po třech letech při prvním servisním letu. Širokoúhlovou kameru vyměnili za dokonalejší a byl přidán korekční člen (COSTAR, „brýle“), který vykompenzoval vadu hlavního zrcadla pro ostatní tři přístroje. Rozlišovací schopnost se tím podstatně zlepšila.

Hubbleův dalekohled má hmotnost 12 tun. Obíhá Zemi ve výšce 600 km jednou za 95 minut. Je to Ritcheyův-Chrétienův teleskop. Hlavní zrcadlo je z křemene s velmi malou teplotní roztažností, jeho hmotnost je 820 kg a průměr 2,4 m. Nerovnosti na povrchu zrcadla nepřesahují 10 nm. Je pokoveno tenkou vrstvou čistého hliníku, která velmi dobře odráží světlo. Nad ní je ještě tenčí vrstva fluoridu hořčnatého, která chrání hliník před oxidací a odráží ultrafialové záření. Dalekohled pozoruje ve viditelném světle, v ultrafialovém a v infračerveném záření. Ve vzdálenosti 5 m od hlavního zrcadla je umístěno pomocné (sekundární) zrcadlo. Má průměr 30 cm. Odráží dopadající paprsky zpět do otvoru v hlavním zrcadle. K nasměrování dalekohledu slouží katalog obsahující údaje o 19 milionech hvězd. Čidla udržují směr dalekohledu s vysokou přesností (setiny úhlové vteřiny) i během mnohahodinových expozic.

NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) je americký Národní úřad pro letectví a kosmonautiku. Byl založen v roce 1958. Jde o instituci zodpovědnou za kosmický program USA. K nejznámějším projektům patří mise Apollo.

11.7 Voyager

Voyager znamená doslova cestovatel nebo mořeplavec. Stejně jméno nesou dvě kosmické sondy, jejichž cílem bylo zblízka zkoumat obří planety, jejich měsíce a prstence. Sondy byly vypuštěny v roce 1977. V roce 1979 minuly Jupiter, přičemž pořídily snímky jeho měsíců a objevily Jupiterovy prstence. Kolem Saturnu prolétaly v letech 1980 a 1981. Snímaly obrázky nejen samotné planety, ale také Saturnovy prstence a Saturnovy měsíce. Voyager 2 pokračoval dále k Uranu, k němuž se dostal v roce 1986, a pak k Neptunu, kam dolétl v roce 1989.

Nyní směřují obě sondy ven ze Sluneční soustavy směrem do Oortova oblaku komet a dále do mezihvězdného prostoru. Jejich posledním úkolem je zjistit, kde je hranice heliosféry. Na palubě nesou pozlacenou měděnou desku o průměru 30 cm, která má být poselstvím pro případné nálezy sondy. Kromě instrukcí, jak plaketu přehrát, obsahuje zvukový i obrazový materiál o planetě Zemi. Jsou na ní přirozené zvuky (vítr, bouře, ptáci a jiná zvířata), hudební ukázky z různých kultur, pozdravy v 55 jazycích (i v češtině) a přes sto obrazů dokumentujících život na Zemi. Životnost nahrávky je odhadována na miliardu roků – takže je jakási pravděpodobnost, že poselství od pozemšťanů by nějaký mimozemšťané mohli nalézt.

Voyager – viz snímek 1.15.

Kuiperův pás – viz snímek 5.2.

Oortův oblak – viz snímek 5.2.

11.8 Současné sondy – Sluneční soustava

V dnešní době křižují Sluneční soustavu desítky sond a je obtížné vybrat ty nejdůležitější. Podívejme se na tři z nich, které jsou určeny přímo k výzkumu těles Sluneční soustavy. Do nejvzdálenějších oblastí, směrem k Plutu, letí sonda New Horizons. Startovala v roce 2006 a k Plutu doletí v roce 2015, tedy po devítileté cestě. Bude zkoumat nejen trpasličí planetu Pluto, ale i další tělesa Kuiperova pásu. Opačným směrem je zaměřena sonda Solar Dynamics Orbiter, zkratkou SDO, která zkoumá Slunce od roku 2010 za pomoci čtyř dvacetimetrových dalekohledů, a to hned v deseti spektrálních oborech. Jde o jeden z nejdokonalějších přístrojů pro výzkum Slunce, který kdy lidstvo mělo. Posledním pomocníkem na tomto snímku je vozítko Curiosity. Brázdí povrch Marsu od srpna 2012. Provádí komplexní výzkum. Jde o skutečnou vědeckou laboratoř dopravenou na Mars. Mimo jiné se snaží najít projevy případného martánského života. Otázka přítomnosti mikroorganismů na Marsu je stále otevřená.

New Horizons – viz snímek 6.7.

SDO (Solar Dynamics Orbiter) – viz snímky 4.8, 4.34.

Curiosity je marsovské vozítko, které je součástí americké mise Mars Science Laboratory. Po povrchu Marsu se prohání od srpna 2012. Je to pojízdná laboratoř již třetí generace, která je mnohem větší než všichni předchozí průzkumníci. Laboratoř nese také mnohem složitější vybavení a je schopná přímého průzkumu hornin a zemin, který provádí několika rozdílnými metodami v uzavřeném prostředí s přesně kontrolovatelnými vlastnostmi. Laboratoř Curiosity je vybavena 17 kamerami, z nichž klíčové jsou tři systémy – kamera MastCam s vysokým rozlišením umístěná na stožáru, přístroj MAHLI na robotickém rameni, který je schopný snímat detaily velké jen 12,5 μm a přístroj MARDI určený pro detailní záznam povrchu při přistávacím manévru. Dalším typem výbavy jsou čtyři analytické experimenty, jejichž klíčovými přístroji jsou zejména spektrometry. Tyto experimenty jsou navrženy k detailnímu geologickému a atmosférickému průzkumu. ChemCam ostřeluje laserem horniny a analyzuje odpařený materiál. APXS analyzuje složení hornin pomocí rentgenové spektroskopie a ostřelováním hornin částicemi alfa. Prostřednictvím experimentu CheMin by mělo být možné rozlišit detailní chemické složení minerálů, které v sobě váží vodu. Bylo by tak možné usuzovat na její přítomnost v době, kdy horniny vznikaly. Klíčovým fyzikálně chemickým experimentem je SAM, cca 40 kg velký komplex, velikosti mikrovlnné trouby, vybavený plynovým chromatografem a dvěma spektrometry. SAM obsahuje pec, ve které jsou vybrané vzorky půdy vyžehány při teplotě 1 000 $^{\circ}\text{C}$ a následně jsou analyzovány výsledky tohoto děje. Experiment je určen zejména pro vyhledávání organických uhlíkatých molekul a sloučenin. Curiosity je dále vybavena dvěma detektory radiace DAN a RAD, přístrojem MEDLI pro průzkum atmosféry při sestupném manévru a analyzátozem REMS měřícím fyzikální charakteristiky prostředí, ve kterém se laboratoř nachází. Curiosity je komplexní pojízdná laboratoř, která by měla být schopná nashromáždit velmi detailní poznatky o povrchovém složení Marsu a o jeho atmosféře v místech, kde se zrovna pohybuje.

11.9 Současné sondy – vzdálený Vesmír

Mnoho sond také zkoumá vzdálenější oblasti Vesmíru. Opět si prohlédněte tři z nich. Planck je evropská sonda, která zkoumá Vesmír v mikrovlnné oblasti. Startovala v roce 2009 a pořídila unikátní záběry reliktního záření, chladných zákoutí Vesmíru, chladného plynu a prachu, ze kterého se rodí hvězdy a planety. Primární zrcadlo má rozměr 1,5 metru a sonda je umístěna v Lagrangeově bodě L2, 1,5 milionu kilometrů za Zemí směrem od Slunce. V dolní části si prohlédněte Herschel – evropský dalekohled pro in-

fračervený obor. Jeho zrcadlo má průměr 3,5 metru a jde o největší dalekohled vynesený lidstvem do Vesmíru. Fungoval od roku 2009 do roku 2013, kdy došlo kapalně helium nutné ke chlazení přístroje. Podrobně mapoval vznik hvězd a sledoval nejvzdálenější galaxie, jejichž světlo bylo expanzí Vesmíru posunuto do infračervené oblasti. Napravo vidíte přístroj pro opačný konec spektra. Americká observatoř Chandra je určena pro výzkum Vesmíru v rentgenovém záření. Sleduje děje v okolí černých děr, aktivních jader galaxií nebo horká oblaka plazmatu. Observatoř funguje od roku 1999.

Planck je mikrovlnná observatoř Evropské kosmické agentury, která byla vynesena do Vesmíru 14. května 2009. Je určena k výzkumu fluktuací reliktního záření a monitorování Vesmíru v mikrovlnné oblasti. Má úhlovou rozlišovací schopnost 5' a teplotní citlivost 2 μ K při frekvenčním pásmu 30 až 857 GHz. Zrcadlo sondy má rozměry 1,9×1,5 m a teplota nejchladnější části ohniska je 0,1 K. Sonda je pojmenována podle významného kvantového fyzika Maxe Plancka. Je umístěna v Lagrangeově bodě L2 soustavy Země-Slunce. Na konci roku 2011 přestalo fungovat chlazení, a proto byla zastavena činnost vysokofrekvenční části detektorů.

Herschel je infračervená observatoř Evropské kosmické agentury, která byla vynesena do Vesmíru 14. května 2009 (spolu se sondou Planck). Jde o obří infračervenou observatoř se zrcadlem o průměru 3,5 metru, která byla umístěna do Lagrangeova bodu L2 soustavy Země-Slunce. Observatoř pokrývá obor vlnových délek od 55 μ m do 672 μ m a je pojmenována po vynikajícím anglickém astronomovi a objeviteli infračerveného záření Williamu Herschelovi. V současnosti jde o vůbec největší dalekohled umístěný lidstvem ve Vesmíru. Původně tříletá mise byla prodloužena až do roku 2013, kdy došlo kapalně helium nutné pro chlazení detektorů.

Chandra – viz snímek 9.27.

Librační centra (Lagrangeovy body) – viz snímek 4.9.

11.10 ② Co jsme?

Náš organizmus je obdivuhodná soustava dvou druhů kvarků („u“ a „d“) a elektronů. Jsme tedy vybudováni ze stejného materiálu jako Slunce, planety, hvězdy a galaxie. Obrazně řečeno: Jsme uhnětení ze stejného těsta, ale byli jsme interakcemi jinak zformováni. Hmotnou stránkou našeho bytí jsme zkrátka částíčkou Vesmíru a článkem v jeho vývoji. Vztah člověka k Vesmíru je otázkou všech lidí. Otázku Polynésanů z obrazu Paula Gauguina se podařilo vědě zodpovědět až v minulém století.

Eugène Henri Paul Gauguin (1848–1903) byl francouzský malíř, jeden z nejvýznamnějších představitelů postimpresionizmu. Největšího ocenění dosáhl až po své

smrti. Jeho práce ovlivnila Pabla Picassa, Henriho Matisse a další moderní umělce. Byl také sochařem a nadšeným cestovatelem (navštívil Jižní Ameriku, Tichomoří atd.)

11.11 Ve stavebninách Vesmíru

Všechna tělesa a objekty ve Vesmíru jsou systémy elementárních částic spojených interakcemi. Dům je vybudován z cihel spojených maltou. Vesmír je vybudován z elementárních částic spojených interakcemi. Elementární částice tvořící látku lze rozdělit na dvě skupiny: kvarky a leptony. Z kvarků jsou vybudovány složené částice. Mezi ně patří především neutron a proton, částice atomového jádra. Obsahují kvarky „d“ a „u“. Druhou skupinou jsou leptony. Je to elektron a jeho příbuzní. Celý svět kolem nás je vybudován z částic v prvním sloupci: kvarků „d“ a „u“ a elektronů. Ostatní částice nalezneme jen při vysokých energiích – v urychlovacích částic, v kosmickém záření nebo v okolí černých děr. Skupinka částic napravo je jakýmsi pojivem, představují polní částice, které jsou zodpovědné za silové působení. Písmenem γ je označen foton, polní částice elektromagnetické interakce, která drží atomární obal kolem jádra. Písmenem g jsou označeny gluony, polní částice, které drží pohromadě atomové jádro. A písmeny W a Z jsou označeny polní částice slabé interakce, známe je například z radioaktivního rozpadu beta. Uprostřed je Higgsova částice, ta je zodpovědná za hmotnost všech ostatních částic.

Všechna hmota v pozorovaném Vesmíru je složena ze tří druhů subatomárních částic spoutaných do věcí čtyřmi interakcemi. Stavební materiál všech věcí je obdivuhodně jednoduchý. A přesto jsme svědky velké rozmanitosti a krásy, která je z elementárních částic vytvořena: krystaly nerostů, barvy a tvary květín i motýlů, krajiny a vesmírné objekty. Všechna rozmanitost kolem nás i ve Vesmíru byla vytvořena z elementárních částic pomocí čtyř základních sil (interakcí): silné, slabé, elektromagnetické a gravitační. Při spojování částic do systémů interakce „ždímají energii“ z jejich klidové energie. Vyždímaná energie se nazývá vazebná. Ochraňuje totiž systém před vnějším působením a zaručuje jeho stabilitu. Kdybychom chtěli systém rozložit na elementární částice, museli bychom mu vrátit jeho vazebnou energii. Například do jádra hélia bychom museli vrátit 28 MeV, protože při vzniku každý ze čtyř protonů odevzdal 7 MeV „jako vstupné“.

Stavebním materiálem připraveným po prvé miliontině sekundy byly a zůstaly protony, neutrony a elektrony. Byly nazvány elementární částice a název jim zůstal – přesto, že se později ukázalo, že proton a neutron jsou systémy jednodušších složek – tří kvarků držených pohromadě silnou interakcí (výměnou gluonů). Název elementární částice používáme nadále – přestože se mění jeho význam. Podobně zůstává i název atom – řecky nedělitelný – přesto, že je to někdy značně složitý systém (například

atom uranu). Kvadrilion (10^{24}) protonů nebo neutronů má hmotnost jeden gram. Elektron je ještě dvatisícekrát méně hmotný než proton. Představíme-li si atom vodíku o průměru 10 km, jeho jádro bude mít velikost míče a v něm se prudce pohybují tři kvarky o velikosti desetiny milimetru. Mezi kvarky přebíhají hmotné částice gluony, které je pevně vážou do protonu. Tato vazba kvarků prostřednictvím gluonů se nazývá silná interakce.

Za velmi vysokých teplot (deset bilionů K, například na počátku Velkého třesku nebo při srážce v mohutných urychlovačích částic) mohou být kvarky samostatné. Poprvé byla tato forma látky připravena v Evropském středisku jaderného výzkum CERN v roce 2000. Říkáme jí kvarkové-gluonové plazma a ve Vesmíru se vyskytovala v časech kratších než jedna mikrosekunda. Když teplota Vesmíru poklesla na deset bilionů stupňů (10^{13} K), všechny kvarky se pospojovaly do protonů a neutronů. To se stalo v prvních deseti mikrosekundách po vzniku Vesmíru.

Největším zázrakem v našem světě je jednoduchost. Náš svět a celý Vesmír byly vybudovány jenom ze tří druhů částic, které jsou spojeny do věcí jen čtyřmi silami. Zrnko písku, sedmikráska, sluníčko sedmítečné, náš mozek, všichni lidé, planeta Země, Slunce, hvězdy, Mléčná dráha – zkrátka vše co vidíme – je jenom ze dvou druhů kvarků a z elektronů. Kvarky a elektrony se přitahují (říká se „interagují“) silou jadernou, elektromagnetickou a gravitační.

11.12 Člověk je složitý systém

Z materiálního hlediska je člověk systémem orgánů, orgány jsou systémy tkání, tkáně jsou systémy buněk, buňky jsou systémy organel, organely jsou systémy molekul, molekuly jsou systémy atomů, atomy jsou složeny z jader a elektronů, jádro je systémem nukleonů a každý nukleon je systémem tří kvarků. Naše tělo je složitý systém, který se skládá z deseti tisíců kvadrilionů kvarků a elektronů. Jeho zformování ve Vesmíru trvalo téměř 14 miliard roků.

Člověk jako složitý systém – viz také snímek 10.27.

11.13 Antropický princip

Kdyby se některá z nejdůležitějších konstant určujících vývoj Vesmíru jen nepatrně odchylovala od své hodnoty, vývoj Vesmíru by k životu našeho typu nemohl dospět. Tento fakt mnoho vědců fascinuje a turzení, že Vesmír má takové parametry, aby přesně vyhovoval člověku, je základem tzv. antropického principu. Ten má mnoho skalních příznivců i od-

půrců. Existuje-li více vesmírů současně, žijeme právě v tom, kde se mohl vyvinout život našeho typu, a proto se nemůžeme divit, že parametry našeho Vesmíru jsou právě takové, aby mohl vzniknout život. Na části molekuly DNA, na kterou se díváte, je zeleně znázorněn uhlík, modře dusík, červeně kyslík a žlutě fosfor. Odlišná hodnota gravitační konstanty, rychlosti světla nebo Planckovy konstanty by vznik molekuly DNA neumožnila.

Antropický princip – viz snímek 10.31.

Různé formulace antropického principu – viz snímek 10.31.

11.14 ③ Kdo jsme?

Nejsložitější součástí lidského těla je mozek. Nachází se v něm 100 miliard nervových buněk, tzv. neuronů. Každý neuron je spojen tisíci vlákny s ostatními neurony. A přesto je mozek celkem složen ze stejných protonů, neutronů a elektronů jako kámen, který váží 1,5 kg. Člověk je ale, na rozdíl od kamene, rozumná a tvůrčí bytost, ve které je spojen duch s hmotou.

Neuron je vysoce specializovaná nervová buňka, která je základní jednotkou nervové tkáně. Neuron zpracovává a přenáší informace z vnitřního i vnějšího prostředí. V roce 1837 poprvé popsal český fyziolog Jan Evangelista Purkyně (1787–1869) Purkyněovy buňky v mozečku a nezávisle na něm objevil neurony španělský lékař Santiago Ramón y Cajal (1852–1934).

11.15 Místo spojení těla a ducha v mozku

Podle dávné moudrosti předků je člověk bytost rozumná, v níž jsou spojeny (hmotné) tělo a (nehmotná) duše. Kde je ono spojení v jedinou osobnost? Místo spojení hmotného těla a nehmotného ducha bylo odborníky přesně určeno. Je v mozku. Určil ho nositel Nobelovy ceny za výzkum mozku australský profesor John Eccles. Jasně pojednání srozumitelné i neodborníkovi je v knize „The Self and its Brain“, kterou napsali Sir John Eccles a Sir Karl Popper.

Homo creatura rationalis est, in qua corpus et anima coniuncti sunt.

Sir John Carew Eccles (1903–1997) byl australský neurofyziolog, nositel Nobelovy ceny za lékařství a fyziologii z roku 1963. Eccles objevil chemickou synapsi, neurofyziologickou podstatu mišních reflexů, popsal funkci mozečku a poukázal na vztah mezi ději v nervové soustavě a kybernetikou.

Sir Karl Raimund Popper (1902–1994) byl anglický filozof rakouského původu. V roce 1937 emigroval na Nový Zéland, od roku 1945 žil v Anglii. V roce 1992 získal Kjótskou cenu za mimořádný vliv na formování moderního intelektuálního klimatu. Je považován za jednoho z nejvýznamnějších filozofů a teoretiků vědy 20. století.

11.16 ④ Kde jsme ve Vesmíru?

Nacházíme se na planetě Zemi, která je součástí Sluneční soustavy. Země obíhá kolem Slunce v obyvatelné zóně, ve vzdálenosti 150 milionů kilometrů od Slunce. Slunce je jednou z mnoha hvězd Mléčné dráhy, obíhá 26 tisíc světelných roků od jejího středu. Mléčná dráha je jednou z galaxií Místní skupiny galaxií. Sem patří například i velmi známá Velká galaxie v Andromedě. Místní kupa galaxií spolu s dalšími kupami, například Kupou v Panně, tvoří nadkupu galaxií, které říkáme naše Supergalaxie. Supergalaxie neboli nadkupy galaxií jsou největší známé struktury ve Vesmíru.

11.17 Země

Země je naším domovem ve Vesmíru. Planeta Země byla domovem našich předků, je domovem naším i domovem generací příštích. Pluje s námi tiše nekonečným Vesmírem. Na snímcích vidíme nejen její nádheru, ale i křehkost. Jednou z mnoha družic, které přispěly k poznání Země, byla evropská družice Envisat, která sledovala Zemi od roku 2002 do roku 2012. Byla vybavena unikátní kombinací deseti přístrojů shromažďujících data o zemské atmosféře, zemském povrchu, mořích a ledu.

Země je největší z planet zemského typu. Je zatím jedinou planetou v celém Vesmíru, o které víme, že na ní existuje život. Má dostatečně hustou atmosféru, dostatek kapalné vody v povrchových oceánech. Kolem Země obíhá jediný měsíc s vázanou rotací. Při pozorování Země z kosmu vidíme hlavně modrou barvu oceánů. 70 % povrchu Země je pokryto oceány, 30 % tvoří kontinenty. Země sestává z těchto vrstev: jádro, plášť, kůra, troposféra, stratosféra, mezosféra, termosféra. Plášť a kůra jsou odděleny tzv. Mohorovičovým rozhraním. Kůra se posouvá a „plave“ na polotekutém plášti. Teplota v centru Země je 5 100 °C, tlak 360 GPa. Magnetické pole Země má přibližně dipólový charakter, je deformováno slunečním větrem do typického tvaru protáhlé magnetosféry. Podrobně je Zemi věnována 2. prezentace. Základní údaje o Zemi naleznete v sekci Tabulky.

Envisat (*Environmental Satellite*) je družice Evropské kosmické agentury, která se do Vesmíru dostala v roce 2002. Byla vybavena unikátní kombinací deseti přístrojů,

kteřé shromažďovaly data o zemské atmosféře, zemském povrchu, mořích či ledu – vědci tak získávali nejdetailnější možnou představu o stavu naší planety. Původně měla družice pracovat pět let, ale později bylo přijato rozhodnutí prodloužit její misi do roku 2010. Nakonec s ní bylo ztraceno spojení až v roce 2012, takže pracovala celé desetiletí. Envisat je největší postavenou observatoří pro sledování Země. Největším přístrojem na družici byl radar ASAR, který sledoval oblast buď o šíři 100 km, nebo 400 kilometrů s rozlišením 30 až 150 metrů. Hmotnost družice byla 8 211 kg, létala na polární dráze ve výšce necelých 800 km nad Zemí.

11.18 Kosmická měřítka

Země je jednou z osmi planet Sluneční soustavy. Mezi drahou Jupiteru a Marsu je pás planetek. Na prostředním snímku v horní řadě je vyznačena i protáhlá dráha Halleyovy komety s ohonem směřujícím od Slunce. Světlý spodní pruh je okrajem Mléčné dráhy. Pás mnoha malých těles mezi Marsovou a Jupiterovou drahou je pás planetek. Sluneční soustava je spolu se Sluncem součástí Mléčné dráhy, naší Galaxie. Naši Galaxii samozřejmě nemůžeme vyfotografovat zvenku. Napravo vidíte snímek galaxie, která se té naší podobá. Takto nějak bychom naši Galaxii pozorovali, pokud bychom bydleli ve Velké galaxii v Andromedě. Mléčná dráha, Velká galaxie v Andromedě a několik desítek dalších galaxií tvoří Místní skupinu galaxií. Ta je spolu s jinými kupami součástí naší nadkupy galaxií, které říkáme Supergalaxie. Její střed se nachází v Kupě galaxií v Panně.

Rotace Galaxie unáší Sluneční soustavu k levému křídлу Labutě (směrem k hvězdě Epsilon Cygni) rychlostí 230 km s^{-1} . Jeden oběh Sluneční soustavy kolem středu Mléčné dráhy trvá 240 milionů roků. Souhvězdí Labutě můžeme vidět v létě v Mléčné dráze, vysoko nedaleko nadhlavníku (zenitu). Labuť letí Mléčnou drahou k obzoru. Naši Galaxii vidíme ze Sluneční soustavy jako mléčnou dráhu – bílý stříbřitý pás hvězd táhnoucí se napříč celou oblohou. Střed Galaxie se nachází v souhvězdí Štřelce, zde je mléčná dráha nejbohatší. Ve středu Galaxie se nachází velmi hmotná černá díra (její hmotnost je 4×10^6 Sluncí). Pokud chápeme spojení Mléčná dráha jako název naší Galaxie (a nikoli jen jako stříbřitý pás na obloze), píšeme ho s velkým M.

11.19 Naše Supergalaxie

Naše Supergalaxie neboli Místní nadkupa galaxií je systém mnoha kup a malých hnízd galaxií. Průměr Supergalaxie je 150 milionů světelných roků. Ve středu Supergalaxie je velká Kupa galaxií v souhvězdí Panny. Od nás je vzdálená 60 milionů světelných roků. Naopak, od okraje Supergalaxie nás dělí 15 milionů světelných roků. Nadkupy galaxií

jsou největší viditelné struktury ve Vesmíru, soustředí se do obřích ploch a vláken velko-rozměrové struktury Vesmíru.

Supergalaxie neboli nadkupa galaxií je systém galaxií a kup galaxií. Rozměry supergalaxií jsou řádově stamiliony světelných roků. Na obloze se různé supergalaxie vzájemně překrývají, neboť jsou v různé vzdálenosti od nás. O přináležitosti galaxií a galaktických kup k té či oné supergalaxii rozhoduje velikost červeného kosmologického posuvu galaxií. Velké supergalaxie (například v Perseu) jsou protažené. Tvoří vlákna a kosmické stěny, které obklopují obrovské dutiny kosmické prázdnoty. Naši Supergalaxii označujeme velkým písmenem S na počátku. Obsahuje Místní skupinu galaxií a v jejím středu se nachází Kupa galaxií v Panně.

11.20 Temná hmota

Celkovou strukturu Vesmíru ale určují mohutná vlákna temné hmoty, která optickými přístroji nevidíme. V počítačové simulaci, na kterou se díváte, jsou vlákna temné hmoty fialová a atomární látka je žlutá. Temná hmota tvoří celých 27 procent hmoty a energie ve Vesmíru, atomární látka pouhých 5 procent. Temná hmota působí gravitačně na atomární látku, stahuje ji do větších shluků a křížení vláken temné hmoty. Právě tam se nacházejí galaxie a kupy galaxií. Temná hmota deformuje galaxie a zkresluje jejich obrazy. Z těchto zkreslení můžeme dopočítat rozložení temné hmoty ve Vesmíru. Temná hmota je tvořena pro nás exotickými částicemi, které se pokouší hledat několik desítek experimentů na celém světě.

O uspořádání Vesmíru v největším měřítku rozhoduje především gravitace temné (skryté) hmoty. Ta má obrovskou vláknitou strukturu, kterou sleduje svítící atomární (baryonová) hmota. Temná hmota neinteraguje ani elektromagnetickou, ani silnou interakcí, projevuje se jen gravitací a pravděpodobně slabou interakcí. Proto nezáří a prostupuje bez překážky obyčejnou hmotou. O její přítomnosti svědčí deformace vzdálených galaxií a zkreslení jejich obrazu.

Temná hmota je látka nebaryonové povahy, která není složena z kvarků. Temná hmota udržuje pohromadě svítící objekty velkých rozměrů, které díky ní v periferních oblastech obíhají rychleji, než odpovídá gravitačnímu zákonu aplikovanému na viditelnou hmotu. Tvoří několikanásobek hmotnosti baryonové látky galaxií a 27 % hmoty a energie ve Vesmíru. Existuje několik hypotetických částic, které jsou vhodnými kandidáty na částice temné hmoty (wimpy, axiony, chameleony), dosud však nebyly objeveny. Termín „temná hmota“ zavedl v roce 1933 Fritz Zwicky, když zjistil, že se členové Kupy galaxií ve Vlesech Bereniky pohybují v průměru rychleji, než by odpovídalo gravitačním účinkům viditelné látky.

11.21 ⑤ Kdy jsme v dějinách Vesmíru?

Nepochybně nás napadají otázky spojené s obdobím, ve kterém žijeme. Jak dlouho je zde Země nebo Vesmír? A v kterém údobí jejich existence žijeme? Podle našich znalostí vznikl Vesmír před 13,8 miliardami let. O 400 milionů let později, tedy před 13,4 miliardami let vznikly první hvězdy. Mezi ně ale nepatřilo naše Slunce. Látka pro naše Slunce i planety vznikla při explozi supernovy před přibližně 7 miliardami let. Ze zárodečné pramlhoviny vzniklo před pěti miliardami let Slunce a před 4,5 miliardami let naše Země. Poslední společný prapředek veškerého života se objevil někdy před necelými 4 miliardami let. Tento předchůdce mikroorganismů se v angličtině označuje zkratkou LUCA z Last Universal Common Ancestor.

LUCA (*Last Universal Common Ancestor*) je hypotetický poslední společný předek všech organismů. Pravděpodobně šlo o jednobuněčný organizmus, který se rozmnožoval nepohlavně a žil ve vodě. Jeho genetický kód byl založený na DNA.

LUCA – viz také snímky 11.24, 12.7, 12.27.

11.22 Jak vznikl Vesmír

Vesmír vzniknul před 13,8 miliardami roků obrovskou explozí – Velkým třeskem. V ní vznikl čas, prostor a energie. Zůstává tajemstvím, co spustilo tuto nesmírnou explozi, jejíž rozpínání pokračuje dosud. V počáteční fázi ve Vesmíru dominovalo záření. Přibližně v jedné stotisícině sekundy vznikly první neutrony a protony. Z nich se v několika minutách tvořila první lehká atomární jádra. Atomární obaly vznikly o mnoho později, až 400 000 let po vzniku Vesmíru. V téže době skončilo zářivé období a ve Vesmíru začala dominovat látka. První galaxie a hvězdy vznikaly přibližně 400 milionů let po vzniku Vesmíru. Zhruba v polovině existence Vesmíru převládla ve Vesmíru nad látkou temná energie a Vesmír se začal rozpínat zrychlenou expanzí. Teprve v éře zrychlené expanze vzniklo naše Slunce, planety, Země a život na ní.

Jak vznikl Vesmír – viz také snímek 10.20.

Vesmírné éry. V různých údobích Vesmíru dominovaly různé entity. To je způsobeno tím, že každá entita reaguje na expanzi jinak. Například hustota záření (reprezentovaného polními částicemi s nulovou klidovou hmotností) klesá se čtvrtou mocninou rostoucích rozměrů Vesmíru. Látka samotná (reprezentovaná částicemi s nenulovou klidovou hmotností) řídne pomaleji, její hustota klesá se třetí mocninou rostoucích vzdáleností mezi objekty ve Vesmíru. Mezi látku řadíme jak atomární látku, tak temnou hmotu. Hustota temné energie reaguje na expanzi minimálně,

zůstává přibližně stejná. V počátečním období dominovalo záření, hovoříme o tzv. éře záření. Prudký pokles hustoty záření způsobil, že 400 000 let po vzniku Vesmíru klesla hustota energie záření pod hustotu energie látky. Započala éra látky. Přibližně v polovině existence Vesmíru poklesla hustota látky pod hustotu temné energie a započala éra temné energie (zrychlené expanze).

11.23 Protoplanetární disk Slunce

Kolem mladých nebo rodičích se hvězd jsou zploštělá oblaka plynu a prachu, která se otáčejí. Říkáme jim protoplanetární disky neboli proplydy. V proplydech se tvoří planety a jiná tělesa planetárních soustav. Podle pozorování infračervené družice ISO je většina mladých hvězd obklopena protoplanetárním diskem. Takový disk obíhal asi před 4,7 miliardami roků kolem našeho Protoslunce, v něm vznikly planety, komety a planetky. Levá polovina od Slunce je na obrázku symetrická s pravou. Teplota klesá se vzdáleností od Slunce. Diskem dul velmi silný sluneční vítr. Ten vyfoukal lehké plyny, jako jsou vodík, hélium, voda, čpavek nebo metan daleko od Slunce. Tam vznikaly plynné obří planety Jupiter, Saturn, Uran a Neptun. Dnes víme, že z míst, kde vznikaly, migrovaly do míst, kde je dnes pozorujeme. Ve vnitřní části disku vznikaly z částic těžkovatelných látek kamenné planety včetně naší Země. Ve spodní části je znázorněno složení protoplanetárního disku vznikající Sluneční soustavy.

Protoplanetární disky – viz snímky 2.8 a 4.7.

Jak vznikala Sluneční soustava? – viz snímek 6.23.

11.24 Organizmy

Příprava Vesmíru pro první živý mikroorganizmus na Zemi trvala 10 miliard roků po Velkém třesku. Objevil se tu 3 miliardy roků po výbuchu mateřské supernovy, která vytvořila chemické prvky pro Sluneční soustavu, což je jednu miliardu let po vzniku Slunce a přibližně půl miliardy roků po vzniku Země. Tedy život je tu 4 tisíce milionů roků. My lidé – živočišný druh Homo – jsme tu jen zhruba 2,5 milionů let. Jak už víme, poslední společný předchůdce organismů se nazývá LUCA. Není jasné, zda vzniknul na Zemi, v protoplanetárním disku, a nebo byl zavlčen na Zemi z jiné planetární soustavy.

Jsou dva různé názory na to, jak se poslední společný předchůdce organismů LUCA (*Last Universal Common Ancestor*) na vychládající Zemi před 4 miliardami roků objevil. Dodnes není jasné, který z nich je správný.

1. Vznikl na Zemi seskupením organických molekul vytvořených mezi hvězdami, v protoplanetárním disku nebo na Zemi. Tyto molekuly sem mohly zanést komety spolu s vodou. To je názor tzv. *autogeneze* neboli samoplození (názor Haldena a Oparina o vzniku života, který v primitivní podobě vyslovil už Aristoteles ve čtvrtém století př. n. l.).
2. Byl do Sluneční soustavy donesen z jiné planetární soustavy. To je názor zvaný *panspermie*. Úlohu při přenosu by opět mohla mít kometární jádra.

Ať tak či onak, jsme vývojovým článkem – jedním živočišným druhem a jedním z mnoha milionů druhů živých tvorů vůbec.

11.25 Zánik Slunce

Po vyčerpání vodíku v jádru a jeho přeměně v hélium se Slunce bude zvětšovat a chladnout na povrchu. Změní se v rostoucího červeného obra. Pro pozemšťany sluneční disk poroste a bude měnit barvu v oranžovou a červenou. Obloha nebude modrá, ale tmavě červená, jak ji někdy vidáme při západu Slunce. Na Zemi poroste teplota. Roztají polární ledy a ledovce v horách. Vzroste hladina všech oceánů. Ohřátí povrchu i atmosféry povede k intenzivnímu vypařování a vytvoří se mohutná vrstva oblaků. Téměř zmizí rozdíl mezi rovníkem a polárními oblastmi, takže horké vlhké skleníkové klima bude po celé Zemi. Tropické pralesy se rozšíří až k pólům.

Za více než šest miliard roků začne počátek konce naší planety. Dalším zvýšením teploty se ze Země odpaří veškerá voda a ta se stane žhnoucím peklem. Její interakce s expandující atmosférou obřího Slunce přivede k závěrečnému pádu Země do umínajícího Slunce. Po našem Slunci a Sluneční soustavě zůstane expandující planetární mlhovina a jádro bývalé hvězdy se změní na bílého trpaslíka, který bude posledním svědectvím o bývalé hvězdě – našem Slunci. Pro vyšší živočichy se Země stane neobyvatelnou mnohem dříve, podle současných odhadů to bude nejpozději za půl miliardy roků.

Zánik Slunce a slunečních soustav – viz také snímky 6.27 až 6.29.

11.26 ⑥ Jak jsme?

Člověk je nedílnou součástí Vesmíru a malým článkem jeho vývoje. Veškeré atomy, z nichž je naše tělo postavené, jsme získali z naší planety Země. Jsou nám jen propůjčeny, po smrti se vrátí do koloběhu přírody. energii pro život nám dává Slunce prostřednictvím fotosyntézy. Atomy ze Země i energii ze Slunce získává člověk v potravě.

11.27 Člověk a Vesmír

Dnešní Vesmír – kosmos – je složený z mnoha systémů, od atomů až po supergalaxie. Systém je účelné seskupení částí, které je uspořádané tak, aby tvořily funkční celek. Příkladem je náš organizmus, který byl budovaný po 13,8 miliard roků. Jsme částíčkou Vesmíru a článkem v jeho vývoji. Země nám propůjčuje pro náš organizmus atomy a Slunce potřebnou energii. Pro jeden lidský život Slunce přemění v centrální oblasti o něco méně než gram vodíku v hélium. Je to směšně málo, jestliže si uvědomíme, že každou sekundu přemění Slunce půl miliardy tun vodíku v hélium.

Člověk a Vesmír – viz také snímek 10.28.

11.28 Sluneční energie

Fotosyntéza a metabolismus jsou dva procesy, které se vzájemně doplňují. Fotosyntéza uskládá energii slunečního záření do složitých molekul bohatých na energii, například jde o cukry a škroby. V rostlinné buňce jsou chloroplasty, které obsahují přibližně 600 milionů molekul chlorofylu. Na nákrese vpravo jsou zakresleny zeleně. V potravě získáme energii ve formě chemické vazby molekul uhlovodíků. Metabolismus je látková a energetická výměna, příjem a zpracování živin. Při tom se kvalitní chemická energie potravy znehodnocuje v teplo. V mitochondriích buněk se vdechovaný kyslík slučuje s uhlíkem a vodíkem na vodu a oxid uhličitý, tedy na výchozí látky, do nichž byla sluneční energie fotosyntézou uložena. Uskladněná energie se přitom uvolní. Vodnímu životu dodává energii fotosyntéza fytoplanktonu.

Život a entropie. Atomy i energii přijímáme v potravě. Kyslík pro nás uvolňují zelené rostliny z vody fotosyntézou. Dýchání je obrácený proces než fotosyntéza, neboť okysličováním molekul potravy se uvolňuje energie, kterou do nich vložila fotosyntéza. Produkty dýchání jsou voda a oxid uhličitý – výchozí látky fotosyntézy. Původní hodnotná energie (tj. s malou entropií) v molekulách potravy je metabolismem znehodnocena (tj. na látku s velkou entropií) a uvolněná jako teplo do okolí. Život neodporuje druhé větě termodynamické – jen zpožďuje vzrůst entropie. Živé organismy jsou otevřené systémy. Druhá věta termodynamická platí jen pro uzavřené systémy – u nichž neexistuje výměna energie s okolním prostředím.

Obilné pole je uskladněná sluneční energie, kterou přijmeme ve formě potravy (jako chléb a pečivo).

Fytoplankton jsou jednobuněčné mikroorganismy v přírodních i umělých vodních nádržích. Jejich fotosyntéza dodává sluneční energii všemu živému ve vodě. Převládá-

dajícími složkami fytoplanktonu jsou řasy a sinice (cyanobakterie). Fytoplankton se vyskytuje nejen ve vodním prostředí (hydroplankton), ale i ve vzduchu (aeroplankton), v ledu a sněhu (kryoplankton).

11.29 ⑦ Proč jsme?

„Proč jsme?“ je palčivá otázka po smyslu života. Názory jsou různé a vymykají se vědeckému přístupu. Jsou záležitostí osobní víry. Věda zkoumá, z čeho jsou objekty ve Vesmíru složené, jak byly vytvořeny a jaké síly je udržují pohromadě. Otázka účelu těchto objektů, které tvoří Vesmír, je filozofickou otázkou, na kterou neznáme odpověď.

Proč jsme? – viz také snímek 10.33.

11.30 Proč jsme?

Proč jsme? Otázky tohoto druhu si fyzika neklade a neumí je zodpovídat. Ani žádná jiná z přírodních věd, které jsou pouhým popisem světa. Prostřednictvím přírodních věd nelze odpovědi po smyslu světa a života nalézat. Odpovědi filozofického rázu je možno hledat prostřednictvím ontologie. Odpovědi náboženského charakteru je možno nalézat vírou.

Proč jsme? – viz také snímek 10.33.

Na snímku je socha Mojžíše od Michelangela Buonarrotiho.

11.31 ⑧ Hmotná malost a duchovní velikost člověka

Svým tělem je člověk vzhledem k nekonečnému Vesmíru nesmírně malý. Hmotně jsme kosmičtí (a s technologickou krizí i komičtí) „nikdové“. Každý člověk je však obrovský duchovní stránkou svého bytí, poznáním a vůlí. Může poznávat stavbu onoho nekonečného Vesmíru v prostoru a jeho vývoj v čase, rozumět mu, předvídat jeho budoucnost, vymanit se z technologické krize a tvořit ve smyslu naší existence. Unikátní záběry Sluneční soustavy, na které se díváte, byly pořízeny dne 14. února 1990 kamerou na sondě Voyager 1 ze vzdálenosti 6,5 miliardy kilometrů z výšky 32 stupňů nad rovinou ekliptiky. Země byla v tu dobu pro Voyager 1 srpečkem v blízkosti Slunce, a je proto v pruhu rozptýleného světla. Merkur a Mars chybí, neboť byly v záři Slunce.

Viz také snímek 1.15.

Voyager – viz snímek 1.15.

11.32 Hmotná malost a duchovní velikost člověka

Velmi hmotná tělesa mohou sloužit jako gravitační čočky. Ohýbají totiž světlo přicházející k nám ze vzdálenějších objektů. Jako gravitační čočka může posloužit velká galaxie nebo celá obrovská kupa galaxií. Kupa na obrázku se nachází v souhvězdí Panny, nazývá se Abell 1689 a je ve vzdálenosti přes dvě miliardy světelných roků. Tato kupa posloužila jako gravitační čočka a zesílila světlo jedné z prvních galaxií s prvými hvězdami. Na snímcích ze Spitzerova a Hubbleova dalekohledu je patrná v infračerveném oboru. Jde o objekt zakroužkovaný na pravých snímcích červeně. Jeho vzdálenost je přes 13 miliard světelných roků.

Viz také snímek 8.5.

Gravitační čočka – viz snímek 8.5.

11.33 ⑨ Kosmopolité – obyvatelé vesmíru

Raketová technika umožnila člověku opustit Zemi a žít v kosmickém prostoru; zatím jen nedaleko a dočasně. Trvalý pobyt na Měsíci a na Marsu se jen plánuje. Lidé se ale v rámci programu Apollo proháněli po měsíčním povrchu ve speciálních vozítcích, tzv. roverech. Na snímku je Eugen Cernan, člen posádky Apolla 17, při projíždce po povrchu Měsíce. Šlo o poslední návštěvu člověka na Měsíci. To, co Galileo považoval za povrch moře, je ve skutečnosti bezútesná vyprahlá krajina, bičovaná zářením z Vesmíru, slunečním větrem a meteoroidy z okolí.

11.34 Discovery

Přes třicet roků byly raketoplány důležitým dopravním prostředkem do Vesmíru. Vydávaly a obsluhovaly družice a družicové observatoře. Sehrály nejdůležitější roli při konstrukci Mezinárodní kosmické stanice, na kterou dopravovaly veškerý materiál, moduly, zásoby a astronauty. Na snímku vidíte raketoplán Discovery v Kenedyho vesmírném středisku před posledním startem. Šlo o 39. let Discovery a 133. let raketoplánů. V roce 2011 se uzavřela historie tohoto dopravního prostředku.

Raketoplán (*Space Shuttle*) byl dopravní prostředek, který létal v atmosféře i v kosmickém prostoru. První let se uskutečnil v roce 1981, poslední v roce 2011. Původním účelem bylo spojení mezi kosmickou stanicí a Zemí. Měl vlastnosti letadla a rakety. Sestával ze tří hlavních částí: (1) oběžné (*orbiter*), v níž byla posádka (obvykle 7 lidí) a jejíž nákladový prostor byl 18 m dlouhý; (2) vnější nádrže na pohonné látky

47 m dlouhé, v níž bylo uskladněno 2 000 m³ kapalného vodíku a kapalného kyslíku; (3) dvou raket na pevná paliva 45 m dlouhých a připoutaných k vnější nádrži na pohonné látky, které napomáhaly při startu, po 2 minutách se odpoutaly, byly spuštěny s padáky a vytaženy z moře pro další použití. Hlavní motory pracovaly asi 8,5 min od startu až po dosažení oběžné dráhy. Vnější nádrž byla odvržena a shořela v atmosféře. NASA disponovala pěti raketoplány nazvanými podle výzkumných lodí: Discovery, Challenger, Columbia, Atlantis a Endeavour. Název Endeavour byl vybrán z návrhů dětí z celého světa. Raketoplán Challenger při desátém letu explodoval.

Ročně se uskutečňovalo 7 až 8 letů. Raketoplány byly nepostradatelným prostředkem pro konstrukci Mezinárodní kosmické stanice. Vynášely moduly, z nichž byla stanice sestavována, převážely kosmonauty, vědecké přístroje, materiál. Celkem se uskutečnilo 133 letů, v roce 2011 byly lety raketoplánů zastaveny.

11.35 Jak (asi) bude vypadat trvalé sídliště na Měsíci

Odvrácenou polovinu Měsíce ze Země nevidíme a není z ní ani vidět planeta Země. Je tam proto nejvýhodnější místo pro vybudování astronomické observatoře. Země je příliš znečištěná a nevhodná pro pozorování Vesmíru. Její atmosféra je navíc neklidná, vytváří neklidný zkreslený obraz kosmických těles a pohlcuje většinu vlnových délek spektra. Radioastronomové jsou znepokojeni tím, že mnohé vysílače a zdroje na povrchu ztěžují a často i znemožňují citlivá pozorování slabých nebeských objektů na rádiových vlnách. To vše odpadne při pozorování z odvrácené poloviny Měsíce. Zdrojem elektrické a tepelné energie bude sluneční záření. To dopadá na povrch Měsíce plnou měrou, protože není pohlcováno žádnou atmosférou, jak je tomu na Zemi. Kromě astronomických plánů existují i projekty na využití nerostného bohatství Měsíce. Všechny tyto projekty jsou ale zatím jen ve stadiu úvah.

Měsíc – viz prezentace 3.

11.36 Vesmírná základna na Marsu

Po Měsíci se uvažuje i o obydlení dalších těles Sluneční soustavy. Existují předběžné plány na vybudování stálé základny na planetě Mars. Díváte se na základnu, jak si ji představují odborníci z americké NASA. I tam bude základním zdrojem energie sluneční záření. Na představě NASA je patrné sluneční letadlo. Pod letadlem jsou rozsáhlé skleníky. Všechny stavební materiály se budou těžit na místě – doprava ze Země by byla nesmírně drahá.

Mars – viz snímky 5.18 až 5.20.

Zdroje k jedenácté prezentaci

- 11.1 <http://settlement.arc.nasa.gov/70sArt/AC76-1089.jpeg>
- 11.2 <http://tapety.superhry.cz/vesmir/uchvatny-vesmir/>
- 11.3 archiv autora
- 11.4 <http://www.gmto.org/gallery-stills.html>
<http://www.astro.caltech.edu/palomar/images/halefull.jpg>
<http://www.eso.org/public/images/e-elt-vlt-tor/>
- 11.5 <http://www.phys.psu.edu/~coutu/augershower2.jpg>
http://spiff.rit.edu/classes/phys301/lectures/other_tel/ice_cube_big.jpg
<http://www.aspera-eu.org/images/stories/Media/MEDIAPICTURES/HR/virgo.jpg>
http://hdwallpapersfor.com/wallpaper/clouds_landscapes_nature_fields_satellite_antenna_skyscapes_vla_desktop_2100x1000_hd-wallpaper-1598734.jpg
- 11.6 http://www.spacetelescope.org/images/exploded_view/
<http://www.spacetelescope.org/images/s125e011766/>
- 11.7 http://voyager.jpl.nasa.gov/spacecraft/images/golden_record_cover.gif
http://en.wikipedia.org/wiki/File:The_Sounds_of_Earth_-_GPN-2000-001976.jpg
http://voyager.jpl.nasa.gov/spacecraft/images/spacecraft_highres.jpg
www.aldebaran.cz
- 11.8 http://www.nasa.gov/images/content/226833main_SDOconcept1_HI.jpg
<http://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA14760>
http://pluto.jhuapl.edu/gallery/artistConcepts/artistConcepts_03.html
- 11.9 http://spaceinimages.esa.int/Images/2010/04/Artist_s_impression_of_the_Planck_spacecraft
http://spaceinimages.esa.int/Images/2010/04/Artist_s_impression_of_Herschel
<http://chandra.harvard.edu/resources/illustrations/craftIllustrations.html>
- 11.10 <http://brolympics.files.wordpress.com/2012/08/gauguin-2.jpeg>
- 11.11 https://web.infn.it/sbuser/images/stories/immagini/standard_model_from_fermi_lab.jpg
<http://www.eso.org/public/images/vela-snr-schmidtcomp/>
- 11.12 archiv autora

- 11.13 <http://www.orc.uni-linz.ac.at/mueller/bast/DNA-Ball-and-Stick1.GIF>
www.aldebaran.cz
- 11.14 http://en.wikipedia.org/wiki/File:Michelangelo's_Pieta_5450.jpg
pozn. k popisu: <http://saintpetersbasilica.org/Altars/Pieta/Pieta.htm>
- 11.15 <http://trialx.com/i/2012/04/20/looking-for-pictures-of-eccles-united-kingdom/>
pozn. k popisu: http://cs.wikipedia.org/wiki/John_Carew_Eccles
<http://www.humanistischecanon.nl/liberalisme/>
karl_popper__de_open_samenleving_en_haar_vijanden
pozn. k popisu: http://cs.wikipedia.org/wiki/Karl_Raimund_Popper
- 11.16 <http://www.jpl.nasa.gov/spaceimages/details.php?id=PIA13065>
- 11.17 http://spacefellowship.com/wp-content/uploads/2010/11/ERS1-2-Envisat_H1.jpg
<http://www.flickr.com/photos/europeanspaceagency/5578617593/sizes/o/in/photostream/>
www.aldebaran.cz
- 11.18 <http://apod.nasa.gov/apod/ap030426.html>
J. Kleczek, P. Jakeš: Das Weltall und Unsere Erde; Dausien
[http://www.aoas.org/mediagallery/](http://www.aoas.org/mediagallery/media.php?f=1&s=20110930091655682&i=0&p=0)
[media.php?f=1&s=20110930091655682&i=0&p=0](http://www.kraiseeh.com/uploads/5/9/6/1/5961076/3547985.jpg?709)
<http://www.kraiseeh.com/uploads/5/9/6/1/5961076/3547985.jpg?709>
http://apod.nasa.gov/apod/image/1104/201103_VirgoGCM_andreo.jpg
http://apod.nasa.gov/apod/image/0709/galaxylego_hst_big.jpg
- 11.19 archiv autora
- 11.20 <http://www.mpa-garching.mpg.de/galform/millennium/>
- 11.21 video: [http://www.youtube.com/](http://www.youtube.com/watch?feature=player_embedded&v=cQVoSyVu9rk)
[watch?feature=player_embedded&v=cQVoSyVu9rk](http://www.youtube.com/watch?feature=player_embedded&v=cQVoSyVu9rk)
- 11.22 <http://www.geosociety.org/pubs/gsatoday/grgsat/0007-2.htm>
[http://www.cartage.org.lb/en/themes/Sciences/Physics/NuclearPhysics/WhatisNuclear/](http://www.cartage.org.lb/en/themes/Sciences/Physics/NuclearPhysics/WhatisNuclear/Nucleons/Nucleons.htm)
[Nucleons/Nucleons.htm](http://www.cartage.org.lb/en/themes/Sciences/Physics/NuclearPhysics/WhatisNuclear/Nucleons/Nucleons.htm)
<http://hubblesite.org/newscenter/archive/releases/galaxy/inter-acting/1999/28/image/>
<http://chandra.harvard.edu/photo/2009/casa/>
<http://apod.nasa.gov/apod/ap111115.html>
<http://apod.nasa.gov/apod/ap070314.html>

- <http://www.ipac.caltech.edu/2mass/gallery/fest1-457atlas.jpg>
http://solarsystem.nasa.gov/multimedia/display.cfm?Category=Planets&IM_ID=1879
http://nssdc.gsfc.nasa.gov/imgcat/html/object_page/a11_h_40_5903.html
- 11.23 archiv autora
 - 11.24 www.aldebaran.cz
 - 11.25 http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/eb/The_life_of_Sun-like_stars.jpg
 - 11.26 <http://eol.jsc.nasa.gov/scripts/sseop/photo.pl?mission=ISS031&roll=E&frame=84925&QueryResultsFile=133979379435762.tsv>
 - 11.27 http://www.nasa.gov/images/content/478271main_304_Hoop.jpg
<http://tapety.superhry.cz/vesmir/earth/>
http://paul.studio5d.com/gallery/index.php/Vacations/italy_and_greece_2011/rome/DSC_0188
 - 11.28 <http://www.flickr.com/photos/origomi/1054087308/sizes/o/in/set-72157601323433758/>
 archiv autora
 - 11.29 http://spaceflight.nasa.gov/gallery/images/station/crew-30/html/jsc2012e051505_alt.html
 - 11.30 <http://santitafarella.files.wordpress.com/2008/10/7b-moses.jpg>
 - 11.31 <http://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA00451>
 - 11.32 <http://imgsrc.hubblesite.org/hu/db/images/hs-2008-08-a-print.jpg>
 - 11.33 http://www.nasa.gov/multimedia/imagegallery/image_feature_774.html
 - 11.34 http://www.nasa.gov/mission_pages/shuttle/flyout/multimedia/discovery/gallery-index.html (obr. 36)
 - 11.35 <http://americansecurityproject.org/wp-content/uploads/2012/08/Mooncolony.jpg>
 - 11.36 <http://archive.org/details/C-1991-8781>



12. Život ve Vesmíru

Je až k nevíře, jak dlouho setrvávají středověké představy. Dodnes se říká „kosmický prostor“, „raketoplán vynesl lidi do kosmu“ a poněkud zpupný výrok „dobyli jsme kosmos“, „lety do kosmu“ atd. V takových rčeních je skryt středověký názor, že Země do kosmu nepatří. Od Koperníka přece víme, že Země je obyčejná planeta, je součástí kosmu, je kosmickým tělesem a podléhá zákonům platným v celém Vesmíru.

Vesmír a kosmos

Vesmír je souhrn všech objektů od kvarků až po nadkupy galaxií (supergalaxie). *Kosmos* znamená uspořádaný Vesmír. Slovo „kosmos“ pochází z řečtiny a znamená řád, uspořádání, pořádek, slušnost, uspořádaný svět, ozdoba (odtud „kosmetika“). Pojem uspořádaného kosmu ovládaného matematickými vztahy propracovala Pythagorejská škola. Uspořádanost Vesmíru do systémů (od kvarků, elektronů až po nadkupy galaxií) byla odhalena až v nedávné době. Řád ve stavbě a dění v kosmu vyjadřují vědci pomocí zákonů, pomocí matematických rovnic.

Proč nejsme v kosmu, ale jen ve Vesmíru?

Kde je kosmos? V subkomisi OSN pro mírové využití kosmického prostoru se vedly po dlouhou dobu diskuze, kde začíná kosmos. Jinak řečeno, v jaké výšce končí pravomoc státu a začíná prostor, který patří všem a kde nesmí být žádné zbraně. Politici se dohodli, že kosmos je nad sto kilometrů. To je také mez stanovená FAI (Mezinárodní aeronautickou federací, *Fédération Aéronautique Internationale*). Někdy se jí též říká Kármánova hranice nebo Kármánova linie.

Kosmos tedy znamená uspořádaný Vesmír, v němž se vše děje podle odvěkých a neměnných zákonů. Naše planeta Země je součástí Vesmíru a politici v OSN ji do kosmu nepočítali. Měli asi pravdu – vždyť je tu bezpočet ne neměnných zákonů, s kterými právníci dovedou šikovně manipulovat podle potřeby. A zbraní se vešlo na ten malý vesmírný prášek jménem Země tolik, že stačí na desateronásobné zničení všeho života. Každý stát má své ministerstvo obrany, jehož úkolem je kupovat nejdůmyslnější a nejdražší prostředky k beztržnímu vraždění ve velkém měřítku. Proto jsou u nás a v sousedních státech i v těch nejmenších vesničkách pomníčky s fotografiemi synů a otců, kteří „padli za vlast“. Všichni všude padají za svobodu své vlasti. Obludná lež – mělo by tam být „vyhnali nás na jatka“.

Politici v OSN proto moudře vyjmuli Zemi z nekonečného spořádaného kosmu a stanovili hranici mezi jeho řádem a tím, co tu pášeme. Astrobiologie naše počínání a důvod, proč ještě nepatříme do kosmu, nazývá „technologická krize lidstva“.

Pokud technologickou krizi nepřekonáme, nemůžeme být považováni za „intelligentní společenství“ a ostatní vyspělá galaktická inteligentní společenství v kosmu budou mít opodstatněné obavy se s námi stýkat. Proč také? Jen by tu přišli k nějaké ouhoně.

Život tady na Zemi

Země si nás přitahuje směrem dolů, tj. k jejímu těžišti u středu. Té přitažlivé síle říkáme gravitace, tíže nebo zemská přitažlivost. Lidem v kosmu gravitace zdánlivě chybí docela (například v Mezinárodní kosmické stanici, v raketoplánu) nebo je oslabená. Například Měsíc přitahoval astronauty šestkrát slaběji než Země (čili byli šestkrát lehčí), neboť náš kosmický soused má značně menší hmotnost.

Země je obalena atmosférou, v níž je kyslík a která na náš organizmus působí tlakem. Návštěvníci kosmu si musí vzít trochu pozemské atmosféry s sebou do kosmické lodi nebo do skafandru, aby mohli žít.

Země nás chrání svou atmosférou před škodlivým zářením z Vesmíru. Nebezpečné záření gama, rentgenové a ultrafialové záření se zachytí vysoko v atmosféře, takže na povrch nedopadne. Naopak nemilosrdně dopadá na návštěvníka kosmu, který je mimo zemskou atmosféru. Ochranu mu skýtá kosmická loď, jen zčásti skafandr a v budoucnu přístřeší vybudovaná na Měsíci či na Marsu.

Země je velký magnet a prostor, v němž působí její magnetická síla, je rozsáhlý. Říkáme mu magnetosféra Země. Ta nás chrání před slunečním větrem a částicemi kosmického záření, které neustále bíčí Zemi. Magnetické siločáry magnetosféry nedovolí, aby smrtonosné částice pronikly až k zemskému povrchu. Lidé, kteří se dostanou mimo magnetosféru, nejsou chráněni ani před slunečním větrem ani před kosmickým zářením. To byl případ astronautů lodi Apollo i budoucích výprav na Měsíc a na Mars.

Život v kosmu

Major sovětského letectva Jurij Alexejevič Gagarin obletěl v kosmické lodi Zemi jako první člověk vůbec. Jeho jediný oblet Země dne 12. dubna 1961 vzrušil celý svět a jeho jméno znal každý. Dnešní posádka Mezinárodní kosmické lodi zná jen málokdo, i když tam zůstává řadu měsíců. Lety do kosmu na raketoplánu a dlouhodobé pobyty na kosmické lodi se stávají všední záležitostí.

Jak se žije v kosmu? Čím se například liší prostředí a život astronautů na Mezinárodní kosmické stanici od našeho života na povrchu Země? Mezinárodní kosmická stanice je v současné době jediná trvale obydlená vesmírná stanice. První stálá posádka na ni vstoupila 2. listopadu 2000 a od té doby se nejpozději každých 6 měsíců

posádky mění. Na projektu se podílí Rusko, USA, Japonsko, Kanada, Brazílie a 18 zemí Evropy sdružených v Evropské kosmické agentuře ESA.

I v kosmické lodi je astronaut přitahován gravitací Země, jen trochu méně než na Zemi. Podle Newtonova zákona působí na astronauta jeho loď a všechno, co je v lodi, také gravitace, která je jen o desetinu slabší než na Zemi. Gravitační přitažlivost je podle Newtonova zákona nepřímou úměrnou čtverci vzdálenosti od středu Země. Proto loď i s astronautem neustále padá volným pádem k Zemi, jako když skočíte ze stromu. Čím více se odrazíte, tím rychleji poletíte nad zemí a tím dál doskočíte. Kdybyste skočili rychlostí 8 km za sekundu, obletěli byste celou Zemi a dostali se na místo, odkud jste odskočili. Kosmická loď létá ve výšce přibližně 350 km rychlostí 8 km za sekundu a oběhne Zemi jednou za 92 minut. Přitom stále padá k Zemi, neboť na ni působí zemská přitažlivost. Všechno v lodi padá zároveň s ní, takže se tam předměty vznášejí. Pro astronauty není nahoře a dole (pokud se nedívají z okna), oheň svíčky tam nehoří plamenem, kapky vody mohou být velké a mají kulový tvar. Spát musí člověk v spacím pytlíku nebo připoutaný ke křeslu, jinak by ve spánku volně poletoval a narážel do stěn. Vody ze sklenice se nenapijete. To jsou vše projevy beztížného stavu.

Beztížný stav (beztíže) působí na jednobuněčné organizmy, rostliny a živočichy včetně člověka. Ovlivňuje lidský organizmus mnoha způsoby. Mimo jiné přerозděljuje tělní tekutiny (krev a krevní plazmu) v těle. Obličej astronautů opuchne. Hustota a pevnost kostí se zmenšuje – a to přibližně o jedno procento za měsíc. Jsou to změny podobné osteoporose, a po návratu na zem (do gravitační síly) se kosti dlouho zotavují do normálního stavu. Snadno dochází ke zlomení kosti, která se pak obtížněji hojí. V beztížném stavu se často tvoří ledvinové kameny. Oboje (tj. zlomeniny i ledvinové kameny) souvisí s tím, že kosti pozbývají vápník.

Dlouhý pobyt v beztížném stavu postihuje také svaly. Dochází k úbytku svaloviny a ke zmenšení jejich síly. Snadno se dostavuje únava. Snižuje se imunita (schopnost organismu bránit se infekci) i objem krve. Po návratu na zem dochází k dočasné anemii – tj. k zmenšení počtu červených krvinek). Koordinace zraku a rukou je narušena, takže například vzít si do ruky kartáček na zuby je složitý úkon. Mění se i činnost nejdůležitějšího svalu – srdce. Přední americký profesor kardiologie prohlásil, že několikaměsíční sledování srdce astronautů v beztížném stavu mu přineslo o srdci mnohem více poznatků, než mohl získat za dlouhodobou praxi na klinice.

Avšak žádná překážka nemůže zabránit astronautovi prodělat velmi tvrdý výcvik, aby mohl poletovat v kosmické lodi, jíst, dýchat, pracovat, cvičit, spát, hovořit telefonem s rodinou či s řídicím střediskem, bavit se s kolegy vedle, radovat se ze života tři sta padesát kilometrů nad lidským mravenčením dole a snášet různé zdravotní potíže po návratu domů.

Mimozemšťané

Místní průvodci u obdivuhodných památek (v Andách na Machu Picchu, u kreseb v Nasce, u přístávacího pruhu mimozemšťanů na poloostrově Paracas v jižním Peru, u pyramid v Egyptě a jinde) – ti všichni se zvědavým turistům dušují, že jejich památku mohli udělat jedině inteligentní mimozemšťané. Nebudeme ztrácet čas takovými bláboly, které uvádějí v úžas turisty nebo výmluvným autorům sci-fi vynáší tučné honoráře. Aby na Zem opravdu přiletěli mimozemšťané z nějaké jiné mimosluneční soustavy pak:

1. by tam vůbec vysoce inteligentní bytosti musely být,
2. by museli zkonstruovat obrovskou kosmickou loď pro několik generací, neboť putování i mezi těmi nejbližšími planetárními soustavami v Galaxii je na tisíciletí. Jen vysoce inteligentní mimozemšťané by zvládli takovou pouť na planetu Zem.

A teď si představte, že dorazí k cíli na Zemi, namalují něco do písku, něco postaví, pohovoří s náhodným pozemšťanem, a to místní řech. Pak nasednou a poletí celá tisíciletí nazpět ke své rodné planetě u cizí hvězdy. Jen hlupák by jednal tak bezúčelně, ale hlupák by nemohl tak důmyslnou kosmickou loď postavit. Vysoce inteligentní mimozemšťan by rozhodně tak bezúčelně nejednal, neboť znakem inteligence je účelnost jednání.

UFO

UFO je anglická zkratka pro neidentifikovaný letící objekt (*Unidentified Flying Object*). Název UFO poprvé použil obchodník a šerif Kenneth Arnold v roce 1947, když ze svého letadla ve státě Washington spatřil 9 zářících objektů. Jejich tvar mu připomínal letící talíře. I když název UFO je poměrně nový, zprávy o záhadných jevech v atmosféře byly zaznamenány už předtím. Vyrojily se zejména, když Lowellovy kresby Marsu „dokazovaly“ existenci zavlažovacích kanálů.

Podle vyprávění některých „očitých svědků“ mají UFO nezvyklý tvar a různou velikost. Většinou jsou diskovité, válcovité, kulaté či trojúhelníkové. Někteří lidé pokládají UFO za dopravní prostředek inteligentních mimozemšťanů. Ba, někteří očití svědci dokonce tvrdí, že s příchozími mimozemšťany pohovořili. Jakým jazykem hovořili? No přece v Paraguaji španělsky, v USA anglicky atd. Po vyslechnutí zprávy „očitého svědka“ se musíme obdivovat obrovským jazykovým znalostem mimozemšťanů, vždyť pozemšťané hovoří několika tisíci jazyky. Kde a jak se mohli mimozemšťané tak rychle naučit tolika jazykům? Škoda, že nám svou metodu neprozradili.

Podrobný výzkum zpráv o UFO zorganizovalo v USA letectvo. Profesor Allen Hynek (českého původu) byl pověřen projektem *Blue Book*. Provedl podrobný průzkum

mnoha zpráv o neidentifikovaných objektech (UFO) a světelných úkazech v atmosféře. Ukázalo se, že velkou většinu (přes devadesát procent) zpráv lze vysvětlit jako:

1. přírodní jevy (Venuše, oblaka, polární záře, kulové blesky),
2. objekty vytvořené člověkem (rakety, družice, letadla...),
3. poplašné nevěrohodné zprávy („kachny“),
4. utajované prototypy vojenských letadel.

Několik málo procent věrohodných pozorování (například od pilotů) se však nepodařilo nijak objasnit. Proto v roce 1973 Hynek založil v Chicagu organizaci pro vědecký výzkum UFO.

Mikrofosilie z Vesmíru?

Jsou ještě jiní, nepatrní návštěvníci z Vesmíru. Někteří přišli v meteoritech – v kamenech z nebe spadlých. Nejhojnější a nejstarší meteority jsou kamenné, ve kterých jsou rozsety bílé drobné částice (chondry) přibližně kulového tvaru o velikosti 1 až 4 mm. Pocházejí z doby, kdy ještě nebyly planety, neboť jejich stáří je 4,7 miliard roků. V některých je obsaženo několik procent organických sloučenin. Odborně se takovým meteoritům říká uhlíkaté chondrity.

Zvláštní pozornost věnují odborníci výzkumu čtyř uhlíkatých chondritů. Jsou – jak je zvykem – nazvány podle místa nálezů: Allende (v Mexiku), Ivuna (v Tanzanii), Orgueil (ve Francii) a Murchison (v Australii). Byl tak nazván i proslulý meteorit z Marsu ALH84001 neboť byl nalezen na úpatí pohoří Allan Hill v Antarktidě v roce 1984.

Někteří vědci ale popírají mikrobiální původ útvarů v meteoritu z Marsu a domnívají se, že jsou to produkty chemických reakcí. Ať se spor vyřeší jakkoliv, ty malé útvary vzbudily celosvětový zájem o kosmický výzkum obecně, a zvláště pak o astrobiologii.

*Odvažuji se tvrdit, že jsou-li tyto světy obyvatelné,
pak jsou, byly nebo budou obývané.*

(Jules Verne, Ze Země na Měsíc, 1877)

12.1 Úvod

Téměř celý Vesmír je velmi chladný – tak chladný, že by vzduch zmrzl. Je černým mrazivým vakuem – pokud není v blízkosti hvězd. Některé oblasti jsou velmi žhavé a bouřlivé, v jiných se neděje zhora nic. Míst vhodných pro život – řekli bychom domovů života – je v propastných hlubinách vesmírného prostoru poměrně velmi málo.

Živý objekt je buď jednobuněčný tvor, nebo systém složený z mnoha buněk. Buňka je ohraničena membránou a obsahuje návod pro činnost buňky v dlouhé molekule DNA. Přes jinou složitou molekulu RNA (podobnou DNA) řídí tvorbu bílkovin. Těch je obrovský počet v biosféře (miliardy) – ale jsou vybudovány jenom z dvaceti druhů aminokyselin – „stavebních jednotek živých organizmů“. Připomeňme, že různé aminokyseliny i jiné životně důležité molekuly byly už v protoplanetárním disku před pěti miliardami roků – tedy v materiálu, z něhož asi o půl miliardy roků později vznikla Země a ostatní členové Sluneční soustavy.

12.2 ① Příprava vesmíru pro život

Co je život? Obtížná otázka pro biologa, natož pro laika. Všichni se shodují na tom, čím se liší rostliny a živočichové od neživých objektů: růstem, reprodukcí a schopností adaptace k prostředí. Základní vlastností života je metabolismus – řecké slovo pro změnu. Živé organizmy přijímají z prostředí atomy a energii, a potom je vydávají jako odpad a teplo. Biochemické změny v živých organizmech jsou složité – některé látky jsou rozkládány a jiné jsou budovány z menších molekul. V živém organismu vždy pozorujeme látkovou výměnu.

Organismus dostává v potravě atomy od Země a skrze fotosyntézu energii od Slunce (fototrofní organizmy). Na dně hlubokých moří a ve skalách pod povrchem Země (a možná i v některých ledových měsících obřích planet) čerpají mikroorganizmy energii z chemických látek (chemotrofní organizmy). Zdrojem jejich energie na dně zemských moří jsou černí kuřáci sopečného původu nebo odumřelá těla velryb.

Černí kuřáci – viz snímek 12.13.

12.3 Vývoj Vesmíru k životu

Život nebyl na Zemi a ve Vesmíru odjakživa. Velmi jednoduchá neživá hmota složená z kvarků, gluonů a elektronů vznikla v průběhu Velkého třesku před 13,8 miliardami roků. Tehdy vznikl i prostor, čas a energie. Živá hmota je velmi složitá a přechod od počáteční neživé hmoty k prvému nejjednoduššímu mikroorganismu byl postupný. Nejprve se kvarky spojily v jedné stotisícině sekundy v protony a neutrony. V několika minutách existence Vesmíru vznikly z neutronů a protonů lehká atomová jádra. V období 400 000 let po počátku se vytvořily atomární obaly a vznikly první atomy, jak je známe dnes. V nitru hvězd o stovky milionů let později vznikala jádra těžká. Z atomů se v mlhovinách v mezihvězdném prostoru rodily první molekuly. V protoplanetárních discích kolem nově se rodících hvězd pak vznikaly i složité organické molekuly. Na vhodných planetách se mohly z těchto molekul zrodit první primitivní organizmy.

Vývoj Vesmíru k životu – viz také snímek 10.32.

12.4 Mezihvězdná látka

Na konci života hvězdy se prvky v ní vytvořené dostanou do mezihvězdného prostoru. Malé hvězdy kolem sebe vytvoří planetární mlhoviny, obří hvězdy rozmetají svou látku do okolí jako supernovy. Z těžkovatelných látek, například uhlíku a křemíku, se tvoří prachová zrna. Přesněji bychom měli říct kouřová zrna, protože mají rozměry menší než jeden mikrometr. Na nich se zachycují a ulpívají atomy ostatních prvků. Slučují se, a tak vznikají různé molekuly. Anorganické i organické. V mlhovinách byly detekovány aminokyseliny, což jsou základní látky důležité pro vznik života.

Velikost zrn je menší než mikrometr. Jejich průřez pro srážku s atomem je přesto zhruba milionkrát větší než průřez pro srážku atomu s jiným atomem (ty mají velikost v nanometrech). Volné atomy ve zbytku supernovy narážejí na zrna a ulpívají na nich. Povrch zrn je proto vhodné prostředí pro slučování atomů, neboť mohou od zrna dostávat i potřebnou energii pro slučování. Tak se dnes vysvětluje vznik molekul z atomů různých prvků vytvořených supernovou. I molekul organických, například aminokyselin, některých složek molekuly DNA a jiných organických molekul pozorovaných v mezihvězdném prostoru nebo nalezených v uhlíkatých chondritech.

RCW 86. Na snímku je pozůstatek po explozi nejstarší zdokumentované supernovy, označení má RCW 86. Byla pozorována Číňany v roce 185 našeho letopočtu. Na nebi byla patrná po 8 měsíců. Snímek tohoto zbytku po explozi supernovy je složen z rentgenových obrazů družicových observatoří XMM-Newton a Chandra. Infračervené pozadí je z družicových observatoří Spitzer a WISE.

Chandra – viz snímek 9.27.

Spitzerův vesmírný dalekohled – viz snímek 9.27.

12.5 Organické látky v meteoritech

Výzkum meteoritů je nesmírně důležitý. Přinášejí k nám pralátku, z které byla budována Sluneční soustava. Jedním z nejzajímavějších je meteorit Allende, který spadnul v západním Mexiku v roce 1969. Na první pohled nevzhledný kámen nám v řezu odhalí zrna z původního protoplanetárního disku. Z chemického rozboru se ukázalo, že meteorit v sobě obsahuje řadu aminokyselin. Základní stavební kameny života tak byly přítomny

již v protoplanetárním disku. Organické látky tedy vznikají i v mezihvězdném prostoru. Velké množství rozmanitých organických molekul bylo nalezeno i v meteoritu Murchison z Austrálie. Mimo jiné adenin a guanin, základní stavební jednotky DNA. Na poslední fotografii je snímek částice meziplanetárního prachu, která byla zachycena sondou Stardust.

Organické látky v meteoritech – podrobně viz snímek 6.25.

Aminokyseliny. Aminokyseliny jsou kyseliny, které kromě karboxylové skupiny COOH obsahují ještě skupinu aminovou NH_2 . Z 20 různých aminokyselin jsou vybudovány bílkoviny. Aminokyseliny se spojují tak, že hydroxyl OH z karboxylu (COOH) jedné kyseliny se spojí s atomem vodíku H z aminu (NH_2) druhé aminokyseliny a vytvoří molekulu vody (H_2O). Uvolněné vazby uhlíku (v karboxylu) a dusíku (v aminu) se propojí. Z aminu a karboxylu se tak uvolní molekula vody, uhlík se spojí s dusíkem a tak z nich vznikne peptidová skupina $-\text{CO}-\text{NH}-$ a vzniklá molekula je dipeptid. Připojením další aminokyseliny vznikne tripeptid atd. Molekuly obsahující desítky aminokyselin se nazývají polypeptidy. Zhruba řečeno – polypeptidy o více než 40 až 50 aminokyselinách se nazývají bílkoviny neboli proteiny. Bílkoviny jsou podstatou všech živých organismů.

12.6 ② Život se Sluncem

Biosféra na Zemi žije sluneční energií. Dostává ji od Slunce přímo ve formě fotonů procesem nazývaným fotosyntéza. Součástí biosféry je také bohatý chemotrofní život, který není poháněn energií sluneční, ale chemickými látkami v okolním prostředí, například ve skalách, na dně moří kolem sopečných černých kuřáků nebo pod ledovci.

Země, Slunce a život – viz také snímky 4. 27 až 4.33.

Slunce – viz prezentace 4.

12.7 Vývoj života na planetě Zemi

Čas se odvíjí po modré spirále směrem nahoru. Vývoj života začal před 4 miliardami roků na vychládající Zemi. Dosud není zcela jasný původ posledního společného prapředka LUCA. Vznikl na Zemi z organických molekul vzniklých na místě nebo donesených na mladou Zemi kometami či planetkami? Nebo byl donesen odjinud z Vesmíru planetkou či kometou, jak se domnívá teorie panspermie? Zatím vývoj končí u „homo sapiens“ – člověka rozumného – schopného abstraktního myšlení.

LUCA – viz snímek 11.21.

12.8 Příznaky života

Jak poznat život na cizí planetě? Jde o zcela zásadní otázku, na niž neznáme odpověď. Pokud by byl mimozemský život založen na podobných principech jako u nás, potřeboval by ke svému vývoji především vodu v tekutém stavu a nějaký zdroj energie. Jako průvodní známky života pozemského typu bychom mohli hledat kyslík produkovaný fotosyntézou nebo metan jako důsledek biochemických pochodů u zvířat.

12.9 ③ Extremofilní organizmy

Mnoho mikroorganismů čerpá energii chemickými procesy z látek, které jim poskytuje Země, a jsou tak na Slunci nezávislé. Říkáme jim chemotrofní organizmy. Některé organizmy žijí v pro nás extrémních podmínkách, říkáme jim extremofilní organizmy neboli extremofilové. Takový život je například ve skalách nebo v horkých pramenech vyvěrajících z hlubokého dna oceánů. A biologové se domnívají, že takový život může existovat i na jiných tělesech Sluneční soustavy, například měsících Jupiteru a Saturnu. A právě chemotrofní či extremofilní mikroorganismy mohly být planetkami nebo kometami přenášeny ve Vesmíru. V nich jsou chráněny před nepříznivým prostředím vesmírného prostoru, tam jsou i vhodné chemikálie pro jejich obživu a ve formě spor mohou přežít desítky milionů roků.

12.10 Kde je najdeme?

Extremofilní organizmy mohou žít za podmínek, které by člověk nepřežil. Život, jak ho chápeme na Zemi, existuje mezi bodem tání a bodem varu vody. Voda je totiž rozpouštědlo, v němž se odehrávají všechny životní chemické změny. Mnoho mikroorganismů však našlo způsob, jak se vyhnout těmto teplotním omezením. Jejich buňky mohou obsahovat špatně mrznoucí látky, jako jsou koncentrované cukry, soli nebo aminokyseliny, a žijí pod bodem mrazu. Opačným extrémem jsou mikroorganismy, které žijí ve vysokém tlaku – čímž se snižuje bod varu. Některé druhy tzv. termofilů žijí a rozmnožují se při 115 °C. V horkých pramenech na dně oceánů mořští biologové našli mikroorganismy v blízkosti pramenů o teplotě 230 °C. Mikroorganismy na Zemi žijí pět kilometrů pod povrchem ve skalách i na dně moří, v horkých pramenech, v ledových jezerech nebo ve vyprahlé chilské poušti Atacama.

Ve Sluneční soustavě i v mimoslunečních planetárních soustavách astrobiologie vymezila oblast obyvatelnosti, kde mohl být život, tak jak ho známe na Zemi. Ve Sluneční soustavě byla za Venuší (směrem od Slunce) a před Marsem. Studium extre-

moofilních organismů však ukázalo, že život existuje v mnohem širším rozmezí tlaků, teplot, kyselosti, ozáření apod., než jsou v našem životním prostředí. Na ně pak navazuje další řetězec vyšších organismů. Podle extrémních podmínek životního prostředí mikroorganismů jsou extremofilové tříděni na anaeroby, termofily, psychrofil, acidofily, alkalofily, halofily, barofily a xerofily.

12.11 Ukázky extremofilních organismů

*Jednou z nejznámějších ukázek extremofilních organismů je bakterie *Deinococcus radiodurans*. Přežívá mrazivý chlad, nepřítomnost vody, velkou kyselost, vakuum a dokonce extrémní dávky ozáření v atomovém reaktoru. Dokáže přežít 3 000 násobek smrtelné dávky pro člověka. V Guinnessově knize světových rekordů je uváděna jako nejodolnější bakterie vůbec. Druhým příkladem je *Pyrococcus furiosus*, mikroorganismus, který dobře snáší extrémně vysoké teploty. Na pravém horním snímku je jezero Grand Prismatic Spring v Yellowstoneském národním parku. Barvy nejsou uměle změněny, jsou způsobeny extremofilními bakteriemi.*

Deinococcus radiodurans je polyextremofil, který je nejodolnějším mikroorganizmem vůbec. Rychle (během 24 hodin) opraví svou poškozenou molekulu DNA. Má totiž v zásobě uschovány čtyři genomy připravené k okopírování. Je obalen odolnou ochrannou vrstvou lipidů, která ho chrání před vyschnutím, kosmickým vakuem a nebezpečným ultrafialovým a rentgenovým zářením. Jeho existence svědčí o tom, v jak nepříznivém prostředí může život existovat. Mohl žít snadno v kometě, meteoroidu či planetce a být přenesen nejen mezi planetami Sluneční soustavy, ale snad i mezi planetárními soustavami kolem různých hvězd v Mléčné dráze. Takové extremofilní organismy mají tak tuhý život, že by tam mohly přežít a přizpůsobit se.

12.12 Želvuška – vodní medvěd (Tardigrada)

Pomalá želvuška, někdy přezdívaná vodní medvěd, měří asi pětinu milimetru a žije ve všech klimatických oblastech na Zemi. Přežívá při teplotách od $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ až do $+150\text{ }^{\circ}\text{C}$. Některé z těchto organismů přežily při experimentech po několik minut v prostředí o teplotě jeden stupeň nad absolutní nulou. Přežívá od ultranízkých tlaků až po dva tisíce atmosfér. V otevřeném kosmickém prostoru přežije ozářená Sluncem nejméně 10 dnů. Želvušky jsou lehké, takže je snadno přenáší vítr. Je jich známo více než sto druhů. Mikroorganismy, jako je želvuška, by snad mohly přenášet život meziplanetárním i mezihvězdným prostorem, pokud budou chráněny případně i živěny v planetce nebo v ledovém kometárním jádru.

Želvušky (Tardigrada) mají 8 nečlánkovaných nohou, na koncích s drápkou. Povrch těla je pokrytý nebuněčnou vrstvou (kutikulou) s dlouhými chloupky. Jde o jedno-pohlavní živočichy. V ústech mají bodce, kterými vysávají potravu. Rozměry želvušek jsou v desetinách milimetru.

12.13 ④ Život beze Slunce

Některé mikroorganismy získávají životní energii chemickými reakcemi látek ve svém prostředí. Nazývají se chemotrofní. Příkladem mohou být mikroorganismy u horkých sopečných pramenů na dně moří. Obživu jim poskytují chemické látky v sopečných výronech z podmořských prasklin. Tyto chemotrofní mikroby jsou pak základem pestrého potravinového řetězce. Poznání života na dně moří vedlo k závěru, že život by mohl být i v mořích na některých měsících obřích planet. Řadu prací napsali astrobiologové například o Jupiterově měsíci Europa. Na snímku vidíte hydrotermální proudy na dně oceánu, známé jako černí kuřáci.

Černí kuřáci jsou hydrotermální proudy, které byly objeveny v roce 1977 na dně oceánů. Do té doby byly za základ biosféry považovány jen fototrofní (fotosyntetické) organismy, jejichž životní energií je sluneční záření. Fotosyntéza je cestou sluneční energie do biosféry.

Objevené životní systémy u sopečných prasklin na dně oceánů však nedostávají energii ve formě slunečního záření – to totiž do těch hloubek ani nepronikne, je tam naprostá tma. Zdrojem životní energie mikroorganismů jsou především metan (CH_4) a sulfáty (tj. soli kyseliny sírové H_2SO_4) unikající prasklinou v mořském dnu. Téměř všechen metan je tam mikroorganismy spotřebován – naštěstí – neboť metan je skleníkový plyn. Přitom vznikají sulfidy (sírničky, sloučeniny kovu se sírou například Na_2S – sulfid sodný) a oxid uhličitý (CO_2). Výsledné látky mají (nepatrně) menší hmotnost a tento (nepatrný) úbytek hmotnosti se uvolní jako chemická energie. Z ní čerpají svou životní energii chemotrofní mikroorganismy. Na chemotrofní mikroorganismy pak navazuje pestrý potravinový řetězec až k tvorům o velikosti několika metrů.

12.14 Díry v Marsu

Na povrchu Marsu byly objeveny hluboké jeskyně, které vidíme na snímcích jako temné skvrny. Tam by mohl být život chráněn před nebezpečným působením elektromagnetického i korpuskulárního záření – zejména před slunečním rentgenovým zářením a před slunečním větrem. Zatím však žádná sonda život na Marsu nepotvrdila.

Mars – viz snímky 5.17 až 5.20.

12.15 Svět kolem Jupiteru

K největším z více než 60 Jupiterových měsíců patří tzv. Galileovy měsíce Io, Europa, Ganymed a Callisto. Jsou srovnatelné co do velikosti s naším Měsícem. Ostatní Jupiterovy měsíce jsou zhruba desetkrát menší. Europa a Ganymed mají hluboké oceány skryté pod ledovým příkrovem. Kosmická sonda Galileo z měření magnetického pole zjistila, že jejich voda je slaná. Často se uvádí, že v obou může být chemotrofní život – podobný tomu, jaký je u černých kuřáků na dně zemských oceánů. Oceány jsou ohřívány jednak průchodem mohutnou Jupiterovou magnetosférou, která jimi prochází při každém oběhu kolem Jupiteru a samozřejmě také slapovým působením Jupiteru a sousedních měsíců.

Jupiter – viz snímek 5.23.

Velká červená skvrna je obrovský oválný vír v Jupiterově atmosféře. Nachází se na jižní polokouli, 22° pod rovníkem. Je systematicky sledována od 19. století, ale zmínky o ní pocházejí už ze 17. století. Červená skvrna je – podle smyslu rotace – obdobou tlakové výše (anticyklony) v zemské atmosféře, jenže v mnohem větším měřítku prostorovém a časovém. Od severu k jihu měří 15 000 km (tedy více než celá Země). Rychlosti ve skvrně dosahují 100 m s^{-1} . Ve směru východ-západ se délka skvrny mění od 24 000 km do 50 000 km. Spolehlivé vysvětlení Červené skvrny dosud neexistuje. Podle jedné domněnky je Červená skvrna solitonem, podle jiné je způsobena obrovským ledovcem z amoniaku, který pluje v moři molekulárního vodíku a narušuje cirkulaci Jupiterovy atmosféry.

12.16 ⑤ Životodárné hvězdy a vhodné planety

Hledání života ve Vesmíru znamená pátrání po životě, jaký známe na Zemi v biosféře. Vhodné prostředí mohou životu poskytnout jen planety obíhající kolem životodárné hvězdy. Proto v posledním desetiletí astronomové usilovně hledají další extrasolární planety podobné naší kamenné Zemi, které mohou organismům poskytnout nejen vhodné prostředí, ale i atomy pro stavbu a obíhají kolem své hvězdy po přibližně kruhové dráze v pásnu obyvatelnosti, tj. s vodou ve třech skupenstvích. Planeta musí být i dostatečně hmotná, aby si udržela ochrannou atmosféru. Mateřská hvězda by měla být ve vhodné vzdálenosti. Hvězda nesmí být příliš velká, protože jen menší hvězdy žijí dostatečně dlouho a nesmí být příliš bouřlivá, aby neohrožovala život na svých planetách smrtícím zářením gama nebo výbuchy obřích a rychlých oblaků žhavých plynů.

Na snímku je družice GAIA pro vyhledávání planet.

GAIA – viz snímek 7.19.

12.17 Hledání života na Marsu

Možnost života na Marsu je dlouho diskutovanou a stále otevřenou otázkou. V roce 1976 přistály na Marsu dvě biologické laboratoře Viking. Ve vzorcích půdy hledaly organické sloučeniny a stopy mikroorganismů. Podrobné výzkumy nenalezly žádné organické stopy. Je možné, že organické sloučeniny v půdě Marsu byly zničeny jinými chemikáliemi dříve, než je Vikingové mohly v Marsové půdě objevit. Od té doby přistála na Marsu řada dalších laboratoří a vozítek, která konala nebo koná komplexní průzkum povrchu Marsu a intenzivně se snaží najít stopy života.

Viking byla první kosmická mise NASA vyslaná na povrch sousední planety Mars. Byly to dvě identické sondy. Každá z nich sestávala ze dvou částí: přistávacího modulu, který zkoumal vlastnosti půdy na Marsu a z části oběžné, která obstarávala spojení se Zemí. Viking 1 přistál na západním svahu Chryse Planitia dne 20. července 1976. Viking 2 přistál v oblasti *Utopia Planitia* dne 3. září 1976. Sondy pořídily snímky okolní krajiny, v níž přistály. Navíc prováděly biologické pokusy, které měly zjistit, zda na Marsu je nebo byl v minulosti život. Nenašly žádné stopy života, možná proto, že v půdě probíhá sterilizace: je vystavena ultrafialovému slunečnímu záření, je mimořádně suchá a chemické procesy v půdě mají oxidační povahu. Tyto zjištěné vlastnosti půdy zabráňují vzniku a udržení života na současném Marsu.

12.18 Curiosity

V současnosti je největší pojízdnou laboratoří na Marsu Curiosity. Toto vozítko přistálo na povrchu Marsu dne 6. srpna 2012 v oblasti kráteru Gale, který má v průměru 154 km. Vrstevnatá hora v kráteru je 5 km vysoká. Hlavním úkolem této laboratoře je výzkum chemického složení kamenů a půdy a testování obyvatelnosti Marsu pro mikroby. Laboratoř má laserové řezáky, spektroskopy, analyzátory a 17 kamer. Vozítko zkoumá desítky vzorků půdy i z vrtů do vrstevnaté skály v kráteru Gale. V nich by mohly být mikrobi a navíc je v nich zapsána geologická a klimatická historie Marsu.

Curiosity je pojízdná laboratoř již třetí generace, která je mnohem větší než všichni předchozí průzkumníci. Laboratoř nese také mnohem složitější vybavení a je schopná přímého průzkumu hornin a zemin, který provádí několika rozdílnými metodami v uzavřeném prostředí s přesně kontrolovatelnými vlastnostmi. MSL Curiosity je vybavena 17 kamerami, z nichž klíčové jsou tři systémy – MastCam s vysokým rozlišením na stožáru, MAHLI na robotickém rameni schopný snímat detaily velké jen 12,5 μm a MARDI určený pro detailní záznam povrchu při přistávacím manévru. Dalším typem výbavy jsou čtyři analytické experimenty, jejichž klíčovými přístroji

jsou zejména spektrometry. Tyto experimenty jsou navrženy k detailnímu geologickému a atmosférickému průzkumu. ChemCam ostřeluje laserem horniny a analyzuje odpařený materiál. APXS analyzuje složení hornin pomocí rentgenové spektroskopie a ostřelováním hornin částicemi alfa. Prostřednictvím experimentu CheMin by mělo být možné rozlišit detailní chemické složení minerálů, které v sobě váží vodu. Bylo by tak možné usuzovat na její přítomnost v době, kdy horniny vznikaly. Klíčovým fyzikálně chemickým experimentem je SAM, cca 40 kg velký komplex velikosti mikrovlnné trouby vybavený plynovým chromatografem a dvěma spektrometry. SAM obsahuje pec, ve které jsou vybrané vzorky půdy vyžehány při teplotě 1 000 °C a následně jsou analyzovány výsledky tohoto děje. Experiment je určen zejména pro vyhledávání organických uhlíkatých molekul a sloučenin. Curiosity je dále vybavena dvěma detektory radiace DAN a RAD, přístrojem MEDLI pro průzkum atmosféry při sestupném manévru a analyzátořem REMS měřícím fyzikální charakteristiky prostředí, ve kterém se laboratoř nachází. Curiosity je tedy komplexní pojízdná laboratoř, která by měla být schopná nashromáždit velmi detailní poznatky o povrchovém složení Marsu a jeho atmosféře v místech, kde se zrovna pohybuje.

12.19 Mars – může zde být život?

Nalevo nahoře vidíme řečiště Nanedi Vales. Toto 800 kilometrů dlouhé údolí bylo pravděpodobně vytvořeno tekoucí vodou. Vlevo dole je fotografie velmi zajímavého dvojitého Lowellova kráteru. Na jeho dně je dobře patrná jinovatka. Na dolním prostředním snímku je 154 kilometrů široký kráter Gale. Nachází se u Marsova rovníku a v jeho blízkosti v roce 2012 přistálo robotické vozítko Curiosity. Meteorit zobrazený v pravém sloupci k nám na Zemi připutoval až z Marsu. Obsahuje cyklické uhlovodíky neobvyklého složení a tvaru, které by podle některých vědců mohly nějak souviset s životem. Většina vědců je ale přesvědčena, že takové útvary vznikly chemickou cestou, například při růstu krystalů.

Viz také snímek 5.20.

12.20 Extrasolární planety

Hledání stop života probíhá i na extrasolárních planetách. Na počátku roku 2013 jich bylo známo téměř 900. Jednou z metod jejich objevování je měření poklesu jasnosti materské hvězdy při přechodu planety přes disk hvězdy. Pokud se planeta ocitne mezi Zemí a hvězdou, prozradí ji pokles jasnosti hvězdy. Tohoto jevu využívá i vesmírná observatoř Kepler, která v souhvězdí Labutě sleduje jasnost statisíce hvězd slunečního typu. Konkurenční metodou je zjišťování planety ze změn rychlosti materské hvězdy, za kterou obíhající planeta gravitačně táhne.

51 Peg b je první objevená exoplaneta u Slunci podobné hvězdy. Podle hrdiny, který zkrotil okřídleného koně Pegasa, dostala název *Bellerophon*. Byla objevena u hvězdy 51 v souhvězdí Pegasa ze změn radiální rychlosti hvězdy. Hvězda 51 Peg se svou planetou 51 Peg b jsou ve vzdálenosti 50 světelných roků od Sluneční soustavy. Planetu objevili astronomové Michel Mayor a Didier Queloz v roce 1995 na observatoři Haute-Provence v Jižní Francii. Z křivky radiálních rychlostí hvězdy se ukázalo, že planeta 51 Peg b, která pozorovaný radiální pohyb hvězdy 51 Peg způsobuje, oběhne hvězdu jednou za 4,2 dny (což je její „rok“). Hmotnost planety je asi polovina hmotnosti Jupiteru (asi 160 hmotností Země). Planeta obíhá svou hvězdu ve vzdálenosti 7,5 milionů kilometrů. To je velmi blízko hvězdě, a proto je teplota planety vysoká (asi 1 000 °C).

12.21 Kepler a Corot

K nejvýznamnějším zařízením hledajícím extrasolární planety patří vesmírné observatoře Kepler a Corot. Kepler je americká sonda z roku 2009. Na palubě má Schmidtův dalekohled o průměru 1,5 metru a fotometr složený ze 42 CCD čipů. Pozoruje fixní výsek oblohy v souhvězdí Labutě o průměru 12°. V roce 2012 byla mise prodloužena do roku 2016. Corot je evropská družice, která vznikla na základě spolupráce Francouzské kosmické agentury a Evropské kosmické agentury. Název má připomínat francouzského malíře Jana Baptista Camilla Corota. Družice startovala na konci roku 2006 z kosmodromu Bajkonur. Má dalekohled o průměru 27 cm. V roce 2012 bylo se sondou ztraceno spojení. Pokusy o jeho obnovení byly neúspěšné.

Keplerův dalekohled je americká sonda umístěná v libračním bodě L2 (1,5 milionů km za Zemí směrem od Slunce). Pomocí velmi citlivého fotometru měří jemný pokles jasnosti hvězd způsobený přechodem její planety před diskem hvězdy. Je tak citlivý, že měří přechod planet velikosti naší Země. Dalekohled je zastíněn slunečními panely před zářením Země a Slunce. Zároveň stínící fotovoltaické panely dodávají elektrickou energii pro chod dalekohledu a jeho spojení se Zemí. Dalekohled míří do jediného místa oblohy, které bylo vybráno v souhvězdí Labutě.

COROT (*C*onvection *R*otation and *p*lanetary *T*ransits) byla evropská družice pro objevování extrasolárních planet, která se pohybovala ve výšce 900 km, měla hmotnost 670 kg a dalekohled o průměru 27 cm. Doba mise se předpokládala na 2,5 roku, ale postupně byla prodloužována až do roku 2015. V roce 2012 se družice ovšem odmlčela a spojení se nepodařilo obnovit.

Extrasolární planety – viz snímek 12.20.

12.22 ⑥ Voda ve Vesmíru

Voda nebyla ve Vesmíru odjakživa, ale vznikala během jeho vývoje. V raném Vesmíru nemohly její molekuly ani existovat, neboť byl velmi žhavý. Dnes je vody ve Vesmíru mnoho a nová stále vzniká. Co do počtu jsou molekuly vody v dnešním Vesmíru po molekulách vodíku vůbec nejhojnějšími. Ve Velké mlhovině v Orionu lze ze spektra vypočítat množství vody, které vzniká u rodících se 153 slunečních soustav. Za jeden den je to celkem množství srovnatelné se všemi oceány na Zemi. Neuvěřitelná kvanta vody odhalily dalekohledy i u některých kvazarů – galaxií s obří černou dírou.

Kde a jak se rodí voda? Voda ve studánce jen pramení, vytéká ze země, ale nevzniká tam. Vznikala totiž v době, kdy se v obrovském oblaku plynů a prachu – ve Sluneční mlhovině – rodila naše Sluneční soustava. To bylo před pěti miliardami roků někde v naší Galaxii, odkud doputovala do Orionova ramene, kde se nachází dnes.

12.23 Voda u rodícího se Slunce

Voda, ve které se koupeme a kterou pijeme, vznikla asi před pěti miliardami roků, v období, kdy se rodilo Slunce. Molekula vody byla složena z atomu kyslíku vytvořeného mateřskou obří hvězdou a ze dvou atomů vodíku – nejstarších atomů vůbec. Potřebnou energii dodal výtrysk z Protoslunce, který zahřál plyny nad diskem, takže došlo ke spojení vodíku s kyslíkem. Stejným způsobem vzniká voda u jiných rodících se hvězd, například ve Velké mlhovině v Orionu. Na Zem přinesly vodu komety asi před 4,5 miliardami roků, tedy brzy po jejím vzniku.

Rodící se hvězdy (protohvězdy) vystřelují od pólů proudy žhavých plynů (peckovým efektem), které dodávají aktivační energii okolnímu vodíku a kyslíku, potřebnou k jejich sloučení na vodu. Takových výtrysků z rodících se hvězd je známo mnoho. Pohybují se rychlostí několika set kilometrů za sekundu a po několika tisících roků se rozplynou v mezihvězdném prostoru. Jsou nazvány po Američanovi George Herbigovi a Mexičanovi Guillermo Harovi, kteří nezávisle zkoumali tyto přechodné výtrysky provázející vznik hvězd.

Voda u rodícího se Slunce – viz také snímek 6.26.

Molekula vody – viz snímek 6.26.

Peckový jev – viz snímek 9.18

Slunce – viz prezentace 4.

12.24 Velká mlhovina v Orionu

O tom, kde a jak se rodí voda v obrovských množstvích, nám dává jasný obraz Velká mlhovina v Orionu. Lze ji dobře vidět i pouhým okem na zimní obloze uprostřed Orionova meče. Je složena především z vodíkových molekul, ale v menším množství jsou v ní i jiné molekuly, například kyslíku, oxidů uhlíku a řada dalších. Velká mlhovina v Orionu je vzdálená od Sluneční soustavy 1 500 světelných roků. Světlo, které dopadá do našeho oka, vyletělo z mlhoviny v době stěhování národů. Hubbleův dalekohled v ní našel přes 150 rodících se planetárních soustav. U některých protoplanetárních disků jsou patrné výtrysky, ve kterých vzniká voda v obrovském množství.

Velká mlhovina v Orionu (M 42, NGC 1976) je rozsáhlá emisní mlhovina v zimním souhvězdí Orionu. Lze ji dobře vidět pouhým okem uprostřed Orionova meče. Je od nás vzdálena 1 500 ly. Ve skutečnosti je viditelná mlhovina jen malou částí obřího molekulárního oblaku, a to na jeho bližší straně k nám. Obří oblak zahluje celé souhvězdí Orionu a patří do něho i Koňská hlava, Plamenná mlhovina, Barnardova smyčka a reflexní mlhovina M 78. Celý komplex mlhovin v Orionu lze však vidět pouze na snímcích s dlouhou expozicí. Velká mlhovina je oblast ionizovaného vodíku (H II). Je buzena k záření mladou čtyřhvězdou Lichoběžník (Trapez), která intenzivně ozařuje mlhovinu, neboť zářivost všech čtyř hvězd je 300 000× větší než sluneční zářivost. Hmotnost každé hvězdy Lichoběžníku se rovná několika desítkám slunečních hmotností. Ultrafialové záření je mlhovinou pohlcováno, její atomy jsou ionizovány a excitovány. Při rekombinaci a deexcitaci mlhovina vysílá světlo (v němž mlhovinu vidíme), rádiové, infračervené a rentgenové záření. M 42 je jednou z nejbližších oblastí překotného zrodu hvězd. Mimo vyspělých hvězd asociace (které jsou na hlavní posloupnosti) jsou v ní ještě objekty v různých vývojových stadiích: temné mlhoviny, globule, protohvězdy, nedospělé hvězdy typu T Tauri, osamocené planety a mnoho protoplanetárních disků.

12.25 Složení kometárního jádra

Z infračerveného spektra pořízeného Spitzerovým dalekohledem určili astronomové složení nitra komety Tempel 1. Stejně pozemské materiály ve stejném poměru uložili do misek. Znázornili tak nejen materiál komety, ale i jeho poměrné množství v kometě. Vodní led je v černé misce vlevo nahoře; suchý led neboli oxid uhličitý je v misce vpravo nahoře. Na odměrkách odleva doprava je připraven olivín; jílový minerál smektit; polycyklické aromatické uhlovodíky; hlinitan hořečnatý neboli spinel a železo. Volně ložené vpředu odleva naleznete křemičitan hořečnatý neboli enstatit; uhličitán vápenato-hořečnatý neboli dolomit a sulfid železa neboli markazit. Smísením všech ingrediencí získáte stejnou

látku, jaká se nachází v jádře komet a jaká byla v protoplanetárním disku, z něhož před 4,7 miliardami roků vznikala naše planetární soustava.

Složení kometárního jádra – viz také snímek 6.22.

12.26 Vodní planeta – rozdělení zásob vody na Zemi

Země je vodní planeta. Kdyby byl obsah všech oceánů rovnoměrně rozprostřen po celé Zemi – voda by vytvořila vrstvu silnou 3 kilometry. Voda způsobuje namodralou barvu Země. Z celkového množství vody na Zemi je 97 % v oceánech a mořích. Odtud se výparem jako plyn dostává do atmosféry. Kdyby všechna voda z atmosféry spadla na zem, pokryla by povrch Země vrstvou vysokou asi 2,5 cm. Život je zcela na vodě závislý. Většina živočišných druhů žije ve vodě. Poměrně malý počet se za poslední půlmiliardy roků přizpůsobil životu na pevnině. I v jejich organizmech hraje voda podstatnou roli.

Na snímku je rozdělení zásob vody na Zemi podle ČHMÚ (Českého hydrometeorologického ústavu). Celkově je na Zemi 1 386 milionů km³ vody.

12.27 ⑦ Přenos života ve Vesmíru

Přenos života mezi planetárními soustavami je základní myšlenka teorie panspermie. Přenašečem mikroorganismů by mohly být planetky či komety – vymršťené z gravitačního pole hvězdy jevem gravitačního praku. Dosud nevíme, zda poslední společný předchůdce života na naší vychládající planetě – nazývaný LUCA – byl přinesen do Sluneční soustavy z jiné nesluneční planety nebo vznikl přímo na Zemi z organických molekul pozemského původu nebo z organických látek donesených z protoplanetárního disku.

Panspermie je názor o vzniku života na Zemi. Zastánci panspermie (například Svante Arrhenius v roce 1901, Sir Fred Hoyle a Chandra Wickramasinghe v roce 1977 a R. E. Davies v roce 1988) mají za to, že život byl na Zemi přinesen („zaset“). Vznikl jinde ve Vesmíru během několika miliard let. Objevil se na Zemi časně (když ještě nevychladla a teplé prostředí bylo rozvoji života příznivé). Komety nebo zrnka mezihvězdného prachu přinesly na Zemi spóry či zlomky genetického materiálu. Genetická a metabolická rozmanitost v dnešních mikroorganismech už pravděpodobně existovala v době před 3,5 miliardami let.

Abiogeneze je představa o vzniku organismů přímo na Zemi. K tomu potřebné organické molekuly ovšem vznikaly již v protoplanetárním disku Sluneční soustavy a byly sem zavlčeny spolu s vodou převážně kometami.

12.28 Aminokyseliny v meteoritu

Uhlikatý meteorit Murchison byl nalezen v Austrálii v roce 1969, když se při letu rozpadnul na několik kousků. Meteorit obsahuje řadu aminokyselin – základních stavebních jednotek pro život. Na prostředním snímku jsou dva útvary připomínající fosilie. Dnes převládá názor, že podobné struktury jsou anorganického původu. V meteoritu je nicméně prokazatelně velké množství rozmanitých organických molekul. Jsou to molekuly, které vznikly na zrnkách mateřské globule, z níž se zrodila Sluneční soustava.

Meteorit Murchison – viz snímek 6.25

12.29 ⑧ Styk s jinými galaktickými společenstvími

Vědci si často kladou otázku, proč nebyla naše civilizace kontaktována nějakou jinou, vyspělejší civilizací. Na to existují tři možné odpovědi. Prvou možností je, že taková vyspělá civilizace neexistuje. Druhou je, že takové civilizace existují, ale na určitém stupni vývoje se samy zničí v důsledku tzv. technologické krize. Poslední možností je, že prostě o styk s námi nestojí.

Někteří astrobiologové považují fakt, že s námi vyspělé civilizace nekomunikují, za důkaz jejich inteligence. Znakem inteligence je účelnost jednání a komunikace s námi by mohla být bezúčelná. Karikaturista Bill Watterson to vyjádřil slovy: „*Domnívám se, že nejpádňějším důkazem existence inteligentního společenství ve Vesmíru je to, že nás dosud žádné nekontaktovalo.*“

ATA (Allen Telescope Array) je budovaná soustava antén o rozloze asi jeden hektar. Nazvána byla podle spoluzakladatele Microsoftu Allena, který systém dotoval 11 milionů dolarů. Po dokončení bude mít 350 antén o průměru 6 metrů a rozsahu 500 MHz až 11,2 GHz. Allenův systém je budován 450 km severně od San Francisca v blízkosti rádiové observatoře Hat Creek. Antény budované sítě jsou na pozadí snímku.

12.30 Poselství mimozemšťanům na sondách Pioneer

Sondy Pioneer z počátku 70. let 20. století mají na svém plášti připevněnou plaketu s poselstvím mimozemským civilizacím. Tyto sondy jsou první výtvoři lidských rukou mířící do mezihvězdného prostoru. Na plaketách jsou základní informace o nás – jak vypadáme, kde jsme v Galaxii a kde ve Sluneční soustavě. Deska je spíše určena pro nás, pozemšťany, neboť pravděpodobnost, že ji zachytí nějaké galaktické společenství je nesmírně malá.

Pioneer 10 je americká sonda, u které byla poprvé použita při startu nosná třístupňová raketa Atlas/Centaur. Třetí stupeň vyvinul rychlost nutnou k cestě k Jupiteru. Pioneer 10 minul Jupiter ve vzdálenosti 130 354 km, pořídil první blízké snímky planety, zmapoval silné radiační pásy a zjistil, že Jupiter je převážně kapalný. Po opuštění Jupiteru sonda zkoumala sluneční vítr a kosmické záření ve vnějších oblastech Sluneční soustavy. 31. března 1997 byla mise formálně ukončena ve vzdálenosti 10×10^9 km. V roce 2012 byla sonda 107 AU daleko od Země a pohybovala se rychlostí 12 km s^{-1} vzhledem ke Slunci, směrem do souhvězdí Býka.

Pioneer 11 byl také vynesena raketou Atlas/Centaur. Sonda minula Jupiter ve výšce 43 000 km nad oblačným příkrovem a byla jeho gravitačním polem urychlena na 173 000 km/h směrem k Saturnu. Pioneer 11 získal snímky Velké červené skvrny, poprvé fotografoval polární oblasti planety a určil hmotnost měsíce Callista. K Saturnu se sonda přiblížila na pouhých 10 000 km, pořídila snímky planety a prstenců, objevila dva nové měsíce, sledovala Saturnovu magnetosféru a měsíc Titan. Po průletu sledoval Pioneer 11 sluneční vítr a kosmické záření ve vnějších oblastech Sluneční soustavy. V září 1995 byly vyčerpány zásoby energie sondy a v listopadu 1995 ztraceno spojení (anténa nemohla být pro nedostatek energie přesměrována směrem k Zemi). V roce 2012 byla sonda 86 AU daleko od Země a pohybovala se rychlostí 11 km s^{-1} vzhledem ke Slunci, směrem do souhvězdí Štítu.

12.31 Poselství na Voyagerech

Kosmické sondy Voyager 1 a Voyager 2 byly vypuštěny v roce 1977, aby zkoumaly zblízka obří planety, a pak zanesly do kosmu zprávu o nás. Na pozlacené měděné desce (o průměru 30 cm) jsou dány instrukce jak desku přehrávat pomocí přiloženého náčiní. Deska obsahuje zvukový i obrazový materiál o planetě Zemi. Jsou na ní přirozené zvuky – například vítr, bouře, ptáci a jiná zvířata, hudební ukázky z různých kultur, pozdravy v 55 jazycích včetně češtiny. Přes sto obrazů dokumentuje život na Zemi. Životnost nahrávky je odhadována na miliardu roků – takže existuje malá, ale nenulová pravděpodobnost, že poselství od pozemšťanů by nějakí mimozemšťané mohli nalézt.

Sondy Voyager – viz snímky 1.15 a 11.7.

12.32 Rádiový teleskop v Arecibo, projekt SETI

Do přirozené krasové vápencové prohlubně je zabudována anténa nejvýkonnějšího rádiového dalekohledu a radaru Arecibo. Průměr antény je 304 metrů. Povrch tvoří 40 000 hliníkových desek. Nad reflektorem ve výšce 130 m je ohnisko na posuvné plošině o hmot-

nosti 900 tun zavěšené na ocelových kabelech napjatých mezi třemi železobetonovými věžemi. Radioteleskop byl uveden do provozu v roce 1963 a má za sebou celou řadu objevů. Radioteleskop se také zapojil do projektu SETI, jehož cílem je hledání mimozemských civilizací. V roce 1974 vyslal poselství ke kulové hvězdokupě M 13 v souhvězdí Herkula. Poselství tam poletí dlouhých 23 000 roků.

SETI (*Search for ExtraTerrestrial Intelligence*) je projekt hledání mimozemských inteligentních bytostí u blízkých hvězd. Původní název byl CETI (*Communication with ExtraTerrestrial Intelligence*, dorozumívání s mimozemskými inteligentními bytostmi). Změna názvu koresponduje se změnou náplně projektu, která byla přesměrována z aktivního hledání na pasivní odposlouchávání inteligentních signálů (odposlech jejich rozhlasu či televize, nebo účelně směřovaného poselství). Průkopnickým programem SETI byla OZMA v roce 1960.

Odposlouchává se několik set hvězd na různých vlnových délkách (především 3 až 30 cm, kde je minimum šumu z naší atmosféry a z mezihvězdného prostředí). Často je používána vodíková čára 21 cm, neboť tuto vlnovou délku používají mnozí astronomové ke studiu mezihvězdného vodíku. Problémem zůstává, které hvězdě (přesně řečeno její planetě), kdy a na které vlně naslouchat. Na internetu je projekt seti@home, do něhož se zapojuje mnoho dobrovolníků po celém světě. Pomáhají hledat inteligentní signál v obrovském přívalu dat, která o rádiové obloze chrlí radioteleskopy. V roce 1993 přestal být tento program NASA financován Kongresem. Jeho pokračovatelem je od února roku 1995 program Phoenix.

12.33 Hvězdokupa M 13 – první adresát

Prvním adresátem se stala velká kulová hvězdokupa v souhvězdí Herkula, která má v Messierově katalogu označení M 13. Na ploše oblohy menší než disk Měsíce je ve hvězdokupě soustředěno více než milion hvězd. Je od nás vzdálena 23 tisíce světelných roků. Radarem v Arecibu byla ke hvězdokupě zaslána na frekvenci 2 380 MHz dne 16. listopadu 1974 zpráva o pozemšťanech. Pravděpodobnost zachycení je nenulová, neboť ve hvězdokupě je velké množství hvězd a pravděpodobně i planetárních soustav. Tyto hvězdy jsou staré deset miliard roků, takže žijí dostatečně dlouho, aby tamní inteligentní bytosti překonaly technologickou krizi a pochopili smysl existence ve Vesmíru. Případná odpověď přijde našim potomkům až za 46 tisíc roků, tedy pokud překonají technologickou krizi a nezničí život na Zemi.

Inteligentní příjemce poselství by měl poznat, že 1 679 je číslo složené ze dvou prvočísel tj. 73 a 23. Síť 73 řádků a 23 sloupců, v níž se střídají jednotky a nuly je opatřena vysvětlujícím klíčem.

12.34 Drakeova rovnice

Slavná Drakeova rovnice je pokusem odhadnout počet mimozemských civilizací v Galaxii. Uveřejnil ji americký radioastronom Francis Drake. Rovnice obsahuje sedm mezi sebou vynásobených neznámých parametrů: průměrný počet nově vzniklých hvězd v Galaxii, podíl hvězd s planetami, průměrný počet planet v planetárním systému s možností života, podíl z těchto planet, kde se život opravdu vyvine, podíl z dosud spočítaných planet, kde se vyvine inteligentní život, podíl civilizací, které během své existence do Vesmíru vyslou zachytitelné signály a doba, po kterou takové civilizace tyto signály vysílají. Žádný z těchto parametrů neznáme přesně, a tak je skutečný význam rovnice diskutabilní a počet civilizací v naší Galaxii je stále velkou neznámou.

Vzhledem k značné neurčitosti jednotlivých činitelů v rovnici se konečné odhady počtu inteligentních technologicky vyspělých galaktických společenství v Galaxii značně liší od autora k autorovi. Většina se jich však shoduje, že N může být maximálně 10 000. Vzdálenosti mezi nimi by pak v průměru byly stovky světelných roků. Při omezené rychlosti světla je dorozumívání galaktických společenství velice zdoluhavé a rychlejší předávání informací než rychlostí světla je vyloučené. Drakeova rovnice nám – pro nejistotu jednotlivých členů – bohužel žádnou informaci o existenci života ve Vesmíru neřekne, ale dnes se používají její různé modifikace využívající teorii pravděpodobnosti. Francis Drake byl ředitelem rádiové observatoře v Green Banku (Západní Virginie).

Zdroje k dvanácté prezentaci

- 12.1 <http://www.eso.org/public/images/potw1222a/>
- 12.2 http://apod.nasa.gov/apod/image/0611/m42_christensen_big.jpg
- 12.3 <http://www.spitzer.caltech.edu/images/1460-ssc2005-15b-Ingredients-for-Life>
- 12.4 <http://www.spitzer.caltech.edu/images/4777-sig11-019-All-Eyes-on-Oldest-Recorded-Supernova>
- 12.5 <http://www.futura-sciences.com/fileadmin/Fichiers/images/Univers/allende-big.jpg>
<http://www.litos.net/tienda/condritas-carbonaceas/799-allende.html>
http://www.nasa.gov/images/content/578295main_callahan_cover_illustration.jpg
<http://media3.washingtonpost.com/wp-srv/photo/gallery/101028/GAL-10Oct28-6235/media/PHO-10Oct28-263878.jpg>

- <http://naturfag1ste2010.pbworks.com/w/page/33594317/forskjellige%20n%C3%A6ringsstoffer%20Marius%20R>
- 12.6 <http://spaceflight.nasa.gov/gallery/images/apollo/apollo17/html/as17-148-22727.html>
<http://www.flickr.com/photos/lightsinthedark/7092251831/sizes/h/in/photostream/>
 - 12.7 http://en.wikipedia.org/wiki/File:Geological_time_spiral.png
 - 12.8 <http://visibleearth.nasa.gov/view.php?id=2181>
www.aldebaran.cz
 - 12.9 http://en.wikipedia.org/wiki/File:Grand_prismatic_spring.jpg
 - 12.10 <http://www.redorbit.com/images/pic/62121/extremophiles-live-in-shocking-extremes/>
 - 12.11 http://www.usuhs.mil/pat/deinococcus/FrontPage_DR_Web_work/front_pictures/R1.pdf
<http://www.sciencemag.org/content/332/6034/1163.full.pdf>
http://arkadikuss.files.wordpress.com/2012/09/tekst_pyrococcus_furiosus1.jpg
 - 12.12 <http://media.daz.ni.cz/photos/2011/08/23/8069-brouk.jpg>
http://www.baertierchen.de/wb_c_premium.html
<http://www.astronomie.de/typo3temp/pics/b92decda3.jpg>
video: http://www.baertierchen.de/sweets_e.html
 - 12.13 http://www.visions05.washington.edu/science/investigations/smoker_dev.html
 - 12.14 http://hirise.lpl.arizona.edu/ESP_019351_1795
http://hirise.lpl.arizona.edu/ESP_011386_2065
<http://apod.nasa.gov/apod/ap070928.html>
http://hirise.lpl.arizona.edu/PSP_009488_1745
 - 12.15 <http://en.spaceengine.org/forum/22-1191-1>
<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/eb/Jupiter.moons1.jpg>
 - 12.16 <http://blogimg.eastday.com/attaches/2010-12-24/182347918628/182347918628.jpg>
 - 12.17 Video: <http://svs.gsfc.nasa.gov/vis/a010000/a011000/a011057/index.html>
 - 12.18 http://www.nasa.gov/mission_pages/msl/multimedia/gallery/pia14156.html
 - 12.19 http://www.esa.int/esaMI/Mars_Express/SEM7F6OFGLE_1.html
<http://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA02836>
http://apod.nasa.gov/apod/image/1107/GaleCraterMars_themis.jpg

- <http://www.lpi.usra.edu/lpi/meteorites/Themeteorite.gif>
<http://www.lpi.usra.edu/lpi/meteorites/Thinsection.html>
<http://www.lpi.usra.edu/lpi/meteorites/Photomicrograph.gif>
- 12.20 <http://www.spitzer.caltech.edu/video-audio/746-ssc2005-09v3-How-to-Measure-a-Planetary-Eclipse>
<http://www.redorbit.com/media/uploads/2010/01/13bfde61b5d97f347d0b25ae6618a6ca.jpg>
 - 12.21 <http://www.kepler.arc.nasa.gov/multimedia/artwork/artistsconcepts/?ImageID=23>
http://smc.cnes.fr/IcCOROT/vue_artiste/corot_etoiles.jpg
 - 12.22 <http://good-wallpapers.com/nature/5329>
 - 12.23 <http://lilspaceoddties.files.wordpress.com/2011/11/water.jpg>
archiv autora
 - 12.24 <http://apod.nasa.gov/apod/ap090222.html>
 - 12.25 <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hyakutake.jpg>
<http://www.spitzer.caltech.edu/news/864-feature06-32-Asteroids-Comets-and-Planets-Cut-from-the-Same-Cloth->
 - 12.26 <http://visibleearth.nasa.gov/view.php?id=57730>
 - 12.27 <http://prdesign.ca/create-a-planetary-asteroid-impact-%E2%80%93-psd-premium-tutorial/>
 - 12.28 <http://www.panspermia.org/comets.htm#27ref>
 - 12.29 <http://theperfectsilence.com/wp-content/uploads/2009/08/allenarray.jpg>
 - 12.30 http://en.wikipedia.org/wiki/File:Pioneer_plaque.svg
<http://grammarandspace.blogspot.cz/>
http://solarsystem.nasa.gov/docs/72401main_AC72-1281.jpg
 - 12.31 http://phobos.physics.uiowa.edu/_Media/voyager-100.jpeg
http://voyager.jpl.nasa.gov/spacecraft/images/golden_record_cover.gif
http://en.wikipedia.org/wiki/File:The_Sounds_of_Earth_-_GPN-2000-001976.jpg
 - 12.32 <http://www.naic.edu/public/about/photos/hires/aoviews.html>
 - 12.33 archiv autora
<http://apod.nasa.gov/apod/ap100527.html>
 - 12.34 <http://fraknoi.blogspot.cz/2012/09/searching-for-intelligence-among-stars.html>

Tabulky

Základní třídy Harvardské klasifikace

TŘÍDA	BARVA	TEPLOTA (K)	Spektrum
W	UV	80 000	široké emisní čáry H, He
O	modrá	35 000	absorpční čáry He ⁺ , UV kontinuum
B	modrá	20 000	čáry neutrálního He
A	modrobílá	10 000	čáry vodíku, výskyt čar Ca II
F	bílá	7 500	slábnou čáry H, sílí Ca II, čáry dalších kovů
G	žlutavá	6 000	dominuje Ca II, Fe silné, H poněkud slabší
K	oranžovo-červená	4 500	neutrální kovy, výskyt pásů CH a CN
M	červená	3 500	dominují pásy TiO
L	tmavočervená	2 000	pásy molekul FeH, CrH, H ₂ O, CO ₂
T	IR	1 500	IR čáry metanu
Y	IR	< 600	absorpční čára 1,55 μm (čpavek?)

Vlastnosti terestrických planet

PARAMETR	MERKUR	VENUŠE	ZEMĚ	MARS
velká poloosa (AU)	0,39	0,72	1,0	1,5
poloměr (R_Z)	0,38	0,95	1,00	0,53
hmotnost (M_Z)	0,05	0,89	1,00	0,11
hustota (g cm ⁻³)	5,43	5,25	5,52	3,95
sklon dráhy (°)	7	3,394	0,000	1,850
výstřednost dráhy	0,2056	0,0068	0,0167	0,0934

Vlastnosti Země

ZÁKLADNÍ PARAMETRY	HODNOTA
hmotnost	$5,9736 \times 10^{24} \text{ kg}$
rovníkový poloměr	6 378 km
polární poloměr	6 356 km
střední poloměr	6 371 km
poloměr jádra	3 485 km
zploštění	0,0034
střední hustota	$5,520 \text{ g cm}^{-3}$
tíhové zrychlení	$9,78 \text{ m s}^{-2}$
úniková rychlost	$11,186 \text{ km s}^{-1}$
sluneční konstanta	$1\,380 \text{ W m}^{-2}$
teplota povrchu	260 K až 310 K
nejvyšší bod na povrchu:	Mount Everest (přes 8 km nad mořem)

PARAMETRY ATMOSFÉRY ZEMĚ	HODNOTA
tlak na povrchu:	1014 mb
hustota na povrchu	$1,217 \text{ kg m}^{-3}$
výškový stupeň	8,5 km
denní rozsah teplot	283 K až 293 K
rychlost větrů	od 0 do 100 m s^{-1}
střední molekulová hmotnost	$28,97 \text{ g mol}^{-1}$
složení suchého vzduchu (obj. %)	dusík (N_2) 78,084 %; kyslík (O_2) 20,946 %; ostatní (ppm obj.): argon (Ar) 9340; oxid uhličitý (CO_2) 350; neon (Ne) 18; obsah vody (H_2O) je velmi proměnlivý, typicky je kolem 1 %

PARAMETRY POHYBU ZEMĚ	HODNOTA
trvání jedné otočky (360°)	0,99727 dne, tj. 23,9345 h
velká poloosa	149,6 × 10 ⁶ km (1,00000011 AU)
hvězdný rok	365,256 dne
tropický rok	365,242 (365 d 5 h 48 min 45,7 s)
perihélium	147,1 × 10 ⁶ km
afélium	152,1 × 10 ⁶ km
střední rychlost na dráze	29,79 km s ⁻¹
sklon dráhy	0,00°
výstřednost dráhy	0,01671022
hvězdný den	23,9345 h
sklon ekliptiky	23,45°
délka perihélia	102,94719° (pro rovnodennost 2000)

Významnější noční meteoritické roje

NÁZEV ROJE	ČINNÝ OD – DO	RADIANT (α , δ)	HODINOVÁ FREKVENCE
Quadrantidy	28. 12. – 7. 1.	15h 28m, 50°	30
(Dubnové) Lyridy	19. 4. – 24. 4.	32h 12m, 32°	12
Éta Aquaridy	3. 5. – 8. 5.	22h 24m, 0°	20
(Červnové) Lyridy	10. 6. – 21. 6.	18h 32m, 35°	8
Ophiuchidy	17. 6. – 26. 6.	17h 20m, -20°	6
Delta Aquaridy	24. 7. – 6. 8.	22h 36m, 0°	35
Alfa Piscidy	26. 7. – 5. 8.	22h 40m, -30°	8
Alfa Capricornidy	25. 7. – 9. 8.	20h 36m, -10°	8
Perseidy	1. 8. – 18. 8.	03h 04m, 58°	60
(Kapa) Cygnidy	19. 8. – 22. 8.	19h 20m, 55°	4
Giacobinidy	9. 10.	17h 35m, 55°	–
Orionidy	16. 10. – 26. 10.	6h 24m, 15°	30
Tauridy	25. 10. – 20. 10.	3h 44m, 14°	12

NÁZEV ROJE	ČINNÝ OD – DO	RADIANT (α , δ)	HODINOVÁ FREKVENCE
Cepheidy	7. 11. – 11. 11.	23h 30m, 63°	8
Leonidy	15. 11. – 19. 11.	10h 08m, 22°	15
Geminidy	8. 12. – 14. 12.	7h 28m, 33°	55
Ursidy	20. 12. – 23. 12.	14h 28m, 76°	10

Seznam souhvězdí

Za latinským názvem je uveden druhý pád, který se užívá k označení hvězd; například α And se čte alfa Andromedae, a znamená to hvězda označená řeckým písmenem alfa, která se nachází v souhvězdí Andromédy. Podobně γ CVn čteme gama Canum Venaticorum, ε Gru je epsilon Gruis atd.

ČESKÝ NÁZEV	LATINSKÝ NÁZEV, DRUHÝ PÁD	ZKRATKA
ANDROMEDA	Andromeda, Andromedae	And
BERAN	Aries, Arietis	Ari
BLÍŽENCI	Gemini, Geminorum	Gem
BÝK	Taurus, Tauri	Tau
CEFEUS	Cepheus, Cephei	Cep
DALEKOHLED	Telescopium, Telescopii	Tel
DELFÍN	Delphinus, Delphini	Del
DRAK	Draco, Draconis	Dra
DROBNOHLED	Microscopium, Microscopii	Mic
ERIDANUS	Eridanus, Eridani	Eri
FÉNIX	Phoenix, Phoenicis	Phe
HAD	Serpens, Serpentis	Ser
HADONOŠ	Ophiuchus, Ophiuchi	Oph
HAVRAN	Corvus, Corvi	Crv
HERKULES	Hercules, Herculis	Her

ČESKÝ NÁZEV	LATINSKÝ NÁZEV, DRUHÝ PÁD	ZKRATKA
HODINY	Horologium, Horologii	Hor
HOLUBICE	Columba, Columbae	Col
HONICÍ PSI	Canes Venatici, Canum Venaticorum	CVn
HYDRA	Hydra, Hydrae	Hya
CHAMELEÓN	Chamaeleon, Chamaeleontis	Cha
INDIÁN	Indus, Indi	Ind
JEDNOROŽEC	Monoceros, Monocerotis	Mon
JERÁB	Grus, Gruis	Gru
JEŠTĚRKA	Lacerta, Lacertae	Lac
JIŽNÍ KORUNA	Corona Austrina, Coronae Austrinae	CrA
JIŽNÍ KŘÍŽ	Crux, Crucis Cru	
JIŽNÍ RYBA	Piscis Austrinus, Piscis Austrini	PsA
JIŽNÍ TROJÚHELNÍK	Triangulum Australe, Trianguli Australis	TrA
KASIOPEJA	Cassiopeia, Cassiopeiae	Cas
KENTAUR	Centaurus, Centauri	Cen
KOMPAS	Pyxis, Pyxidis	Pyx
KONÍČEK	Equuleus, Equulei	Equ
KOZOROH	Capricornus, Capricorni	Cap
KRUŽÍTKO	Circinus, Circini	Cir
LABUŤ	Cygnus, Cygni	Cyg
LÉTAJÍCÍ RYBA	Volans, Volantis	Vol
LEV	Leo, Leonis	Leo
LIŠKA (LIŠTIČKA)	Vulpecula, Vulpeculae	Vul
LODNÍ KÝL	Carina, Carinae	Car
LODNÍ ZÁĎ	Puppis, Puppis	Pup
LYRA	Lyra, Lyrae	Lyr
MALÍŘ	Pictor, Pictoris	Pic
MALÝ LEV	Leo Minor, Leonis Minoris	LMi
MALÝ MEDVĚD	Ursa Minor, Ursae Minoris	UMi

ČESKÝ NÁZEV	LATINSKÝ NÁZEV, DRUHÝ PÁD	ZKRATKA
MALÝ PES	Canis Minor, Canis Minoris	CMi
MALÝ VODNÍ HAD	Hydrus, Hydri	Hyi
MEČOUN	Dorado, Doradus	Dor
MOUCHA	Musca, Muscae	Mus
OKTANT	Octans, Octantis	Oct
OLTÁŘ	Ara, Arae	Ara
OREL	Aquila, Aquilae	Aql
ORION	Orion, Orionis	Ori
PANNA	Virgo, Virginis	Vir
PASTÝŘ	Bootes, Bootis	Boo
PÁV	Pavo, Pavonis	Pav
PEC	Fornax, Fornacis	For
PEGAS	Pegasus, Pegasi	Peg
PERSEUS	Perseus, Persei	Per
PLACHTY	Vela, Velorum	Vel
POHÁR	Crater, Crateris	Crt
PRAVÍTKO	Norma, Normae	Nor
RAJKA	Apus, Apodis	Aps
RAK	Cancer, Cancri	Cnc
RYBY	Pisces, Piscium	Psc
RYDLO	Caelum, Caeli	Cae
RYS	Lynx, Lyncis	Lyn
SEVERNÍ KORUNA	Corona Borealis, Coronae Borealis	CrB
SEXTANT	Sextans, Sextantis	Sex
SÍŤ	Reticulum, Reticuli	Ret
SOCHAŘ	Sculptor, Sculptoris	Scl
STŘelec	Sagittarius, Sagittarii	Sgr
ŠÍP	Sagitta, Sagittae	Sge
ŠTÍR	Scorpius, Scorpii	Sco

ČESKÝ NÁZEV	LATINSKÝ NÁZEV, DRUHÝ PÁD	ZKRATKA
ŠTÍT	Scutum, Scuti	Sct
TABULOVÁ HORA	Mensa, Mensae	Men
TROJÚHENÍK	Triangulum, Trianguli	Tri
TUKAN	Tucana, Tucanae	Tuc
VÁHY	Libra, Librae	Lib
VELKÁ MEDVĚDICE	Ursa Major, Ursae Majoris	UMa
VELKÝ PES	Canis Major, Canis Majoris	CMA
VELRYBA	Cetus, Ceti	Cet
VLASY BERENIKY	Coma Berenices, Comae Berenices	Com
VLK	Lupus, Lupi	Lup
VODNÁŘ	Aquarius, Aquarii	Aqr
VOZKA	Auriga, Aurigae	Aur
VÝVĚVA	Antlia, Antliae	Ant
ZAJÍC	Lepus, Leporis	Lep
ŽIRAFA	Camelopardalis, Camelopardalis	Cam

Vlastnosti Měsíce

PARAMETR	HODNOTA
hmotnost	$750 \times 10^{20} \text{ kg}$
průměrná hustota	$3,34 \text{ g cm}^{-3}$
albedo	7 %
úniková rychlost	$2,38 \text{ km s}^{-1}$
vzdálenost od Země	384 000 km
oběžná doba (360°)	27,322 dne (siderický měsíc)
vystřídání fází	29,5 dne (synodický měsíc)
rychlost na dráze	1 km s^{-1}
sklon dráhy k ekliptice	5°

Názvy měsíčních moří

LATINSKÝ NÁZEV	ČESKÝ NÁZEV	PRŮMĚR
Mare Anguis	Hadí moře	150 km
Mare Australe	Jižní moře	603 km
Mare Cognitum	Moře poznání	376 km
Mare Crisium	Moře nepokojů	418 km
Mare Fecunditatis	Moře hojnosti (plodnosti)	909 km
Mare Frigoris	Moře chladu	1 596 km
Mare Humboldtianum	Humboldtovo moře	273 km
Mare Humorum	Moře vláh	389 km
Mare Imbrium	Moře dešťů	1 123 km
Mare Ingenii	Moře touhy	318 km
Mare Insularum	Moře ostrovů	513 km
Mare Marginis	Okrajové moře	360 km
Mare Moscoviense	Moskevské moře	277 km
Mare Nectaris	Moře nektaru	333 km
Mare Nubium	Moře oblaků (mraků)	715 km
Mare Orientale	Východní moře	327 km
Mare Serenitatis	Moře jasu	707 km
Mare Smythii	Smythovo moře	373 km
Mare Spumans	Zpěňené moře	139 km
Mare Tranquillitatis	Moře klidu	873 km
Mare Undarum	Moře vln	243 km
Mare Vaporum	Moře par	245 km
Oceanus Procellarum	Oceán bouří	2 568 km

Vlastnosti naší Galaxie

PARAMETR	HODNOTA
Hubbleův typ	Sb až Sc
poloměr galaktického disku	zhruba 50 000 ly
poloměr galaktické koróny	zhruba 100 000 ly
současná vzdálenost středu	Galaxie: zhruba 26 000 ly
poloha středu	$\alpha = 17^{\text{h}} 45,6^{\text{m}}$, $\delta = -28^{\circ}56'$
galaktický severní pól	$\alpha = 12^{\text{h}} 51^{\text{m}}$, $\delta = 27^{\circ}07'$
nulová galaktická délka	17h 46m
směr pohybu Slunce (do souhv. Labutě)	$\alpha = 21^{\text{h}} 12^{\text{m}}$, $\delta = 27^{\circ}07'$
rychlost pohybu Slunce	230 km s ⁻¹
současná výška Slunce nad galaktickou rovinou	25 ly
hmotnost zářivé hmoty Galaxie	> 200 mld. M_{S}
hmotnost nezářivé hmoty	zhruba bilion M_{S}
absolutní hvězdná velikost	-20,5 mag

Mise Apollo s lidskou posádkou

MISE	DATUM PŘISTÁNÍ	MÍSTO PŘISTÁNÍ	MIMO MODUL (HOD)	VZORKY (KG)
Apollo 11	20. 7. 1969	Mare Tranquillitatis	2,2	21,7
Apollo 12	19. 11. 1969	Oceanus Procellarum	7,7	34,4
Apollo 14	5. 2. 1971	Fra Mauro	9,2	42,9
Apollo 15	30. 7. 1971	Hadley Rille	18,3	76,8
Apollo 16	21. 4. 1972	Cayley-Descartes	20,1	94,7
Apollo 17	11. 12. 1972	Taurus-Littrow	22,0	110,5

Jednotky vzdálenosti v astronomii

AU, a. j. (*Astronomical Unit*, astronomická jednotka) je vedlejší jednotka délky soustavy SI, používaná v astronomii. Užívá se především pro vzdálenosti ve Sluneční soustavě. Byla definována jako střední vzdálenost Země od Slunce. Její velikost je přibližně 150 milionů kilometrů, což je bcca 500 světelných sekund. Roku 2012 bylo na Valném shromáždění IAU v Pekingu byla astronomická jednotka nově definována přesným převodním vztahem k metru: $1 \text{ AU} = 149\,597\,870\,700 \text{ m}$ (přesně). Detaily naleznete u snímku 1.24.

ly, sv. r. (*light year*, světelný rok) je jednotka vzdálenosti ve Vesmíru. Rovná se 63 240 astronomickým jednotkám a $9,460 \times 10^{12} \text{ km}$. Je to dráha, kterou urazí světlo (rychlostí $299\,792 \text{ km s}^{-1}$) za jeden rok (31 557 600 s). Údaj vzdálenosti ve světelných rocích udává dobu, kterou potřebuje světelný paprsek, aby k nám z hvězdy či jiného vesmírného objektu doběhl. Pro svou názornost se tato jednotka užívá běžně v populární literatuře a často i v odborné. Větší jednotkou, používanou v odborné literatuře, je parsek (pc). $1 \text{ ly} = 0,306 \text{ pc}$.

pc (parsek) je jednotka vzdálenosti ve Vesmíru. Ze vzdálenosti jednoho parseku se jeví velká poloosa zemské dráhy pod úhlem jedné úhlové vteřiny ($1''$). Hvězda v této vzdálenosti by tedy měla roční paralaxu rovnou jedné úhlové vteřině. Slovo vzniklo spojením slov paralaxa a sekunda. Hvězda s paralaxou π úhlových vteřin je vzdálena $1/\pi$ parseků. $1 \text{ pc} = 3,262 \text{ ly} = 206\,265 \text{ AU} = 3,086 \times 10^{12} \text{ km} = 3,086 \times 10^{15} \text{ m}$.

Rejstřík/glosář pojmů

- 2MASS 112
51 Peg b 367
abiogeneze 370
absolutně černé těleso 217, 305
absorpce selektivní 29
adaptivní optika – viz optika
aeroplankton 345
Afrodita 150
Achnaton 109
AIA 113
akrece 65, 112, 232–234, 249, 261, 262, 264, 287
aktivní
 galaktické jádro 255, 262, 263, 289, 334
 galaxie 255, 262, 281
 optika – viz optika
albedo 96, 187
Alfa Centauri 108
alfa částice 76, 77, 118, 145, 276, 299, 333, 366
ALH84001 154, 357
Allende 195, 196, 357, 359
ALMA 223, 263, 264
Almagest 141, 211
Altair 181
aminokyseliny 195, 196, 229, 317, 358–361, 371
AMS 2 30, 302
anabolizmus 134
Anděl (kráter) 91
Antares 199, 208, 213, 225
Antarktida 31, 154, 186, 330, 357
anihilace 47, 118, 122, 145, 298–304
anortozit 91–93
antapex 179
antigravitace 64, 76, 197, 269, 274, 291–293, 306, 315
antihmota 47, 293, 311, 302, 304
apex 178, 179, 226
apogeeum 86, 99
Apollo 28, 59–61, 68, 83–86, 89, 92, 93, 101, 102, 152, 272, 331, 346, 354
Apollon 109, 149
Ares 153
ASI 75
asociace 210, 240, 244–246, 369
aspekt 148
astenosféra 70
asterizmus 181
astrologie 141, 148, 162
astronomická jednotka 46, 144, 192
ATA 371
ATLAS V 87
atmosféra 27–54, 60, 69, 133, 151, 157, 160, 171
atom 53, 64, 224–226, 287–288, 299
Aura (EOS CH-1) 36
aurora – viz polární záře
aurorální ovál 42–43
baryon 120, 269, 304, 311, 340
Bayerovo značení 44
Beta Pictoris 113, 200, 201
Betelgeuze 44, 208, 210, 212, 213, 218, 217, 225, 227
Big Bear (observatoř) 96
biosféra 28, 59, 63, 71, 73, 96, 131, 132–134, 245, 166, 201, 208, 225, 276, 358, 360, 363, 364
blazar 263
bolid 36, 37, 40, 186

brekcie 91
 Cabeus (kráter) 87
 Cajal, Santiago Ramón 337
 Callisto 170, 188, 364, 382
 CCD detektor 221
 cefeidy 45, 49, 220, 258, 273
 celulóza 134
 Ceres 183, 184, 187
 CERN 298, 302, 308, 309, 313, 336
 Cernan Eugen 101, 102, 346
 CETI 373
 Ciolkovskij (kráter) 88
 CLASH 259
 CME – viz koronální výron hmoty
 Copernicus (kráter) 93
 COROT 367
 Curiosity 154, 165, 332, 333, 365, 366
 Cyg X1 234
 čedič 91, 93, 151, 167
 černá díra 47, 66, 147, 197, 220, 227,
 231–235, 240, 242, 243, 247–249,
 251, 252, 255, 256, 258, 260–264,
 277, 280, 281, 287, 309, 334, 339
 akreční disk 232–234, 249, 261, 262,
 264, 287
 výtrysk 233
 rádiový lalok 233, 255, 256, 262
 černí kuřáci 168, 358, 360, 363, 364
 Dactyl 183, 184
 dalekohled
 E-ELT 328–329
 Haleův 328
 Hubbleův (HST) 331
 obří Magellanův 329
 Spitzerův (SST) 287
 VLT 48
 Dawn 184
 Deimos 166, 168
 deferent 141–142
 degenerace látky 157, 310
 Deinococcus radiodurans 362
 deklinace 272
 Delta II 36, 90
 Deneb 181, 211, 219
 deuterium 71, 107, 118, 224, 311, 312
 deutron 71, 118, 119, 276, 299
 dipól elektrický 34, 71, 197, 314
 dipól magnetický 123, 160, 338
 diferenciální rotace 117, 123
 Discovery 331, 346, 347
 disk
 protoplanetární 64–66, 72, 77, 111,
 112–113, 144, 146, 147, 155, 160,
 162, 165, 166, 182, 190, 191, 193,
 196, 200, 201, 222, 245, 317, 325,
 342, 343, 358–360, 369, 370
 protosatelitní 166
 Dobsonova jednotka 35
 DNA 70, 196, 316, 337, 358–360, 362
 DONUT 327
 Drake Francis 374
 Drakeova rovnice 374
 DSS 52, 282
 Eccles, John 337
 EGG 78
 EIT 113, 114, 277
 ekosféra 29
 ekvant 141
 elipsa 86, 99, 147, 252
 elipsoid rotační – viz zemský elipsoid
 elongace 148
 energie
 budoucnosti 73
 sluneční 63, 64, 72, 107, 116, 122
 temná 64, 76
 vazebná 65, 112, 117, 224–225,

227–228, 303, 335
 Země 71
 entropie 62, 344
 Envisat 338–339
 epicykl 141, 142
 Eros 183, 184
 ESA 75, 114, 271, 331, 355
 ESO (Evropská jižní observatoř) 36, 48, 67, 186, 247, 264, 285
 Europa 78, 168–170, 188, 363, 364
 EVE 114, 136
 excentr 141, 142
 exoplaneta – viz extrasolární planeta
 extinkce
 atmosférická 29
 mezihvězdná 283
 extrasolární planeta 146, 147, 200, 364, 356, 361, 366, 367
 extrémofily 317, 361–362
 FAI 269, 353
 fáze Měsíce 85, 95
 Fermi (observatoř) 249
 Fermiho plyn 310
 FeSt 1-457 112
 flokule 125, 127
 Fomalhaut 200, 201
 foton 121, 122, 216, 249
 fotosféra 115, 116, 124, 125, 128
 fotosyntéza 31, 63, 72, 96, 133–135, 144, 323, 343, 344, 358, 360, 361
 František z Assisi 107, 133–135
 freon 35, 36
 fullereny 284
 fúze 117, 118, 193, 222
 fytoplankton 131, 344, 345
 Gagarin Jurij 59, 354
 Gale (kráter) 154, 155, 365, 366
 Gaia (bohyně) 59, 152, 159
 GAIA (družice) 221, 273
 galaktický (á, é)
 disk 47, 48, 59, 200, 239, 247, 248
 haló 48, 200, 247, 248
 výduť 47, 100, 247, 248, 251, 253
 galaxie 37
 Centaurus A 255
 Doutníková 252
 eliptické 252
 interakce (srážky) 253–256, 259
 klasifikace 250
 nepravidelné 250
 Seyfertovy 263
 spirální 37, 49, 76, 247, 250–258, 261, 286, 287
 trpasličí 50, 181, 222, 247, 250, 253, 254, 257
 Velká v Andromedě 37, 49, 75, 76, 220, 246, 251, 253, 256, 338, 339
 Vírová 253
 Velká v Trojúhelníku 37, 50, 251, 254, 256, 257
 Galaxie – viz Mléčná dráha
 Galileo (polohovací systém) 270–271
 Galileo (sonda) 86–87, 157, 158, 165, 169, 364
 Galileo Galilei 85, 97, 102, 160, 164, 165, 168, 172, 328, 346, 364
 Ganymed 166, 168–170, 188, 364
 Gaspria 184
 Gauguin, Eugène Henri Paul 334
 GEMS 52
 geoid 78
 geokoróna 28
 geologie 66, 325
 Giotto 190
 Gliese 229 B 214
 globule 193, 285

gluony 39, 299, 307–309, 312, 313, 335, 336, 358
 GMT – viz dalekohled
 GOCE 78
 Gogh, Vincent Willem van 109, 110
 GOODS 52
 GPS 242, 270–271
 GRAIL 90
 granulace 124, 126
 gravitace 239–244
 gravitační
 čočka 39, 52, 53, 215, 223, 259, 234, 242, 243, 291, 346
 diferenciace 160, 166, 194
 mikročočka 201, 215
 Green Bank 374
 Halley, Edmond 49, 190
 HAO 115, 127
 HDF 50, 216
 Helas 153
 heliopauza 38, 278
 helioseismologie 115–117
 heliosféra 38, 113, 115, 169, 177, 274, 278, 332
 hemoglobin 134
 Hébé 180
 Héra 168, 170, 180
 Herbigovy-Harovy objekty 280–281, 338
 Herkules (Hérakles) 180
 Hermes 149
 Herschel (observatoř) 284, 333, 334
 Herschel, William 162
 Hertzsprung, Einar 219
 Hertzsprungův-Russelův diagram 218–219
 heterosféra 29
 Higgsova částice 309, 335
 Hinode 113, 126, 129
 Hipparcos 273
 HMI 114
 Hoba 186
 Holubice 179
 Homo sapiens 122, 360
 homosféra 29
 HST – viz dalekohled
 Hubbleova klasifikace galaxií 250
 Hubbleovo hluboké pole – viz HDF
 Hubbleovo velmi hluboké pole – viz HUDF
 Hubbleův vesmírný dalekohled – viz dalekohled
 HUDF 51, 52, 260
 Hydra (měsíc) 187
 hydroplankton 345
 hydrosféra 69, 71
 HVC 248, 289
 hvězdná porodnice 222, 223
 hvězdná velikost 215, 216, 219, 227
 hvězdné vichřice 156, 193, 281
 hvězdokupa
 kulová 199, 222, 246–248, 262, 373
 otevřená 219, 244, 245
 Chandlerova perioda 34
 Chandra 52, 230, 255, 259, 282, 287, 334, 359
 Chandrasekharova mez 230, 259
 Chandrayaan-1 94
 Charon 182, 187, 188
 chemosféra 29
 chemotrofní organizmy 168, 358, 360, 361, 363–364
 Chihuli, Dale Patrick 110
 chlorofyl 131, 134, 344
 chloroplast 134, 344
 chondrit – viz meteorit

chromosféra 115–117, 123, 125–128
 Chronos 156, 159
 IceCube 330
 Ida 183, 184
 impakt 43, 91–94, 100, 149, 152,
 154–155, 171
 interakce
 gravitační 239–244
 elektromagnetická 307–308
 elektroslabá 308, 309
 silná 239, 299, 301, 307–308, 336
 slabá 239, 307–309
 Io 60, 87, 158, 165, 168–170, 364
 ionosféra 29, 31, 42, 60, 75, 158,
 278, 326
 ISO 113, 342
 ITER 71, 107, 132
 jádérko Země 69
 jarní bod 100, 271–272
 jasnost 43–43143, 160, 180, 188, 215,
 216, 220–222, 230, 253, 257, 273,
 274, 292, 327, 328, 367
 JAXA 113
 jev
 Comptonův 249, 264
 Dopplerův 50, 115, 200, 292
 Evershedův 125
 peckový 126, 262, 281, 368
 gravitačního praku 38, 72, 370
 skleníkový 30, 35, 132, 151, 198, 363
 soumrakový 31
 subdukce 69–70
 sublimace 102, 187, 190, 284
 tekutinového dynama 69, 117, 123, 124,
 163, 286
 Tyndallův 31–32
 Kamiokande 120, 121
 Kármánova hranice 63, 269, 353
 katabolizmus 134
 katalog
 Abell 260
 Gliese 214
 Hipparcos 273
 Messirův 261, 283
 NGC 282
 Tycho 273
 Kepler, Jan 142, 147, 148, 168–170, 230
 Kepler (sonda) 367
 kóma – viz kometa
 kometa 177, 188–189
 Brooks 2 191
 dlouhoperiodická 144, 177
 Hale-Bopp 188, 189, 191
 Halleyova 37, 41, 63, 144–145,
 189–191, 212, 339
 Hartley 190
 jádro 182, 188, 191, 192
 krátkoperiodická 144, 177, 189
 Kreutzova rodina 191
 Linear S4 190
 ohon 37, 63, 144, 145, 184, 188,
 192, 339
 kóma 192
 Shoemaker-Levy 9 87, 191
 Wild 2 188
 konjunkce 95, 96, 148
 konstanta
 Boltzmannova 130
 gravitační 142, 232, 241
 Hubbleova 221, 291
 Planckova 301
 sluneční 276
 Stefanova-Boltzmannova 305
 Wienova 305
 konvektivní vrstva 116–117, 123–126,
 128, 278

koperníkovské období 93
koróna
 bílá 129
 E, F, K 129
 galaktická 248
 L 128
 sluneční 99, 115–117, 126–127
koronální výron hmoty (CME)
 130, 136, 276
koronální zvon 130
kosmické (á, ý)
 klima (podnebí) 75, 276
 počasí 74, 75, 114, 276–277
 prostor 269
 záření viz záření
kosmologická rekombinace 64, 299, 300,
 304, 311
kosmopolité 346
kosmos 297, 315, 353
koutový odrazeč 272
kovový vodík 157, 162, 312
kráter 92
kráterová jamka 92
kráterové pohoří 93
kryoplankton 345
Kuiper, Gerard 171
Kuiperův pás 112, 144, 166, 177, 178,
 182, 183, 187, 189, 197, 332
kupa galaxií 259
 Abel 1689 223, 243
 Cl 0024+17 258
 MACS 1206 259
 v Panně 257, 261
kůra
 marsovská 154
 měsíční 88
 zemská 68, 194, 338
kvadratura 148
kvantová gravitace 39, 239
kvark 71, 118, 145, 161, 297, 298, 301,
 304, 308–310, 314, 316, 334–336,
 340, 353, 358
kvarkové-gluonové plazma 297, 298, 307,
 313, 323, 336
kvazar 66, 215, 243, 262, 263, 281, 289,
 290, 301, 302, 326, 368
Lagrangeovy body – viz librační centra
látková přeměna 134
LCROSS 87
Léda 180
Leidenfrostova vrstva 302
lepton 120, 304, 308, 309, 327, 335
LGS 329
librační centra 114–115
Lichoběžník (Trapez) 245, 246, 369
Lippold, Richard 109, 110
litosférická deska 69, 70, 154
Lomonosov (kráter) 88
Lowell, Percival 154, 188, 356
Lowell (kráter) 154, 155, 366
LRO 87, 88, 92, 94, 95
LUCA 341, 342, 360, 370
lunace 95
Lunar Orbiter 1 152
Lunik 3 88
magma 69, 70, 101
magnetické pole 42, 83, 114, 123–126,
 128, 1289, 160, 162, 163, 170, 177,
 194, 262, 269, 276–279, 286, 307,
 328, 338
magnetické siločáry 42, 73, 99, 117,
 127–131, 136, 160, 169, 177, 194,
 256, 264, 269, 277–281, 286, 354
magnetogram 114, 125–126, 136
magnituda
 relativní 215, 216
 absolutní 216

MACHO 234
 makrokosmos 61, 300, 301
 Malý Magellanův oblak 67, 181, 250, 257
 mapa jader – viz údolí stability
 Mare (Moře)
 Crisium (nepokojů) 89, 383
 Humorum (vláhy) 89, 91, 383
 Imbrium (dešťů) 89, 91, 93, 383
 Ingenii (touhy) 94, 95, 383
 Nectaris (nektaru) 89, 383
 Nubium (mraků) 93, 383
 Orientale (východní) 89, 383
 Serenitatis (jasu) 89, 383
 Smithii (Smythovo) 89, 383
 Tranquillitatis (klidu) 95, 383, 384
 Marius Hills 95
 mascon 89, 90
 Mathilde 184
 Maxwellovo rozložení rychlostí 129–130, 310
 Melkarth 180
 mesokosmos 300, 301
 Messenger 149, 150, 165
 metabolismus 134, 344, 358
 meteor 183, 184, 248, 269, 275
 meteorický déšť 196
 meteorický roj 40, 41, 189, 212, 275, 377
 meteorit 91, 95, 112, 151, 154, 184–186, 194–196, 357, 359–360, 366, 371
 chondrit 166, 185, 187, 196, 357, 359
 kamenný 185
 železný 185
 meteoroid 102, 141, 145, 147, 152, 168, 170, 177, 183–186, 190, 275
 mezigalaktická oblaka 290
 mezihvězdný prach 283, 284, 287
 Mezinárodní kosmická stanice 29–30, 96, 166, 354
 mezosféra 29, 338
 měsíc
 siderický 85
 synodický 85, 95, 98
 Měsíc 83–105
 měsíční moře 90–91
 Michelangelo Buonarroti 318, 345
 mikrofosilie 357
 mikrokosmos 300, 301
 Místní
 kupa 257, 338
 nadkupa (Supergalaxie) 240, 257–260, 262, 297, 338–340
 skupina 37, 50, 64, 251, 253, 254, 256–258, 289, 338–340
 mitochondrie 134, 344
 Mléčná dráha 47, 48, 75, 110, 179, 247–249, 263, 264, 289
 mlha (kosmická) 287, 288, 300, 324
 mlhovina
 emisní 198, 369
 Koňská hlava 285, 369
 planetární 166, 197–199, 227, 229, 247, 280, 284, 311, 343, 359
 Řasová v Labuti 282
 Tarantule 222, 244
 Velká v Orionu 210, 223, 283, 369
 Monet, Claude Oscar 109, 110
 Moskevské moře 88, 384
 Mösting A (kráter) 89
 Murchison 196, 357, 360, 371
 nadkupa galaxií
 Nanedi Valles 155
 NASA 331
 NEAR 183
 neuron 314, 337
 neutrino 76, 120–121, 269, 298, 327
 atmosférické 119

elektronové 118, 120–121, 311, 327
 mionové 120–121, 327
 reliktní 77, 269
 sluneční 77, 119
 tauonové 120–121, 328
 ze supernov 119
 neutrinová astronomie 327
 neutrinové moře 76, 77, 269, 280
 neutronizace látky 311
 neutronová hvězda 220, 227,
 230–231, 311
 neutrosféra 29
 New Horizons 182, 187, 332
 Newton, Isaac 39, 241
 Newtonova gravitace 39, 147, 240–241
 NGS 329
 Nix 187
 nov 85, 86, 95–98
 nukleosyntéza
 nutace 34, 59
 obecná teorie relativity 39, 76, 98, 232,
 233, 239, 241, 242, 244, 308
 období
 hvězdné 52, 64
 koperníkovské 93
 roční 74
 temné 52, 64
 zářivé 53, 64
 zrychlené expanze 64
 obloha 27–57
 Obruchev (kráter) 95
 observatoř ORM 36
 obzor 28
 obzorník 28
 odvrácená strana Měsíce 88
 ohyb světla 39, 98
 Olympus Mons 92, 153–155
 Omega Centauri 246–247
 Oortův oblak 38, 112, 144, 177, 178,
 188, 189, 192, 197, 278, 332
 opacita atmosféry 54
 opozice 148
 Opportunity 153
 optika
 adaptivní 48, 124, 328, 329
 aktivní 48, 329
 Orel 234
 Orionovo rameno 47, 195, 368
 ortografická projekce 88
 OSN 63, 72, 168, 269, 353
 otáčení oblohy 45, 66–67
 oxid chlornatý 36
 ozon 29, 35, 36, 60
 ozonosféra 29, 31, 35, 60, 75, 278
 ozonová díra 35
 panspermie 343, 360, 370
 paralaxa
 roční 273
 sekulární 179
 Parkerova plocha 279
 parsek 385
 pás planetek 77, 87, 112, 145, 178, 183,
 187, 283, 339
 pás totality (úplného zatmění) 99
 penumbra 125
 pericentrum 264
 perigeum 86, 264
 permafrost 153, 154
 Philae 182
 Phobos 166, 168
 Phoebe 166
 Phoenix 373
 Pierre Auger 289, 330
 Pioneer 157, 161, 182, 371–372
 planeta 61, 146
 Jupiter 156–158

Mars 153–155
 Merkur 149–150
 Neptun 163–165
 obří 155–156
 Saturn 159–161
 skalnatá viz terestrická
 terestrická 146, 148
 Uran 161–163
 Venuše 150–152
 Země 59–81, 152
 planetezimála 92, 112, 166, 170, 183, 194
 planetka 115, 155, 172, 183, 184, 187,
 194, 270, 360, 361
 plášť Země 69, 70, 338
 plazma 53, 115, 117, 120, 124–130, 136,
 158, 209, 217, 229, 230, 232, 234,
 239, 249, 255–258, 262, 264,
 276–278, 281, 286, 287, 297, 298,
 307, 309–311, 317, 323, 334, 336
 plazmoid 42, 130, 276–278
 Plejády 212, 244–245
 Pluto 144, 166, 170, 178, 182,
 187–188, 332
 počasi
 pozemské 30–31, 74
 kosmické 75, 77, 114, 276
 polarizace 256, 279, 280, 327, 328
 Polárka (Polaris) 45, 66
 polární záře 31, 41–43, 60, 63, 130, 131,
 158, 160, 165, 190, 276, 277,
 326, 357
 polhodie 34
 popelavý svit 95, 96
 Popper, Karl 337, 338
 poslední čtvrt 95, 96
 Protoslunce 65, 111, 112, 146, 156, 193,
 197, 313, 342, 368
 precese
 lunisolární 100
 Země 34, 45, 59, 100, 201, 271, 272
 primordiální nukleogeneze 224
 princip
 antropický 316, 323, 336
 Heisenbergův neurčitosti 76, 280, 292
 Pauliho vylučovací 308, 310, 311
 protislunce 186
 protohvězda 112, 193, 212, 222, 252,
 285, 286, 368, 369
 proton 71, 117, 118
 protono-protonový řetězec 118
 protoplanetární disk (proplyd) 64, 112,
 113, 193, 196, 200, 201, 222,
 325, 342
 Proxima Centauri 108, 214, 239, 273
 prstencové pohoří 93
 průhlednost atmosféry 54
 první čtvrt 95, 96
 přechodová vrstva 115, 127
 Příbram (meteorit) 185
 PSLV-XL 94
 Purkyně, Jan Evangelista 337
 R 136 222, 244, 245
 radioaktivita 68, 72, 87, 88, 90, 92, 101,
 132, 166, 169, 170, 194, 228, 312,
 317, 335
 radioastronomie 54, 129, 326
 raketoplán 28–30, 42, 87, 302, 331, 346,
 353, 354
 Ras Algethi 180
 Rayleigh, baron 32
 Rayleighův (Tyndallův) rozptyl 31, 164
 RCW 86 359
 refrakce atmosférická 29
 regolit 68, 90, 101
 rektascenze 272
 retrográdní pohyb 164, 166
 RHIC 313

Rigil Kent 108, 213, 214
 Roche, Edouard 172
 Rocheova mez 172
 roj
 meteorický 40, 41, 189, 275
 periodický 41
 permanentní 41
 rok
 galaktický 65, 247
 platonský 34, 100
 Rosetta 182
 rozptyl světla 27–29, 31–33, 38, 74, 96,
 99, 127, 129, 132, 146, 164, 186,
 249, 274, 283, 329, 345
 rozptyl Comptonův 264
 RR Lyrae 48, 199
 Russel, Henry Norris 44, 219
 Řekové (planetky) 183
 saros 97, 98
 saturnalia 159
 Savannah River 327
 scintilace 29, 48
 SCP projekt 307
 SDO 113, 126, 129, 136, 332
 selenografické souřadnice 89
 selenografie 85, 89
 selenologie 85, 89
 SETI 372–373
 Severní koruna 180
 Shoemaker-Levy 9 87, 191
 Schwarzschildův poloměr 232–233, 263
 singularita 233, 297
 Síríus 44, 49, 108, 211, 213, 215
 Síríus B 243–244
 skrytá energie – viz *temná energie*
 Skylab 129
 slapové síly (slapy) 99, 100, 166, 168, 169,
 172, 191, 242, 249, 250, 264, 364
 Slunce 107–139
 sluncetřesení 116
 sluneční
 aktivita 41, 277
 globule 111, 193
 rodina 38, 65, 145
 skvrna 116, 117, 124–125
 vítr 42, 77, 99, 117, 128, 177, 189, 277,
 278, 279, 281, 342, 372
 sluneční záření 30, 31, 68, 73, 90, 94,
 101, 123, 131, 172, 186, 192, 274,
 276, 323, 347, 363
 Sluneční soustava 177–205
 smyčková protuberance 129–130
 SOHO 36, 73, 113–115, 126, 127, 129,
 130, 277
 souhvězdí
 cirkumpolární 44
 definice 44, 211
 Eridanus 290
 Herkules 180
 Labuť 180
 Orion 44, 212
 Panna 261
 Pravítko 181
 seznam souhvězdí 377
 Střelec 209
 spektrální čáry
 absorpční 33, 123, 129, 248, 290
 Balmerovy 126, 128
 emisní 33, 129, 282
 Fraunhoferova 33, 123, 172, 219
 H alfa 115, 125, 127–129
 telurická 29
 spektrální třída 217, 218
 spektrum 33, 74, 216, 304, 328
 spikule 126
 Spirit 153

Spitzerův vesmírný dalekohled 287
 SST viz dalekohled
 Stardust 188, 196, 360
 Stephanův kvintet 254
 Stereo (dvojice sond) 113, 129
 stratosféra 29, 31, 75, 338
 subdukce – viz jev
 sublimace – viz jev
 Supergalaxie 338, 339
 Super-Kamiokande 115, 119, 120
 supernova
 1987A 121
 Cas A 111
 Ia 230, 231, 274, 291, 307
 II 227, 228
 Keplerova 230
 mateřská sluneční 72, 107, 111, 192, 225, 342
 Tychonova 282
 Surya v Konaraku 109
 světelný rok 239, 385
 světlo noční oblohy 31
 svítivost 218–220, 248, 255, 262
 svrchovanost státu 63, 75, 269
 štěpení 194, 224, 225, 302
 tachoklina 117
 Tarantule (mlhovina) 222, 244, 245
 tektonická deska – viz litosférická deska
 tekutinové dynamo 69, 117, 123, 124, 163, 286
 temná (skrytá)
 hmota 76, 258, 259, 291, 306, 340
 energie 76, 274, 292, 293, 300, 306, 307, 310, 341
 temný věk – viz období
 Tempel 1 191, 369
 termofily 361, 362
 termosféra 29, 338
 Tarantule – viz mlhovina
 Tharsis 153–155
 Thomson (kráter) 95
 Thuban 45
 Trapez viz Lichoběžník
 tranzitní fotometrie 201
 triangulace 272
 tritium 311–312
 Trojané 115
 troposféra 29, 30, 60, 74, 75, 77, 338
 trpasličí planeta 144–146, 166, 170, 178, 183, 184, 187–188, 332
 trpaslík
 bílý 198, 199, 213, 227, 229–231, 243, 274, 311
 černý 220
 červený 108, 213, 214, 226
 hnědý 212–215, 226, 227
 Y 214–215, 218
 Tykadla 254–255
 Tycho (kráter) 93
 UFO 356–357
 uhlíkový cyklus 119
 umbra 125
 Uranus 161
 údolí stability 224–225, 303
 úplněk 95, 96, 247
 V1 (hvězda) 220
 Vega 113, 201
 veleobr 219, 222, 227
 modrý 234
 červený 180, 213, 227
 žlutý 181
 Velká červená skvrna 157, 158, 164, 364
 Velká galaxie v Andromedě 49, 251, 256, 257
 Velká mlhovina v Orionu – viz mlhoviny
 Velký atraktor (přitahovač) 181, 197,

269, 277
Velký Magellanův oblak 67, 250, 257
Velký třesk 71, 74, 77, 217, 269, 287,
288, 297, 315, 317, 324, 336, 358
Vesta 184
Viking 168, 365
VIRGO 330
Vírová galaxie – viz galaxie
virtuální částice 76
VLA 329, 330
vlastní pohyb hvězd 226
VLT – viz dalekohled
vnější jádro Země 69
voda 43, 59, 60, 70, 94, 368, 370
vodní medvěd – viz želvuška
Voyager 38, 85, 87, 146, 157, 160–165,
169, 171, 172, 182, 278, 332,
345, 372
vysoká atmosféra 31
W polní bosony 309
WGS 61–62
Widmanstättenovy obrazce 185
WISE 214, 359
Wolfovy-Rayetovy hvězdy 218, 281
WMAP 53, 64, 288
Yohkoh 129
Z polní bosony 309
zákon(y)
Coulombův 34, 39
gravitační 39, 142, 147, 240–241
Keplerovy 46, 86, 115, 142, 147, 163,
172, 241
Rayleighův 32
Wienův posunovací 62, 217, 305
Stefanův-Boltzmannův 217, 305
zachování baryonového čísla 120
zachování energie 71
záření absolutně černého tělesa 32

záření
cyklotronové 160
gama 47, 64, 53–55, 145, 249, 276, 302
kosmické 76, 77, 275, 288, 372
kosmické primární 276
kosmické sekundární 276
mikrovlnné 280, 288, 311, 327
rádiové 47, 54, 60, 130, 158, 200, 208,
231, 233, 255, 263, 280, 282, 325,
326, 330, 347, 372
reliktní 53, 280, 288
reliktní, anizotropie 181
rentgenové 282
subkosmické 275
synchrotronové 47, 255, 256, 262, 263,
280, 286
ultrafialové 29, 31, 35, 54, 60, 75, 114,
126–127, 136, 143, 158, 171, 189,
197, 208, 229, 231, 276, 326, 327,
331, 354, 362, 365, 369
viditelné 281, 305
zářivá vrstva
zářivost 44, 74, 201, 218–220, 222, 226,
227, 230, 245, 263, 369
zatmění Měsíce 31, 48, 86, 97
zatmění Slunce 32, 75, 86, 95, 97–99,
115, 126–130, 161, 242, 243
Země viz planeta
zemský
elipsoid 59, 61, 78
geoid 78
Zeus 149, 156, 159, 170, 180, 212, 261,
290
Zwickey, Fritz 258, 291, 306
želvuška (Tardigrada) 362

JOSIP KLECZEK TOULKY VESMÍREM

Žádná část této publikace nesmí být publikována
a šířena žádným způsobem a v žádné podobě bez výslovného
svolení autora a sdružení AGA.

Autor: doc. RNDr. Josip Kleczek, DrSc., Astronomický ústav AV ČR

Odborný redaktor: prof. RNDr. Petr Kulhánec, CSc., kulhanek@aldebaran.cz

Grafika a obálka: ing. arch. Ivan Havlíček, havlicek@aldebaran.cz

Sazba: Ing. Martin Batelka, martin@batelka.org

Přední strana obálky: Slunce vyfotografované 11. dubna 2013 v extrémním
ultrafialovém oboru přístrojem EIT na sondě SOHO. V různých vlnových
délkách se zobrazuje látka různé teploty. Na vlnové délce 17, 1 nm je patrná
koróna s teplotou 1 milion stupňů. © NASA/ESA

Zadní strana obálky: Srážející se galaxie Tykadla v optickém oboru.
HST © NASA/ESA

Formát: 165×235 mm, 400 stran

Nakladatelství: AGA (Aldebaran Group for Astrophysics)

Vydání: první, Praha, 2013

Tisk: Europrint, a. s.

www.aldebaran.cz

ISBN 978-80-904582-4-6