

# Obsah

Předmluva	ix
<b>1 Paprsková optika</b>	<b>1</b>
1.1 Přímočaré šíření světla	1
1.1.1 Úvod do optiky	1
1.1.2 Paprsek	2
1.1.3 Světelný zdroj	2
1.1.4 Světelné svazky	2
1.1.5 Stín a polostín	3
1.1.6 Rychlost světla	5
1.2 Odraz a lom světla	7
1.2.1 Odraz světla	7
1.2.2 Lom světla	8
1.2.3 Odvození zákona lomu	11
1.2.4 Héronův princip	12
1.2.5 Fermatův princip	13
1.2.6 Karteziánské plochy	15
1.2.7 Rovnice paprsku	16
1.2.8 Z historie zákona lomu	17
1.2.9 Planparalelní destička	19
1.2.10 Lámací hranol a klín	20
1.2.11 Pulfrichův refraktometr	22
1.3 Atmosférická optika	23
1.3.1 Duha	23
1.3.2 Halo	26
1.3.3 Soumrak a rozptyl světla v atmosféře	27
1.3.4 Spodní a svrchní zrcadlení	28
1.3.5 Paprsek v nehomogenní atmosféře	29
1.3.6 Dohlednost	30
1.3.7 Astronomická refrakce	31
1.3.8 Zelený paprsek	33
1.4 Fotometrie, světelná měření	33
1.4.1 Světelný tok	34

1.4.2	Svítivost . . . . .	34
1.4.3	Vyzařovací charakteristika zdroje . . . . .	35
1.4.4	Osvětlení . . . . .	36
1.4.5	Osvětlení sítnice oka plošným zdrojem . . . . .	37
1.4.6	Jas . . . . .	38
1.4.7	Světlení . . . . .	39
1.4.8	Základní vzorec fotometrie . . . . .	39
1.4.9	Magnitudy hvězd . . . . .	39
1.4.10	Svítivost Měsíce . . . . .	41
1.4.11	Osvit, expozice . . . . .	44
1.4.12	Expoziční hodnota, EV . . . . .	45
1.4.13	Integrační koule . . . . .	46
1.4.14	Bunsenův a Lummer-Brodhunův fotometr . . . . .	47
1.5	Odrazivost, propustnost, pohltivost . . . . .	49
1.5.1	Odrazivost a albedo . . . . .	49
1.5.2	Čistá propustnost a pohltivost světla . . . . .	50
1.5.3	Odrazivost a propustnost destičky . . . . .	53
1.5.4	Rozptyl světla . . . . .	54
1.5.5	Extinkce u zářící látky . . . . .	55
1.6	Disperze a spektrum světla . . . . .	57
1.6.1	Rozklad světla, barevné spektrum . . . . .	57
1.6.2	Druhy spekter, spektroskopie . . . . .	58
1.6.3	Typy skel . . . . .	59
1.6.4	Disperzní hranol . . . . .	60
1.6.5	Disperzní vzorce . . . . .	61
1.6.6	Anomální disperze . . . . .	62
1.6.7	Dopplerův jev . . . . .	63
1.7	Radiometrie a záření černého tělesa . . . . .	64
1.7.1	Tepelné záření . . . . .	64
1.7.2	Radiometrické veličiny . . . . .	64
1.7.3	Odraz a absorpce tepelného záření . . . . .	66
1.7.4	Absolutně černé těleso . . . . .	66
1.7.5	Kirchhoffův zákon . . . . .	67
1.7.6	Stefan-Boltzmannův zákon . . . . .	69
1.7.7	Tok záření mezi dvěma stěnami různých teplot . . . . .	70
1.7.8	Tlak záření . . . . .	72
1.7.9	Vztah mezi intenzitou vyzařování a hustotou energie . . . . .	73
1.7.10	Termodynamika tepelného záření . . . . .	75
1.7.11	Adiabatický invariant expanze záření . . . . .	76
1.7.12	Skleníkový jev . . . . .	77
1.7.13	Propustnost atmosféry . . . . .	78
1.7.14	Spektrum tepelného záření . . . . .	78
1.7.15	Wienův posunovací zákon . . . . .	79
1.7.16	Odvození Wienova zákona . . . . .	80
1.7.17	Planckův vyzařovací zákon . . . . .	82

1.7.18	Barevná a efektivní (bolometrická) teplota . . . . .	83
1.8	Kolorimetrie . . . . .	84
1.8.1	Světelná účinnost . . . . .	84
1.8.2	Míchání barev, kolorimetrie . . . . .	85
1.8.3	Barevný prostor RGB . . . . .	88
1.8.4	Barevný prostor XYZ . . . . .	91
1.8.5	Barevný trojúhelník XYZ . . . . .	93
1.8.6	Přepočítání z RGB do XYZ . . . . .	94
1.8.7	Smluvní bílá světla . . . . .	94
<b>2</b>	<b>Zobrazení paraxiálními paprsky</b>	<b>95</b>
2.1	Zrcadla . . . . .	95
2.1.1	Optické zobrazení . . . . .	95
2.1.2	Rovinné zrcadlo . . . . .	96
2.1.3	Sférické zrcadlo . . . . .	99
2.1.4	Zobrazovací rovnice sférického zrcadla . . . . .	100
2.1.5	Znaménková konvence pro zrcadla . . . . .	101
2.1.6	Znaménková konvence podle normy DIN 1335 . . . . .	102
2.1.7	Zvětšení obrazu sférického zrcadla . . . . .	102
2.1.8	Geometrická konstrukce obrazu . . . . .	104
2.1.9	Zobrazovací rovnice . . . . .	105
2.1.10	Podélné a úhlové zvětšení . . . . .	106
2.1.11	Kaustika a otvorová vada sférického zrcadla . . . . .	106
2.1.12	Asférická zrcadla . . . . .	108
2.1.13	Aberace sférického zrcadla . . . . .	110
2.1.14	Aberace asférického zrcadla . . . . .	113
2.1.15	Sférické a parabolické zrcadlo 8/400 mm . . . . .	114
2.2	Čočky . . . . .	116
2.2.1	Paraxiální zobrazení jednou lámavou plochou . . . . .	116
2.2.2	Zvětšení obrazu . . . . .	117
2.2.3	Zobrazovací rovnice lámavé plochy . . . . .	117
2.2.4	Znaménková konvence pro čočky . . . . .	118
2.2.5	Kardinální body a plochy . . . . .	120
2.2.6	Geometrická konstrukce obrazu . . . . .	120
2.2.7	Dvojice lámavých ploch . . . . .	121
2.2.8	Tlustá čočka . . . . .	122
2.2.9	Speciální tlusté čočky . . . . .	124
2.2.10	Tenká čočka . . . . .	126
2.2.11	Tenká čočka ve vodě . . . . .	127
2.2.12	Geometrická konstrukce obrazu . . . . .	128
2.2.13	Historická poznámka . . . . .	129
2.3	Optické soustavy paraxiálně . . . . .	130
2.3.1	Dvojice tenkých čoček . . . . .	130
2.3.2	Teleskopická soustava . . . . .	131
2.3.3	Teleobjektiv . . . . .	132

2.3.4	Kardinální body optické soustavy . . . . .	133
2.3.5	Geometrická konstrukce obecnou soustavou . . . . .	133
2.3.6	Konstrukce chodu obecného paprsku . . . . .	134
2.3.7	Zobrazovací rovnice . . . . .	134
2.3.8	Podélné a úhlové zvětšení optické soustavy . . . . .	136
2.3.9	Výpočet parametrů složené optické soustavy . . . . .	138
2.3.10	Omezení paprsků v optické soustavě . . . . .	140
2.3.11	Telecentrický chod paprsků . . . . .	141
2.4	Maticová metoda v paraxiálním prostoru . . . . .	142
2.4.1	Refrakce a translace paprsku . . . . .	142
2.4.2	Lagrangeův invariant . . . . .	143
2.4.3	Maticová metoda trasování paprsku . . . . .	143
2.4.4	Význam Gaussových konstant $ABCD$ . . . . .	144
2.4.5	Zobrazovací rovnice . . . . .	145
2.4.6	Matice zobrazovací soustavy . . . . .	146
<b>3</b>	<b>Optické vady</b> . . . . .	<b>149</b>
3.1	Zobrazení neparaxiálními paprsky . . . . .	149
3.1.1	Eikonál . . . . .	149
3.1.2	Dokonalé zobrazení . . . . .	152
3.1.3	Maxwellovo rybí oko . . . . .	154
3.1.4	Luneburgova čočka . . . . .	156
3.1.5	Kolineace . . . . .	157
3.1.6	Abbeova aplanatická podmínka . . . . .	159
3.1.7	Měření ohniskové vzdálenosti . . . . .	160
3.1.8	Herschelova podmínka . . . . .	162
3.1.9	Lagrange-Helmholtzova podmínka . . . . .	162
3.1.10	Izoplanatická podmínka . . . . .	163
3.1.11	Podmínka ortoskopie, podmínka odstranění zkreslení . . . . .	164
3.1.12	Stigmatické zobrazení mimoosového bodu . . . . .	164
3.1.13	Numerická apertura a clonové číslo . . . . .	166
3.1.14	Abbeova podmínka pro lámavou plochu . . . . .	167
3.1.15	Zvětšení širokého svazku . . . . .	168
3.1.16	Aplanatické body sférické lámavé plochy . . . . .	170
3.1.17	Lámavé kartéziánské plochy . . . . .	172
3.1.18	Fresnelova čočka . . . . .	174
3.1.19	Zákon lomu v prostoru, trasování paprsku . . . . .	175
3.1.20	Refrakce a translace tangenciálního paprsku . . . . .	176
3.2	Fotometrie zobrazovací soustavy . . . . .	178
3.2.1	Transformace jasu . . . . .	178
3.2.2	Osvětlení obrazu na ose . . . . .	179
3.2.3	Osvětlení mimoosového obrazu . . . . .	180
3.3	Optické vady . . . . .	183
3.3.1	Aberace třetího řádu . . . . .	184
3.3.2	Aberační křivky . . . . .	185

3.3.3	Přeostření zobrazovací roviny . . . . .	186
3.3.4	Otvorová vada . . . . .	187
3.3.5	Analýza kaustiky . . . . .	188
3.3.6	Otvorová vada 5. řádu . . . . .	189
3.3.7	Koma . . . . .	190
3.3.8	Astigmatismus a zklenutí pole . . . . .	191
3.3.9	Zkreslení . . . . .	194
3.3.10	Vlnová aberace . . . . .	195
3.4	Monochromatické aberace čočky . . . . .	197
3.4.1	Aberace plankonvexní čočky v tangenciálním prostoru . . . . .	197
3.4.2	Aberace a poloha aperturní clony . . . . .	198
3.4.3	Dovolené zbytkové aberace v optických systémech . . . . .	199
3.4.4	Otvorová vada čočky . . . . .	200
3.4.5	Otvorová vada tenké čočky . . . . .	201
3.4.6	Optimální tvar čočky . . . . .	203
3.4.7	Aberace planparalelní desky . . . . .	204
3.4.8	Astigmatismus . . . . .	205
3.4.9	Zklenutí pole . . . . .	208
3.4.10	Astigmatismus na rovinném rozhraní . . . . .	210
3.4.11	Aberace tenké čočky . . . . .	212
3.4.12	Aberace dalekohledu 10 × 50 s objektivem 8/400 mm . . . . .	214
3.5	Barevná vada . . . . .	215
3.5.1	Barevná vada a Abbeovo číslo . . . . .	215
3.5.2	Barevná vada jednočočkového objektivu . . . . .	216
3.5.3	Barevná vada polohy a velikosti . . . . .	218
3.5.4	Korekce barevné vady . . . . .	219
3.5.5	Achromatický dublet . . . . .	222
3.5.6	Huygensův, Ramsdenův a Kellnerův okulár . . . . .	225
3.5.7	Aberace v důsledku vlnové povahy světla . . . . .	227
<b>4</b>	<b>Optické zobrazovací přístroje</b>	<b>229</b>
4.1	Oko a brýle . . . . .	229
4.1.1	Oko . . . . .	229
4.1.2	Binokulární vidění, vnímání prostoru . . . . .	232
4.1.3	Barevné vnímání . . . . .	234
4.1.4	Brýle . . . . .	235
4.1.5	Korekce lámavosti na vzdálenost brýlí od oka . . . . .	236
4.1.6	Tvar brýlových skel, Tscherningovy elipsy . . . . .	237
4.2	Promítací a fotografický přístroj . . . . .	239
4.2.1	Promítací přístroj . . . . .	239
4.2.2	Fotografický přístroj . . . . .	240
4.2.3	Některé pojmy ze současné fotografické techniky . . . . .	243
4.2.4	Poznámka k vývoji fotoaparátů . . . . .	244
4.2.5	Camera obscura . . . . .	245
4.2.6	Fotoemulze . . . . .	247

4.3	Lupa a okulár . . . . .	249
4.3.1	Zorný úhel a zväšenie prístroje . . . . .	249
4.3.2	Lupa . . . . .	250
4.3.3	Sférická lupa . . . . .	252
4.3.4	Okulár . . . . .	253
4.4	Mikroskop . . . . .	254
4.4.1	Kondenzor . . . . .	254
4.4.2	Svétlomet . . . . .	255
4.4.3	Mikroskop . . . . .	257
4.4.4	Rozlišovací mez mikroskopu . . . . .	259
4.4.5	Hĺoubka ostrosti . . . . .	260
4.4.6	Z historie mikroskopu . . . . .	261
4.5	Dalekohled . . . . .	262
4.5.1	Dalekohled . . . . .	262
4.5.2	Astronomický dalekohled . . . . .	263
4.5.3	Turistický dalekohled, triedr . . . . .	264
4.5.4	Holandský dalekohled . . . . .	264
4.5.5	Čočka jako primitivní dalekohled . . . . .	265
4.5.6	Rozlišovací schopnost dalekohledu . . . . .	266
4.5.7	Hĺoubka ostrosti . . . . .	267
4.5.8	Svételnost dalekohledu . . . . .	267
4.5.9	Zrcadlový astronomický dalekohled . . . . .	269
4.5.10	Schmidtova korekční deska . . . . .	271
4.5.11	Z historie dalekohledu v astronomii . . . . .	273