

Obsah

Předmluva

xiii

1 Vlnová optika	1
1.1 Úvod do vlnové optiky	1
1.1.1 Hledání podstaty světla	1
1.1.2 Huygensův princip	3
1.1.3 Zákon odrazu	6
1.1.4 Zákon lomu	7
1.1.5 Ohyb vlnění, difrakce	8
1.1.6 Christiaan Huygens	9
1.2 Matematický popis světelných vln	10
1.2.1 Vlnová rovnice	10
1.2.2 Postupné vlny jako řešení vlnové rovnice	10
1.2.3 Harmonické světelné vlny	12
1.2.4 Monochromatické a polychromatické světlo	13
1.2.5 Princip superpozice	14
1.2.6 Interference vln	14
1.2.7 Stojaté vlnění	15
1.2.8 Intenzita světla	16
1.2.9 Amplituda a intenzita interferenčního pole	17
1.2.10 Vlny různých frekvencí	18
1.2.11 Komplexní signál, komplexní amplituda a intenzita	18
1.2.12 Skládání komplexních amplitud	19
1.2.13 Helmholtzova rovnice a disperzní prostředí	20
1.2.14 Geometrická optika jako důsledek vlnové rovnice	21
1.2.15 Záznějová vlna	22
1.2.16 Grupová rychlost	23
1.2.17 Grupový index lomu geometricky	24
1.3 Interference světla	24
1.3.1 Youngův experiment	25
1.3.2 Poznámka o vlivu šířky spektra na interferenci	27
1.3.3 Viditelnost interferenčních proužků	28
1.3.4 Základní interferenční experimenty	28

1.3.5	Thomas Young	30
1.3.6	Augustin-Jean Fresnel	31
1.4	Interferenční pole, speciální případy	32
1.4.1	Dvě střižené rovinné vlny	32
1.4.2	Tři střižené rovinné vlny	33
1.4.3	Interference N rovinných vln souměrných kolem osy z	33
1.4.4	Rovinná a kulová vlna	34
1.4.5	Dvě kulové vlny	35
1.5	Interference na tenké vrstvě	36
1.5.1	Poznámka ke koherenci	36
1.5.2	Optická a geometrická dráha	37
1.5.3	Interference na planoparalelní vrstvě	37
1.5.4	Interference na optickém klínu	39
1.5.5	Newtonovy kroužky a Newtonova skla	40
1.5.6	Mnohosvazková interference na tenké vrstvě	42
1.6	Interferometrie	44
1.6.1	Michelsonův interferometr	44
1.6.2	Twyman-Greenův interferometr	45
1.6.3	Mach-Zehnderův interferometr	46
1.6.4	Sagnacův interferometr	46
1.6.5	Fabry-Pérotův interferometr	48
1.6.6	Lummer-Gehrckeho deska	51
1.6.7	Měření vlnových délek	51
1.7	Optické mřížky	52
1.7.1	Lineární mřížka	52
1.7.2	Rowlandova dutá mřížka	55
1.7.3	Mřížka na tečný dopad	55
1.7.4	Rozložení intenzity	56
1.7.5	Rozlišovací schopnost lineární mřížky	58
1.7.6	Plošná mřížka	59
1.7.7	Prostorová mřížka	62
1.7.8	Geometrický dodatek	64
1.7.9	Echelon Michelsona	65
1.8	Princip holografie	67
1.9	Ohyb, Fresnelova aproximace	70
1.9.1	Huygens-Fresnelův princip	70
1.9.2	Fresnelova aproximace	72
1.9.3	Ohyb na kruhovém otvoru	73
1.9.4	Fresnelovy zóny	75
1.9.5	Zónová destička	76
1.9.6	Ohyb na štěrbině	76
1.9.7	Matematický dodatek: Fresnelův integrál	79
1.9.8	Ohyb na čtvercové desce	80
1.10	Ohyb, Fraunhoferova aproximace	80
1.10.1	Fraunhoferova aproximace	80

1.10.2	Ohyb na štěrbině	81
1.10.3	Ohyb na štěrbině elementárně	83
1.10.4	Ohyb na obdélníkovém otvoru	84
1.10.5	Ohyb na kruhovém otvoru, Airyho disk	85
1.10.6	Rayleigho rozlišovací mez, dva nekoherentní body	86
1.10.7	Sparrowova rozlišovací mez, dva nekoherentní body	87
1.10.8	Odvození ohybu na kruhovém otvoru, matematický doplněk	88
1.10.9	Ohyb na dvojici stejných otvorů	90
1.10.10	Reálná mřížka, form-faktor	91
1.10.11	Blejzovaná mřížka	92
1.10.12	Babinetův princip	93
1.10.13	Čerenkovovo záření	94
1.10.14	Camera obscura	96
1.11	Kirchhoffův integrál	97
1.12	Optické svazky	100
1.12.1	Gaussovský svazek	100
1.12.2	Gaussovský svazek jako důsledek difrakce	100
1.12.3	Intenzita a výkon gaussovského svazku	103
1.12.4	Komplexní parametr svazku a transformace svazku čočkou	103
1.12.5	Gaussovský svazek z paraxiální aproximace Helmholtzovy rovnice	105
1.12.6	Gaussovský svazek ze sférické vlny	106
1.12.7	Rezonátor s gaussovským svazkem	107
1.12.8	Hermite-gaussovské a laguerre-gaussovské svazky	109
1.12.9	Rezonanční podmínka	110
1.12.10	Besselovské bezdifrakční svazky	111
1.13	Fourierovská optika	113
1.13.1	Prostorové spektrum	113
1.13.2	Diracova delta funkce	114
1.13.3	Amplitudová harmonická mřížka	117
1.13.4	Transparentní destička	117
1.13.5	Čočka jako fázový člen	118
1.13.6	Fázová harmonická mřížka	119
1.13.7	Talbotův jev	120
1.13.8	Zobrazení čočkou	121
1.13.9	Prostorová filtrace	124
1.13.10	Bodová rozptylová funkce PSF	125
1.13.11	Optická funkce přenosu OTF	126
1.13.12	Matematická poznámka o konvoluci	126
1.13.13	Strehlov poměr	127
1.13.14	Funkce přenosu kontrastu MTF a fáze PhTF	128
1.13.15	Soustava bez aberací	129
1.13.16	Matematický dodatek 1	129
1.13.17	Matematický dodatek 2	130
1.13.18	Optická funkce přenosu z pupilové funkce	131

1.13.19	Optická funkce přenosu kruhové pupily	133
1.14	Koherence světla	133
1.14.1	Nekoherentní skládání světla	133
1.14.2	Youngův pokus	134
1.14.3	Časová koherence, vliv spektra	135
1.14.4	Fourierovská spektroskopie	137
1.14.5	Prostorová koherence, vliv rozměrů zdroje	138
1.14.6	Stupeň koherence obecně	140
1.14.7	Prostorová koherence, van Cittert-Zernikova věta	142
1.14.8	Michelsonův stelární interferometr	144
1.15	Statistická optika	145
1.15.1	Mikroskopický přístup	145
1.15.2	Van Cittert-Zernikova věta	146
1.15.3	Korelace intenzit, koherence druhého řádu	147
1.15.4	Fluktuace intenzity	149
1.15.5	Několik nezávislých zdrojů	150
1.15.6	Shlukování světla (fotonů)	151
1.15.7	Rozdělovací funkce intenzity	152
1.15.8	Mandelova fotodetekční rovnice	155
1.15.9	Krátký detekční interval	156
1.15.10	Dlouhý detekční interval	157
1.15.11	Dopplerovské rozšíření čáry (v laserech, molekulární optice)	158
1.15.12	Binomické rozdělení	159
1.15.13	Poissonovo rozdělení	159
1.15.14	Odvození fotodetekční rovnice podruhé	160
1.15.15	Spekl, koherenční zrnitost	161
1.15.16	Speklová interferometrie a maskování speklu	165
2	Elektromagnetická optika	169
2.1	Elektromagnetická podstata světla	169
2.1.1	Vznik elektromagnetické optiky	169
2.1.2	James Clerk Maxwell	170
2.1.3	Maxwellovy rovnice	171
2.1.4	Hraniční podmínky	171
2.1.5	Elektromagnetická podstata světla	172
2.1.6	Světlo v homogenním optickém prostředí	174
2.1.7	Elektromagnetická vlna	174
2.1.8	Disperzní anizotropní prostředí	176
2.1.9	Hustota elektromagnetické energie	177
2.1.10	Rovnice kontinuity	178
2.1.11	Silové působení	178
2.1.12	Zákon zachování elektromagnetické energie	178
2.1.13	Hustota hybnosti a tlak světla	181
2.1.14	Tlak světla a dokonalý vodič	182
2.1.15	Zákon zachování hybnosti a Maxwellův tenzor napětí	183

2.1.16	Tlak záření z Maxwellova tenzoru	185
2.1.17	Tlak izotropního záření	186
2.1.18	Skalární aproximace vlnové optiky	187
2.1.19	Hustota energie v disperzním prostředí	187
2.1.20	Odvození Brillouinova vzorce	188
2.2	Detekce světla, co měří detektor	190
2.2.1	Rychlé oscilace světla	190
2.2.2	Poyntingův vektor a intenzita světla	191
2.2.3	Wienerův experiment	192
2.3	Optické jevy na rozhraní	193
2.3.1	Podmínky spojitosti, hraniční podmínky	193
2.3.2	Zákon odrazu a lomu	194
2.3.3	Fresnelovy amplitudy	195
2.3.4	Odrazivost a propustnost	198
2.3.5	Zajímavé identity	199
2.3.6	Brewsterův úhel	200
2.3.7	Totální odraz	201
2.3.8	Goos - Hänchenův jev	204
2.3.9	Tunelování světla vzduchovou mezerou	206
2.4	Polarizace světla	208
2.4.1	Úvod do polarizace světla	208
2.4.2	Polarizace světla a oko	210
2.4.3	Polarizační elipsa	210
2.4.4	Polarizace odrazem a lomem	214
2.4.5	Odvození vzorce (2.14)	215
2.4.6	Polarizace pomocí dichroismu	216
2.4.7	Polarizace dvojlomem	217
2.4.8	Chromatická polarizace, zkřížené polarizátory	218
2.4.9	Kompenzátory	220
2.4.10	Vyšetření polarizačních vlastností světla	222
2.4.11	Interference a polarizace	222
2.4.12	Umělý dvojlom	223
2.4.13	Optická aktivita	224
2.4.14	Faradayův jev	226
2.4.15	Optický izolátor	227
2.4.16	Displej na bázi tekutých krystalů	227
2.5	Maticový popis polarizace	228
2.5.1	Algebra Jonesových matic a vektorů	228
2.5.2	Rotace polarizačního prvku	231
2.5.3	Polarizační matice	232
2.5.4	Polarizační matice a částečně polarizované světlo	233
2.5.5	Intenzita světla za analyzátozem	235
2.5.6	Stupeň polarizace 2	236
2.5.7	Vlastní hodnoty polarizační matice	237
2.5.8	Stokesovy parametry	238

2.6	Prostorová disperze	241
2.6.1	Prostorová disperze	241
2.6.2	Disymetricky izotropní látka	242
2.6.3	Optická aktivita	243
2.6.4	Faradayův jev	245
2.6.5	Optická pinzeta a optický šroubovák	246
2.6.6	Moment hybnosti světla	247
2.6.7	Spin a polarizace	248
2.7	Optika kovů a tenké vrstvy	251
2.7.1	Optika kovů	251
2.7.2	Lom světla do kovu	255
2.7.3	Kettelerovy vztahy	256
2.7.4	Odrazivost kovů	257
2.7.5	Reflexní kovová vrstva	259
2.7.6	Antireflexní vrstvy	259
2.7.7	Děliče, reflexní vrstvy, studená zrcadla	261
2.7.8	Nástin teorie tenkých vrstev	261
2.7.9	Jednoduché rozhraní	264
2.7.10	Jednoduchá tenká vrstva	264
2.7.11	Reflexní vrstva	265
2.8	Optika krystalů	266
2.8.1	Vztah elektrické intenzity a indukce	266
2.8.2	Normálová plocha	268
2.8.3	Indexová plocha a Descartova konstrukce	271
2.8.4	Paprsková rychlost	271
2.8.5	Paprsková plocha a Huygensova konstrukce	273
2.8.6	Geometrie normálové a paprskové plochy	274
2.8.7	Analogie mezi vlnami a paprsky	275
2.8.8	Hustota elektrické a magnetické energie	276
2.8.9	Kónický lom	276
2.8.10	Fresnelův indexový elipsoid	278
2.8.11	Fresnelův elipsoid paprskových rychlostí	280
2.8.12	Jednoosý krystal, řádný a mimořádný paprsek	281
2.8.13	Paprsková plocha a Huygensova konstrukce	283
2.8.14	Fázová destička	284
2.9	Optická vlákna a vlnovody	285
2.9.1	Optická vlákna	285
2.9.2	Numerická apertura a mezimódová disperze	286
2.9.3	Gradientní vlákno	287
2.9.4	Disperzní rovnice, planární vlnovod	289
2.9.5	Planární zrcadlový vlnovod, TE a TM módy	290
2.9.6	Fázová a grupová rychlost	293
2.9.7	Planární dielektrický vlnovod, TE a TM módy	293
2.9.8	Vazba mezi módy	296
2.9.9	Gradientní vlákno	298

3	Speciální teorie relativity	301
3.1	Experimenty, jež vedly ke vzniku teorie relativity	301
3.1.1	Rychlost světla	301
3.1.2	Éter a absolutní pohyb	303
3.1.3	Aberace světla	305
3.1.4	Aberace světla ve vodě	307
3.1.5	Fizeauův experiment	309
3.1.6	Michelson-Morleyho experiment	310
3.1.7	Maxwellův efekt	311
3.1.8	Hypotézy o éteru	311
3.1.9	Balistická hypotéza	312
3.1.10	Trouton-Nobleův experiment	313
3.1.11	Lorentz-FitzGeraldova kontrakce	314
3.1.12	Teoretické problémy	314
3.1.13	Lorentzova transformace	315
3.1.14	Kaufmannův experiment	317
3.2	Teorie relativity	318
3.2.1	Postuláty speciální teorie relativity	319
3.2.2	Galileova transformace	319
3.2.3	Ideální měřidlo, ideální hodiny, synchronizace hodin	321
3.2.4	Současnost a souměrnost	322
3.2.5	Dilatace času	323
3.2.6	Zpomalení chodu hodin	324
3.2.7	Rychlost světla jako maximální rychlost	325
3.2.8	Paradox dvojčat	325
3.2.9	Kontrakce délek, podélné rozměry	326
3.2.10	Relativita pohledu	326
3.2.11	Příčné rozměry	327
3.2.12	Relativita současnosti	328
3.2.13	Fotografování relativistických těles	329
3.2.14	Dopplerův jev	329
3.3	Lorentzova transformace	331
3.3.1	Lorentzova transformace	331
3.3.2	Transformace rychlosti	333
3.3.3	Aberace světla	335
3.3.4	Fresnelův strhávací koeficient	336
3.3.5	Současnost, minulost a budoucnost	337
3.3.6	Dilatace času	339
3.3.7	Kontrakce délky	339
3.3.8	Časoprostorový interval	340
3.3.9	Další argumenty pro interval	341
3.3.10	Interval jako invariant	341
3.4	Sagnacův jev	342
3.4.1	Čtvercový rezonátor	343
3.4.2	Obecný rezonátor	344

3.4.3	Vláknový gyroskop	345
3.5	Relativistická dynamika	346
3.5.1	Hybnost a hmotnost	346
3.5.2	Síla a pohybová rovnice	349
3.5.3	Působení stálé síly	350
3.5.4	Energie	352
3.5.5	Princip ekvivalence hmotnosti a energie	353
3.5.6	Elementární odvození principu ekvivalence	355
3.5.7	Poznámka o tlaku záření	356
3.5.8	Vztah mezi energií a hybností	357
3.5.9	Foton, částice s nulovou klidovou hmotností	357
3.5.10	Náboj v elektrickém poli	358
3.5.11	Náboj v magnetickém poli	358
3.5.12	Srážka dvou stejných koulí	359
3.5.13	Comptonův rozptyl (také ve fotonové optice)	360
3.6	Transformace hmotnosti, energie a hybnosti	361
3.6.1	Transformace hmotnosti a energie	361
3.6.2	Transformace příčných složek hybnosti	362
3.6.3	Transformace podélných složek hybnosti	362
3.7	Minkowského časoprostor	363
3.7.1	Čtyřvektory	365
3.7.2	Fáze a vlnový čtyřvektor	367
3.7.3	Dopplerův jev a aberace světla	368
3.7.4	Index lomu a Dopplerův jev	370
3.7.5	Fizeaův experiment	371
3.7.6	Dalekohled a relativita	371
3.7.7	Transformace elektrické a magnetické intenzity	373
3.7.8	Maxwellovy rovnice kovariantně	375
4	Molekulová optika	381
4.1	Absorpce a disperze světla	381
4.1.1	Klasická teorie absorpce	381
4.1.2	Klasická teorie záření	383
4.1.3	Tlak záření	385
4.1.4	Klasická teorie disperze	386
4.1.5	Fázové zpoždění jako příčina indexu lomu	389
4.1.6	Clausius-Mossottiho rovnice	391
4.1.7	Index lomu dielektrika a plazmatu	392
4.1.8	Index lomu a odrazivost kovů	394
4.1.9	Kramers-Kronigovy relace	395
4.2	Rozptyl světla	396
4.2.1	Rozptyl světla na volných elektronech	396
4.2.2	Směrová charakteristika a polarizace nepolarizovaného světla	398
4.2.3	Rozptyl světla na vázaných elektronech	399
4.2.4	Součinitel rozptylu	400

4.2.5	Rozptyl světla jako důsledek termálních fluktuací	401
4.2.6	Rozptyl světla na sférické kapce	403
4.3	Magnetooptické jevy	405
4.3.1	Normální Zeemanův jev	405
4.3.2	Kruhová disperze a Faradayův jev	407
4.4	Nelineární optika	409
4.4.1	Nelineární prostředí	409
4.4.2	Metoda interakce rovinných vln	411
4.4.3	Druhá harmonická	412
4.4.4	Třetí harmonická a Kerrův jev	414
4.4.5	Braggův rozptyl na akustické vlně	416
5	Fotonová optika	421
5.1	Světlo jako částice	421
5.1.1	Rayleigh-Jeansův zákon	421
5.1.2	Planckův zákon	423
5.1.3	Fotoelektrický jev	427
5.1.4	Foton	429
5.1.5	Rozptyl světla elektronem	431
5.1.6	Rozptyl rentgenovského záření, Comptonův rozptyl	432
5.1.7	Comptonův jev jako důsledek Dopplerova jevu	433
5.1.8	Tlak světla	434
5.1.9	Dopplerův jev	434
5.1.10	Odraz na pohybujícím se zrcadle	436
5.1.11	Tlak světla na pohybující se zrcadlo	438
5.1.12	Laserové chlazení atomů	439
5.1.13	Čerenkovovo záření	439
5.2	Luminiscence, LASER	441
5.2.1	Bohrův model vodíkového atomu	441
5.2.2	De Brogliho hypotéza	442
5.2.3	Luminiscence	443
5.2.4	Fluorescence a fosforescence	444
5.2.5	Pokles luminiscence s časem	446
5.2.6	Střední doba života a přirozená šířka čáry	447
5.2.7	Rezonanční fluorescence	447
5.2.8	Kombinační rozptyl, Ramanův rozptyl	448
5.2.9	Klasická teorie spontánního Ramanova rozptylu	449
5.2.10	Klasická teorie ramanovského zesílení	450
5.2.11	Teplé a studené světlo	452
5.2.12	Z historie osvětlování	452
5.2.13	Einstein a stimulovaná emise	454
5.2.14	Spektrální selektivita absorpce a emise světla	458
5.2.15	Součinitel absorpce a teplota	460
5.2.16	Saturace absorpce širokospektrálním buzením	460
5.2.17	Saturace absorpce úzkospektrálním buzením	461

5.2.18	Inverze populace a zesílení světla	462
5.2.19	Profil zesílení a saturace pro homogenní a nehomogenní čáru	466
5.2.20	Laser, práh generace	469
5.2.21	Optimalizace propustnosti zrcadla	470
5.2.22	Numerické odhady vybraných parametrů	471
5.2.23	Relaxační kmity a oscilace laseru	472
5.2.24	Módy rezonátoru	472
5.2.25	Šířka čáry módu	473
5.2.26	Módová selekce	475
5.2.27	Impulzní lasery, spínání	476
5.2.28	Z historie laseru	479
5.3	Pár dodatků na závěr	480
5.3.1	Semiklasická teorie Einsteinova B koeficientu	480
5.3.2	Přesnější teorie B koeficientu	482
5.3.3	Degenerační parametr	484
5.3.4	Stabilita rezonátoru	485
5.3.5	Dělič svazku a zákon zachování energie	486
5.3.6	Princip reverzibility	488
5.3.7	Obecnější odvození	489
5.3.8	Rezonátor ze dvou zrcadel	491