



Obr. 15.5: Příklad štítků pro lasery II. až IV. třídy

## Literatura

- [1] O. Svelto: *Principles of lasers*. Plenum Press, New York, 1982.
- [2] *Spravočník po lazeram v dvuch tomach*. Sovjetskoje radio, Moskva, 1978.
- [3] *Fizičeskij enciklopedičeskij slovar*. Sovetskaja enciklopedija, Moskva, 1983.
- [4] J. Blabla, V. Trkal, T. Šimeček: *Kvantové generátory*. SNTL, Praha, 1968.
- [5] M. Born, E. Wolf: *Osnovy optiky*. Nauka, Moskva, 1973.
- [6] J. Kvasnica: *Teorie elektromagnetického pole*. Academia, Praha, 1985.
- [7] B. Kvasil: *Teoretické základy kvantové elektroniky*. Academia, Praha, 1983.
- [8] F.H. Read: *Electromagnetic Radiation*. John Wiley and Sons, Chichester, 1980.
- [9] B. Havelka: *Geometrická optika I, II*. SAV, Praha, 1955, 1956.
- [10] B. Kvasil: *Teorie otevřených rezonátorů*. Academia, Praha, 1971.
- [11] J. Peřina: *Teorie koherence*. SNTL, Praha, 1975.
- [12] J. Skála M. Chvojka: *Malý slovník jednotek měření*. Mladá fronta, Praha, 1982.

- [13] V. Sochor: *Lasery a koherentní svazky*. Academia, Praha, 1990.
- [14] A. Yariv: *Vvedeníje v optičeskiju elektroniku*. Vysšaja kola, Moskva, 1983.
- [15] M. Vrbová a kol.: *Lasery a moderní optika*. Oborová encyklopedie. Prometheus, Praha, 1994.
- [16] W. Koechner: *Solid – state laser engineering*. Springer Verlag, New York, 1988.
- [17] P.K. Cheo: *Handbook of Solid-State Lasers*. Marcel Dekker, Inc, New York Basel, 1989.
- [18] N.V. Karlov: *Lekcii po kvantovoj elektronike*. Nauka, Moskva, 1983.
- [19] J. Čtyroký, J. Schröfel, L. Šimánková, J. Čtyroký, I. Hüttl: *Integrovaná optika*. SNTL, Praha, 1986.
- [20] P. Engst, M. Horák: *Aplikace laserů, Populárn přednášky o fyzice 34*. SNTL, Praha, 1989.
- [21] G.J. Weiffenbach: *Sborník příspěvků ze 3. mezinárodní konference laserových radarů*. Praha, 1975.

## Seznam obrázků

2.1	Rovinná vlna . . . . .	16
2.2	Kulová vlna . . . . .	18
2.3	Lineární polarizace rovinné elektromagnetické vlny . . . . .	19
2.4	Kruhová polarizace rovinné elektromagnetické vlny . . . . .	20
2.5	Eliptická polarizace rovinné elektromagnetické vlny . . . . .	20
2.6	Impuls optického záření . . . . .	22
2.7	Výsledné elektrické pole dvou vln . . . . .	25
2.8	Interference v poli dvou vln . . . . .	27
2.9	Objemová hustota energie záření před zrcadlem . . . . .	28
2.10	Fabryův-Perotův rezonátor . . . . .	29
2.11	Propustnost Fabryova-Perotova etalonu . . . . .	32
2.12	Otevřený rezonátor tvořený dvěma sférickými zrcadly . . . . .	36
2.13	Diagram stability . . . . .	37
2.14	Spektrální křivka . . . . .	39
2.15	Čárové spektrum elektromagnetického záření . . . . .	40
2.16	Spektrum kvazimonochromatického elektromagnetického záření . . . . .	40
3.1	Energetické hladiny kvantové soustavy . . . . .	48
3.2	Populace energetických hladin v souboru kvantových soustav . . . . .	52
3.3	Kvantové přechody . . . . .	53
4.1	Zářivé kvantové přechody . . . . .	60
6.1	Energetické hladiny luminoforu . . . . .	84

7.1	Laser - generátor	87
7.2	Průchod záření planparalelní vrstvou aktivního prostředí	88
7.3	Zesilující prostředí v rezonátoru	91
7.4	Frekvenční spektrum	98
9.1	Diagram energetických hladin dvouvalentních iontů	111
9.2	Diagram energetických hladin třímocných iontů	112
9.3	Součásti pevnolátkového laseru	115
9.4	Budící dutiny	117
9.5	Energetické hladiny iontu chromu $Cr^{3+}$ v rubínu	120
9.6	Spektra iontu chromu v rubínu	121
9.7	Časový rozvoj impulsu rubínového laseru	122
9.8	Spektrum energetických hladin iontu $Nd$ ve skle	124
9.9	Spektrum energetických hladin neodymu v krystalu YAG	125
9.10	Spektra iontu neodymu v krystalu YAG	126
9.11	Spektrum energetických hladin neodymu v matici YLF	129
9.12	Spektrum energetických hladin iontu $Cr$ v alexandritu	132
9.13	Spektrum energetických hladin iontů $Cr$ , $Tm$ a $Ho$ v matici YAG	133
9.14	Spektra CTH:YAG krystalu	134
9.15	Spektrum energetických hladin iontu erbia v krystalu YAG	135
10.1	Pásmo vlnových délek záření generovaného barvivovými lasery	138
10.2	Strukturální vzorec Rhodaminu 6G	138
10.3	Absorpční a emisní spektrum Rhodaminu 6G	139
10.4	Podélné a příčné koherentní buzení barvivového laseru	141
11.1	Budící procesy v helium-neonovém laseru	146
11.2	Helium-neonový laser	148
11.3	He-Cd laser	152
11.4	Spektrum energetických hladin molekul	153

11.5	Závislost potenciální energie soustavy atomů $AB$ (resp. $AB^*$ )	155
11.6	Molekula $CO_2$ a její kmitavé módy	158
11.7	Vibračně-rotační hladiny energie molekuly $CO_2$	159
11.8	Vibrační energetické hladiny molekul $CO_2$ a $N_2$	160
11.9	Konstrukce výbojové trubice $CO_2$ laseru	161
11.10	Příčně buzený plynový laser	164
11.11	Příčně buzený plynový laser předionizovaný přidavným výbojem	165
11.12	Impulsní fluorovodíkový laser ionizovaný fotodisociací	167
11.13	Schema uspořádání hydrogenfluorid chemického laseru	168
11.14	Principiální schéma plynově dynamického laseru	169
11.15	Charakteristické veličiny plynově dynamického laseru	170
11.16	Vibračně-rotační energetické hladiny víceatomové molekuly	171
11.17	Schéma opticky buzeného submilimetrového laseru	172
13.1	Schema energetických hladin polovodičového materiálu	179
13.2	Schematické uspořádání polovodičového laseru	182
13.3	Polovodičové lasery buzené elektronovým svazkem	184
13.4	Injekční polovodičový laser	186
14.1	Fotografie impulsního $Nd$ :YAG laseru OFTALAS	190
14.2	Příklady laserového svařování	191
14.3	Laserem svažené pouzdro kardiostimulátoru	192
14.4	Dekorace poháru zářením $CO_2$ laseru	193
14.5	Schéma lidarů s koaxiálním vysílačem a přijímačem	200
14.6	Schéma laserového systému pro termojadernou syntézu	201
14.7	Princip laserové tiskárny	203
15.1	Závislost absorpce sítnice a cévnatky na vlnové délce dopadajícího záření	207
15.2	Závislost odrazivosti (reflektance) lidské kůže na vlnové délce dopadajícího záření	208

15.3 Výstražná tabulka pro označení prostorů, ve kterých se používají lasery II. a III.a třídy . . . . .	215
15.4 Výstražná tabulka pro označení prostorů, ve kterých se používají lasery III.b) a IV.třídy . . . . .	215
15.5 Příklady štítků pro lasery II. až IV. třídy . . . . .	216

## Seznam tabulek

2.1 Elektromagnetické záření . . . . .	38
2.2 Optické záření . . . . .	39
2.3 Radiometrické veličiny a jednotky a jejich definice . . . . .	44
2.4 Fotometrické veličiny a jednotky a jejich definice . . . . .	45
5.1 Tepelné detektory . . . . .	72
5.2 Receptory lidského oka . . . . .	80
8.1 Přehled typů laserů . . . . .	105
9.1 Parametry rubínového, <i>Nd:YAG</i> a <i>Nd:sklo</i> laserového aktivního materiálu . . . . .	121
9.2 Vybrané kvantové přechody v krystalu <i>Nd:YAG</i> za pokojové teploty . . . . .	128
9.3 Vlastnosti krystalu <i>Nd:YLF</i> . . . . .	130
9.4 Vlastnosti krystalu alexandritu . . . . .	131
11.1 Plynové lasery . . . . .	144
11.2 Vlnové délky záření iontových laserů . . . . .	150
11.3 Excimerové lasery . . . . .	156
15.1 Nejvyšší přípustné hodnoty pro lasery I.třídy . . . . .	210
15.2 Limitní hodnoty pro lasery II.třídy . . . . .	210
15.3 Limitní hodnoty pro lasery III. b) třídy . . . . .	211
15.4 Hodnoty korekčních faktorů $k_1$ a $k_2$ . . . . .	212
15.5 Příklady nejvyšších přípustných hodnot záření . . . . .	214

# Rejstřík

absorpce, 61  
akceptor, 185  
aktinidy, 117  
aktivátor, 112  
alexandrit, 132  
alumináty, 113  
anihilace, 61  
  
bezpečnost při práci s laserem, 215  
bolometr, 76  
    imerzní, 76  
    kovový, 76  
    polovodičový, 76  
    supravodivý, 76  
buzení, 57, 87, 92, 104, 191  
    fotodisociační, 152  
    nekoherentní, 145  
    příčné, 165  
  
čidlo ionizační, 165  
činitel jakosti, 34  
číslo  
    Fresnelovo, 35  
    Loschmidtovo, 50  
    vlnové, 16  
článek sluneční, 80  
dekorace skla, 199  
délka  
    impulsu, 22  
    vlnová, 17  
detektivita, 72  
detektor  
    fotoelektrický, 77  
    fotochemický, 81  
    nepřímý, 71  
    neselektivní, 73, 74  
    pyroelektrický, 77  
    selektivní, 73, 79, 81  
    tepelný, 74  
diagram stability, 36  
dielektrikum, 182  
díra, 182  
disociace  
    svazkem elektronů, 168  
    termální, 168  
doba  
    relaxační, 33, 58  
    života  
        fotonu v rezonátoru, 33  
        kvantové soustavy na hladině, 56  
        na hladině, 56  
doladování, 201  
donor, 184  
dopování, 200  
dysprosium, 115  
  
elektronika kvantová, 11  
emise, 62  
    spontánní, 62  
    zesílená, 152, 156, 157  
    stimulovaná, 62  
emulze fotografická, 81  
energie  
    excitační, 170  
    explozní, 120  
    zářivá, 42

# REJSTŘÍK

Er:YAG, 138  
erbio, 116  
excimer, 157  
exciplex, 157  
expanze plynu, 147  
  
finesa, 32  
fluorescence, 87  
fluorid, 113  
forofluorescence, 87  
fosfáty, 113  
fotočlánek, 80  
fotodioda  
    polovodičová, 79  
    vakuová, 79  
fotodisociace, 147, 167, 168  
fotokatoda, 79  
foton, 61  
fotoodpor, 78  
fotovodivost, 78  
frekvence  
    kruhová, 16  
    rezonanční, 30  
  
gadolinium, 116  
generátor záření, 91  
granáty, 112  
  
halogenidy, 152  
    vzácných plynů, 158  
hladina  
    energetická, 49  
    rotační, 173  
    metastabilní, 148, 151  
    vibračně-rotační, 164  
hlavice laseru, 118  
holmium, 116  
hustota  
    energie  
        saturační, 100  
        záření, 66  
    spektrální, 38  
    výkonu plošná, 22  
  
impuls optického záření, 104  
intenzita  
    spektrální, 43  
    záření, 22, 43  
interference, 25, 41  
inverze populace, 54, 57, 187  
  
jev fotodielektrický, 77  
  
kalení laserové, 200  
kalorimetr, 75  
keramika, 114  
konstanta  
    Boltzmannova, 51  
    Planckova, 57, 61  
    rotační kvantová, 161  
kov, 182  
krystalofosfor, 88  
křivka spektrální, 39  
  
laser  
    alexandritový, 134  
    argonový, 153  
    CO<sub>2</sub>, 159  
    elektroionizační, 166  
    erbiový, 138  
    excimerový, 157  
    fotodisociační, 166  
    gazodynamický, 170  
    helium-kadmiový, 153  
    helium-neonový, 148  
    holmiový, 135  
    chemický, 167  
    jednofrekvenční, 102  
    kapalinový, 141  
    molekulární, 155  
    Nd:YAG, 129  
    Nd:YLF, 131

- neodymový, 127
- oftalmologický, 195
- plazmatický, 179
- plynově dynamický, 179, 170
- plynový, 147
  - opticky buzený, 172
- polovodičový, 181
- přeladitelný, 143
- rentgenový, 179
- s molekulami vody, 174
- s podélným buzením, 163
- vlnododový, 163
- lidar, 205
- litografie laserová, 203
- luminiscence rezonanční, 87
- luminofofor, 87, 112
- maser, 12
- matrice, 112
- medicína laserová, 194
- mode-locking, 103
- napětí termoelektrické, 75
- neodym, 116
- oko, 81
- oxidy, 112
  - vzácných plynů, 158
- oxysulfidy, 113
- pás
  - Lymanův, 156
  - valenční, 181
  - vodivostní, 182
  - Wernerův, 156
  - zakázaný, 182
- pásmo
  - frekvenční, 72
- perioda, 16
- permeabilita vakua, 21
- permitivita vakua, 21
- plazma, 179
- plyny vzácné, 158
- polarizace vlny, 19
- pole koherentní, 41
- polovodič, 182
  - čistý, 184
- populace energetické hladiny, 51
- poškození
  - sítnice, 215
  - tkáně, 211
- práh laserové činnosti, 96
- praseodym, 116
- pravděpodobnost kvantového přechodu, 56
- proužkyinterferenční, 26
- průřez účinný, 93
- prvek s nábojovou vazbou, 80
- přechod
  - kvantový, 55
  - kaskádní, 164
  - zářivý, 55
- přenos excitace, 148, 152
- reakce
  - harpunová, 159
  - chemická, 147
  - Penningova, 154
  - řetězová, 168
- receptor, 81
- relaxace, 57
- rezonátor, 191
  - konfokální, 37
  - otevřený, 34
  - sférický, 37
  - stabilní, 36
- rovnováha termodynamická, 51, 64
- rozdělení Boltzmannovo, 51, 53
- rozptyl
  - Mieův, 205
  - Rayleighův, 205
- rozšíření

- homogenní, 63
- nehomogenní, 63
- rýhování laserové, 202
- rychlost
  - buzení, 57
  - grupová, 25
  - světla, 15
- řezání laserové, 198
- samarium, 115
- separace izotopů laserová, 210
- signál náhodný, 102
- silikáty, 113
- sklo, 113
- součinitel
  - Einsteinův, 67
  - zesílení, 93
- soustava kvantová, 49, 91
- spektroskopie
  - laserová, 208
  - lineární, 210
  - nelineární, 210
- spektrum
  - absorpční, 63
  - emisní, 63
  - energetických hladin, 155
  - spojité, 38
- spínání Q, 104
- svažování laserem, 197
- světlo studené, 87
- synchronizace módů, 103, 104
- syntéza termojaderná, 205
- šířka
  - čáry, 63
  - spektra, 39
- šum, 41
  - zesilovače, 69
- technologie laserová, 195
- těleso černé, 86
- teorie koherence, 41
- teplota záporná, 55
- termistor, 76
- termočlánek, 75
  - kovový, 75
  - polovodičový, 75
- thulium, 115, 116
- tiskárna laserová, 207
- trubice výbojová, 163
- tungstáty, 113
- účinnost
  - konverzní, 73
  - kvantová, 73
- úhel Brewsterův, 150
- vedení Blumleinovo, 156
- vlna
  - kulová, 18
  - rovinná, 15
- vlnočet, 17
- vlnoplocha, 17
- vodivost vlastní, 182
- vrtání laserové, 197
- výboj
  - doutnavý, 165
  - elektrický, 147
  - nesamostatný, 166
- výkon
  - optického záření, 42
  - prahový, 72
- vzorec Stirlingův, 52
- ytterbium, 116
- zákon
  - Planckův, 66
  - Stefanův-Boltzmannův, 67
  - Wienův posunovací, 66
- záření

- elektromagnetické, 15
- infračervené, 155
- kvazimonochromatické, 40
- monochromatické, 40
- nekoherentní, 41
- submilimetrové, 173
- ultrafialové, 155
- viditelné, 155
- zázněj, 25
- zdroj
  - luminiscenční, 85
  - nekoherentní, 42, 85
  - tepelný, 85
- zeminy vzácné
  - dvojmocné, 115
  - třímocné, 116
- zesilovač
  - kvantový, 92
  - laserový, 91
- zhášení luminiscence, 88
- značkování laserové, 199
- zrcadlo výstupní, 34
- ztráty
  - rezonátoru
    - činné, 34, 94
    - difrakční, 34
- žihání laserové, 202