

Leoš Navrátil a kolektiv

Nové pohledy na neinvazivní laser



Leoš Navrátil a kolektiv

Nové pohledy na neinvazivní laser

Upozornění pro čtenáře a uživatele této knihy

Všechna práva vyhrazena. Žádná část této tištěné či elektronické knihy nesmí být reprodukována ani šířena v papírové, elektronické či jiné podobě bez předchozího písemného souhlasu nakladatele. Neoprávněné užití této knihy bude **trestně stíháno**.

Prof. MUDr. Leoš Navrátil, CSc., a kolektiv

Nové pohledy na neinvazivní laser

Editor:

Prof. MUDr. Leoš Navrátil, CSc.

Kolektiv autorů:

MUDr. Pavla Alexandrová, Ing. Yulia Efremova, prof. MUDr. Jana Hercogová, CSc., MHA, prof. RNDr. Hana Kolářová, CSc., prof. Leonardo Longo, MD, MUDr. Alexandra Mateřanková, prof. MUDr. Leoš Navrátil, CSc., Ing. Václav Navrátil, doc. MUDr. Pavel Poleník, CSc., doc. Ing. et PhDr. Jaroslav Průcha, CSc., MUDr. Eva Remlová, Ph.D., prof. MUDr. Jozef Rosina, Ph.D.

Recenze:

Prof. MUDr. Ivan Dylevský, DrSc.

MUDr. David Slouka, Ph.D.

Vydání odborné knihy schválila Vědecká redakce nakladatelství Grada Publishing, a.s.

© Grada Publishing, a.s., 2015

Cover Photo © allphoto, 2015

Vydala Grada Publishing, a.s.

U Průhonu 22, Praha 7

jako svou 6048. publikaci

Odpovědný redaktor Mgr. Luděk Neuzil

Sazba a zlom Antonín Plicka

Obrázky dodali autoři.

Počet stran 160 + 12 stran barevné přílohy

1. vydání, Praha 2015

Vytiskly Tiskárny Havlíčkův Brod, a.s.

Názvy produktů, firem apod. použité v knize mohou být ochrannými známkami nebo registrovanými ochrannými známkami příslušných vlastníků, což není zvláštním způsobem vyznačeno.

Postupy a příklady v této knize, rovněž tak informace o lécích, jejich formách, dávkování a aplikaci jsou sestaveny s nejlepším vědomím autorů. Z jejich praktického uplatnění ale nevyplývají pro autory ani pro nakladatelství žádné právní důsledky.

ISBN 978-80-247-5929-6 (ePUB)

ISBN 978-80-247-5928-9 (pdf)

ISBN 978-80-247-1651-0 (print)

Obsah

Seznam zkratk	9
Úvod	11
1 Historická cesta k laseru (Leoš Navrátil)	13
1.1 Významné osobnosti	13
1.2 Historie fototerapie	16
2 Fyzikální charakteristika laseru (Jozef Rosina)	19
2.1 Elektromagnetické vlnění	19
2.2 Laser	19
2.2.1 Princip laseru	21
2.2.2 Příslušenství	23
3 Východiska neinvazivní laseroterapie z pohledu biomedicínské technologie (Jaroslav Průcha)	25
3.1 Ještě několik údajů z historie	25
3.2 Přírodní a umělé zdroje světla	28
3.3 Luminiscenční zdroje	29
3.4 Základní technické údaje o laserech	32
3.5 Technické aspekty neinvazivní laserové stimulace	40
3.6 Technické parametry aplikace laseru	42
4 Mechanismy působení laseru <i>in vivo</i> (Leoš Navrátil, Yulie Efremova)	51
4.1 Fotochemická reakce	51
4.2 Mechanismus účinku terapeutického laseru na organismus	51
4.3 Biologické účinky aplikace terapeutického laseru	55
4.3.1 Analgetický účinek laserového záření	56
4.3.2 Mechanismus stimulačního účinku laseru	58
4.4 Protizánětlivý vliv laseru	59
4.5 Mechanismus účinků laseru na krev jako celek a na jednotlivé krevní buňky	60
4.6 Ozařování krve laserem	61
5 Možnosti terapeutického využití laserů o vyšších výkonech (Leoš Navrátil)	65
5.1 Vysokovýkonný terapeutický laser	65
5.2 Metodika aplikace	66
5.3 Indikace HPLT	67
5.4 MLS® laserová terapie	68
5.5 Závažné upozornění	70
6 Možnosti laseroterapie v dermatologii (Jana Hercogová, Pavla Alexandrová, Alexandra Mateřanková)	73

6.1	Hojení ran a vředů	74
6.1.1	Ulcus cruris venosum	74
6.1.2	Ulcus cruris diabetiorum	74
6.2	Infekce a záněty	75
6.2.1	Infekce herpetickými viry	75
6.2.2	Folikulitida, furunkl, absces	75
6.2.3	Acne vulgaris	75
6.2.4	Dermatitis perioralis, rosacea, rhinophyma	76
6.2.5	Eczema atopicum	76
6.2.6	Pruritus, dermatitis seborrhoica, lichen planus	76
6.2.7	Psoriasis	77
6.2.8	Záněty nehtových lůžek, drobná poranění	77
6.3	Pigmentové léze	77
6.3.1	Vitiligo	77
6.4	Terapie alopecie	77
6.4.1	Alopecia areata	77
6.4.2	Alopecia androgenetica	78
6.5	Další indikace	78
6.5.1	Jizvy	78
6.5.2	Fotorejuvenace	78
6.5.3	Lymfedém	79
6.6	Závěr	79
7	Možnosti laseroterapie v léčbě pohybového aparátu (Leoš Navrátil)	83
7.1	Základní principy	83
7.2	Indikace při léčbě pohybového aparátu	84
7.2.1	Vertebrogenní algický syndrom	84
7.2.2	Artrózy	86
7.2.3	Distorze a svalové kontuze	86
7.2.4	Achillodynie	87
7.2.5	Entezopatie	87
7.2.6	Humeroskapulární periartropatie	88
7.2.7	Zmrzlé rameno	88
7.2.8	Chondropatie pately	88
7.2.9	Syndrom karpálního tunelu	88
7.2.10	Dupuytrenova kontraktura	89
7.2.11	Další indikace	89
7.3	Závěr	90
8	Lasery v estetické medicíně (Leonardo Longo)	91
8.1	Materiál a metody	91
8.2	Přehled laserové kosmetické chirurgie	95
8.3	Závěr	96
9	Možnosti laseroterapie ve stomatologii (Pavel Poleník)	97
9.1	Stimulační fototerapie	97
9.1.1	Ošetření měkkých tkání po chirurgických zákrocích	98
9.1.2	Aplikace u extrakčních ran a alveolitidy	98
9.1.3	Podpůrná léčba u parodontopatií	98

9.1.4	Některé choroby ústní sliznice (zejména recidivující afty)	99
9.1.5	Mukozitida jako komplikace léčby cytostatiky	100
9.1.6	Urychlení regenerace poškozené nervové tkáně	100
9.1.7	Stimulace oseointegrace a kostní regenerace	100
9.1.8	Urychlení pohybu zubu během ortodontické léčby	100
9.1.9	Aplikace u chorob temporomandibulárního kloubu	101
9.1.10	Redukce bolesti	101
9.1.11	Snížení citlivosti zubních krčků	102
9.2	Antimikrobiální fototerapie	103
9.2.1	Antimikrobiální fototerapie v kořenovém kanálku zubu	103
9.2.2	Antimikrobiální fototerapie v parodontologii	104
9.3	Fotodynamická terapie (PDT)	105
9.3.1	Fotodynamická terapie v parodontologii	106
9.3.2	Fotodynamická terapie v endodoncii	106
10	Možnosti využití laseru v chirurgii a v porodnictví (Eva Remlová)	111
10.1	Cévní změny	113
10.2	Pigmentové změny	113
10.3	Tetováže	113
10.4	Epilace	113
10.5	Ablace kůže – vyhlazení nerovností kožního povrchu	114
10.6	Komplikace laserové terapie v chirurgických oborech	114
10.7	Využití LLLT v chirurgii	114
10.8	Kombinovaná laserová terapie jizev po popálení u dětí	114
10.9	Jizvy	115
10.10	Léčba vysokovýkonným laserem a její vedlejší účinky	116
10.11	Indikace neinvazivního laseru v porodnictví	116
10.12	Závěr	117
11	Kontraindikace laseroterapie (Leoš Navrátil)	119
11.1	Relativně oprávněné kontraindikace	119
11.2	Kontraindikace platné za určitých podmínek	121
11.3	Kontraindikace chybně uváděné	122
12	Principy fotodynamické terapie (Hana Kolářová)	125
12.1	Základní principy fotodynamické terapie	125
12.2	Fotodynamický jev	126
12.3	Typy senzitizerů	127
12.4	Zdroje záření používané pro PDT	129
13	Ochrana zdraví při práci s lasery (Václav Navrátil)	133
13.1	Přehled citovaných legislativních dokumentů	137
Appendix 1: Přehled fyzikálních pojmů a veličin (Leoš Navrátil, Hana Kolářová, Jaroslav Průcha)		
A1.1	Důležité pojmy ve vztahu ke světelnému záření	139
A1.2	Důležité veličiny ve vztahu ke světelnému záření	139
A1.3	Radiometrické veličiny	140
A1.4	Rozdělení laserů	141

Appendix 2: Stručné <i>curriculum vitae</i> autorského kolektivu	143
Rejstřík	149
Souhrn	153
Summary	155

Seznam zkratek

ALA	kyselina 5-aminolevulová (5-aminolevulinic acid)
aPDT	antimikrobiální fotodynamická terapie
CCO	cytochrom-C-oxidáza
CMS	Centers for Medicare and Medicaid Services
ČLS JEP	Česká lékařská společnost Jana Evangelisty Purkyně
DCD	dynamic cooling device systeme
DFB	rozprostřená zpětná vazba (distributed feed back)
DH	dvojitá heterostruktura (double heterostructure)
EPR	paramagnetická rezonance (electron paramagnetic resonance)
FDA	Úřad pro kontrolu potravin a léčiv (The Food And Drug Administration)
FGF	fibroblastový růstový faktor (fibroblast growth factor)
HILT*	terapie stimulačním laserem s vysokou intenzitou (high intensity laser therapy)
HPD	deriváty hematoporfyrinů (hematoporphyrin derivative)
HPLT	terapie vysokovýkonným stimulačním laserem (high-power laser therapy)
HSV	herpes simplex virus
IALMS	Mezinárodní akademie pro laserovou medicínu a chirurgii (International Academy for Laser Medicine and Surgery)
ICNIRP	Mezinárodní komise pro ochranu před neionizujícím zářením (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection)
IFN	interferon
IL	interleukin
IPL	intenzivní pulzní světlo (intense pulsed light)
ISLSM	Mezinárodní společnost pro laserovou chirurgii a medicínu (International Society for Laser Surgery and Medicine)
KTP	kaliumtitanylfosfát
laser	light amplification by stimulated emission of radiation
LASIK	laser-assisted in situ keratomileusis
LED	luminiscenční dioda (light-emitting diode)
LLLT	terapie nízkovýkonným stimulačním laserem (low level laser therapy)
MMP	metaloproteáza
MPE	maximální přípustná dávka (maximum permissible exposure)
NIR	blízké infračervené oblasti (near infrared)
PDGF	destičkový růstový faktor (platelet-derived growth factor)
PDL	pulzní barvivový laser (pulsed dye laser)
PDT	fotodynamická terapie
PGE ₂	prostaglandin E ₂
Pp	protoporfyrin
QW	kvantová jáma (quantum well)
ROS	reaktivní kyslíkové radikály (reactive oxygen species)
RSI	poškození z opakovaného namáhání (repetition strain injury)
TGF	transformující růstový faktor (transforming growth factor)
TIMP	tkáňový inhibitor metaloproteináz (tissue inhibitor of metalloproteinase)
TNF	faktor nádorové nekrózy (tumor necrosis factor)

TPPS	mezo-tera-(para-sulfofenyl)-porfyrin
VCSEL	vertical-cavity surface emitting lasers
VIS	viditelné světlo
WFLMS	Světová federace společností pro laserovou medicínu a chirurgii (World Federation of Societies for Laser Medicine and Surgery)

Úvod

Jako začínající lékař jsem záviděl svým učitelům, když vzpomínali, jak byli na začátku některých, v té době všeobecně uznávaných vyšetřovacích technik či terapeutických postupů, kdy stáli na začátku tunelu a netušili, zda na konci bude světlo.

Měl jsem to štěstí, že i mně profesní život umožnil v bezprostředním kontaktu sledovat rozvoj neinvazivní laseroterapie v Československé, respektive v České republice. Vzpomínám, jak jsme byli nadšeni, když se nám dostávaly do rukou lasery s výkonem 5 mW, potom 10 mW a co teprve 50 mW. Jak jsme po výrobcích, z dnešního pohledu zcela zbytečně, chtěli stále vyšší a vyšší frekvence, hledali, jaké jsou vhodné vlnové délky na různé indikace, jak zoufale málo existovalo prací z experimentální medicíny. Vycházeli jsme především z klinických zkušeností. Jedno je však jisté. Určitě jsme nebyli pozadu proti vývoji v zahraničí. Naopak, nadšení našich lékařů pro tuto metodu bylo obrovské, jeden čas jsme počtem přístrojů na počet obyvatel byli na třetím místě na světě.

Sám jsem měl možnost se poprvé setkat s využitím nízkovýkonných laserů v terapii v roce 1984 v tehdejší Onkologickém vědeckém centru Akademie lékařských věd v Moskvě. Přiznávám se, že jsem k nadšeným poznatkům tamních kolegů přistupoval nedůvěřivě. Jak jsem se mylil!

Myslím, že všichni pamětníci mně potvrdí, že o rozvoj neinvazivní laseroterapie v České republice se nejvíce zasloužil prof. MUDr. Jiří Hubáček, DrSc. Jeho nadšení pro tuto metodiku přetrvává do dnešních dnů. Nechci jmenovat nikoho dalšího, nerad bych na někoho zapomněl.

Jsem rád, že jsem se mohl osobně seznámit s celosvětově uznávanými odborníky v laseroterapii. Na prvním místě bych zde rád vzpomenu prof. Isaaca Kaplana, MD., PhD., který se podílel na vývoji CO₂ laseru. Rád připomenu i řadu dalších. Prof. J. J. Anderse, BiD, PhD z USA, prof. A. Baruchina, MD, PhD z Izraele, G. D. Baxtera, TD, BSc, DPhil, MCSP z Nového Zélandu, K. Khatriho, MD z USA, prof. G. Lynn-Powella, DDS, PhD z USA, prof. T. Ohshira, MD, PhD z Japonska, prof. M. D'Ovidia, MD z Itálie, prof. M. L. Pascu, PhSc, PhD z Rumunska, prof. K. A. Samojlovou, PhD z Ruské federace, prof. S. Svanberga, PhD, prof. M. A. Trellese, MD ze Španělska, J. Tunera, MD ze Švédska, doc. A. Vaitkuvienovou, MD, PhD z Litvy, prof. W. Waidelicha, MD, PhD z Německa a tento výčet není určitě úplný. Snad nejvíce se o rozvoj laseroterapie zasloužil v posledních letech prof. Leonardo Longo, MD, prezident Mezinárodní akademie pro laserovou medicínu a chirurgii, který je autorem jedné z kapitol této monografie.

Studium účinku laseru na tkáň zaznamenalo v posledním desetiletí významný pokrok. Od empirických studií, kdy byly hodnoceny možnosti využití terapeutického laseru v jednotlivých indikacích spíše metodou úspěchu a omylu, po dnešní dobu, kdy každým dnem přibývají výsledky popisující metabolické změny navozené aplikací laseru. Tyto poznatky je pak možné promítnout cíleně do klinických postupů.

Není možné opominout technický rozvoj. Revoluci pro neinvazivní laseroterapii znamenají diodové lasery. Dnes výrobci nabízí diody o výkonech do 12 W a o širokém spektru vlnových délek. A co je nejdůležitější – jejich cena je přijatelná pro většinu zdravotnických zařízení.

Pro zkrácení délky aplikace prošly vývojem i samotné aplikátory. Zvyšující se výkon laserových diod umožnily rozvoj vysokovýkonné laserové terapie (PLT) s aplikací

hustot energie, které jsme ještě před 2 lety popírali jako nemožné. Je zajímavé, že v poslední době se objevují pozitivní výsledky i z „druhého pólu“. Tuto formu označujeme jako ultranízkou laserovou terapii (ULLLT).

Rozsah textu, který vám předkládáme, nedovoluje vyčerpávajícím způsobem shrnout dosavadní poznatky, týkající se využití terapeutického laseru v jednotlivých klinických oborech. Věříme však, že bude pro mnohé inspirací k jeho širšímu využití.

Praha, říjen 2015

prof. MUDr. Leoš Navrátil, CSc.

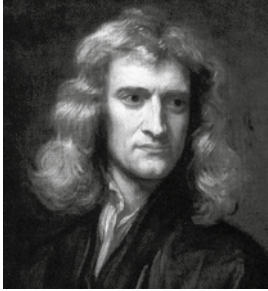
1 Historická cesta k laseru

Leoš Navrátil

1.1 Významné osobnosti

Jan Marek Marků (obr. 1.1), Čech, rektor Univerzity Karlovy a osobní lékař císaře Leopolda I., již v roce 1648 vyslovil myšlenku, že bílé světlo je světlem složeným a vysvětlil podstatu duhy.

V roce 1672 se podařilo **Isaacu Newtonovi** (obr. 1.2) prokázat, že bílé světlo je možné hranolem rozložit na barevné složky. Prokázal, že bílé světlo se skládá ze spektra barev. Newton si představoval, že světlo se skládá z rychle



Obr. 1.2 *Isaac Newton*
(4. 1. 1643 – 31. 3. 1727)

letících částic (korpuskulí) nepatrných rozměrů, přičemž každá barva je zastoupena částicemi s rozdílnou velikostí. Se svou „korpuskulární teorií“ dokázal vysvětlit tehdy známé „částicové“ vlastnosti světla, jako je odraz, lom a další. Korpuskulární model vysvětluje také fotoefekt.

Ve stejném století definoval vlnovou teorii světla **Christian Huygens** (obr. 1.3). Jeho podstatu viděl ve vlnění, které se šíří prostorem stejnou rychlostí všemi směry z každého bodu na povrchu svítícího tělesa. Dokázal pomocí své teorie vysvětlit většinu tehdy známých vlnových vlastností světla. Navodil spor, zda je světlo částice nebo vlna.

Počátkem 19. století **Thomas Young** (obr. 1.4) vyslovil myšlenku interference světla, která je typickým příkladem čistě vlnových vlastností světla. Jde o vzájemné působení dvou stejných světelných vln o stejné frekvenci a amplitudě v daném okamžiku a místě. Vlnové rozrušky se vzájemně sčítají. Setkají-li se ve fázi, výsledkem je jejich zesílení, pokud se nesetkají ve fázi, zeslabení. V 19. století převládla vlnová teorie světla. Zbývalo však vyřešit otázku „co se vlní“.



Obr. 1.4 *Thomas Young*
(13. 6. 1773 – 10. 5. 1829)



Obr. 1.1 *Jan Marek Marků*
(13. 6. 1595 – 10. 4. 1667)

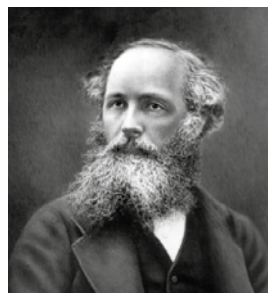
Ve stejném století definoval vlnovou teorii světla **Christian Huygens** (obr. 1.3). Jeho podstatu viděl ve vlnění, které se šíří prostorem stejnou rychlostí všemi směry z každého bodu na povrchu svítícího tělesa. Dokázal pomocí své teorie



Obr. 1.3 *Christian Huygens*
(14. 4. 1629 – 8. 7. 1695)

V tuto otázku odpověděl na přelomu padesátých a šedesátých let 19. století **James Clerk Maxwell** (obr. 1.5) svou teorií elektromagnetického pole. V roce 1865 matematicky odvodil, že existují elektromagnetické vlny, které

se šíří rychlostí světla. Výsledky své práce shrnul do rovnic, které se staly základem teorie elektromagnetického pole. Rovnice vysvětlovaly všechny známé zákonitosti elektrických a magnetických polí. Na základě řešení těchto rovnic Maxwell předpověděl existenci příčných elektromagnetických vln, které se mohou šířit ve vakuu, a tím prokázal, že viditelné světlo není nic jiného než příčné vlnění elektromagnetického pole v určitém intervalu frekvencí. Maxwell ukázal, že elektrické, magnetické a optické jevy mají stejnou podstatu. Předpověděl existenci dalšího elektromagnetického záření. Toto záření však už není světlem, které může člověk vnímat zrakem.



Obr. 1.5 James Clerk Maxwell (13. 1. 1831 – 5. 11. 1879)



Obr. 1.6 Max Karl Ernst Ludwig Planck (23. 4. 1858 – 3. 10. 1947)

Max Planck (obr. 1.6) v roce 1900 vyslovil předpoklad, že světlo je tvořeno malými částicemi energie – „kvanty“. Energie každého kvanta je úměrná frekvenci záření. Tak byly položeny základy kvantové fyziky. Podle ní má světlo dvojaký charakter; vlnový a korpuskulární. Kvanty energie byla později označena jako fotony. Mezi sebou fotony interferují jako vlny.

Principy vyzařování a pohlcování záření atomy vysvětlil v letech 1912–1913 dánský fyzik **Niels Bohr** (obr. 1.7). Podle jeho modelu obíhají elektrony kolem jádra po vymezených drahách (hladinách). Přeskočí-li elektron z jed-

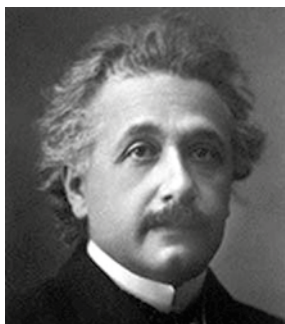
né hladiny na druhou, může atom získat energii v podobě elektromagnetického záření v případě, že elektron přeskočí na vyšší energetickou hladinu, nebo ji ztratit v případě, že se dostane na nižší energetickou hladinu. Energie atomu se změní právě o vyzářené nebo pohlcené kvantum.

Albert Einstein (obr. 1.8). V době vzniku kvantové teorie na počátku století byl v těsném kontaktu s Maxem Planckem. Byl jedním z prvních, kdo pochopil význam kvantové teorie a sám přispěl k jejímu dalšímu rozvoji. Ukázal, že neexistují pouze dva procesy při vzájemném působení látky a záření (absorpce a emise energie), ale tři



Obr. 1.7 Niels Henrik David Bohr (7. 10. 1885 – 18. 11. 1962)

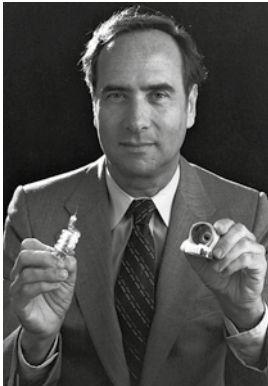
(k výše uvedeným ještě stimulovaná emise).



Obr. 1.8 Albert Einstein (14. 3. 1879 – 18. 4. 1955)

Setká-li se další kvantum energie s atomem, který je již na vyšší energetické hladině a odmítá tuto hladinu přechodně opustit, lze ho donutit vyzářit další kvantum energie (elektromagnetického záření) a přejít na nižší hladinu. Původní dopadající kvantum se ale nepohltí. Výsledkem jsou dvě kvanta světelné energie, světlo o dvojnásobné energii. Hovoříme o vynucené (neboli indukované) emisi záření, tedy o fyzikálním jevu, na kterém je činnost laserů založena. Tento jev Einstein předpověděl již v roce 1916.

Anglický fyzik **Paul Adrien Maurice Dirac** (obr. 1.9) provedl koncem dvacátých let 20. století detailnější matematickou analýzu kvantové teorie záření a dále rozvinul Einsteinovy myšlenky. Einstein i Dirac si byli vědomi vlastností, jaké by vynucené záření mělo mít. Na rozdíl od chaotické spontánní emise musí být vyzařování při vynucené emisi mnohem uspořádanější. Dopadající i vyzářené kvantum budou mít stejnou vlnovou délku a stejnou fázi a budou vzájemně koherentní. Světlo vyzářené při



Obr. 1.10 *Theodore Harold Maiman* (11. 7. 1927 – 5. 5. 2007)

vynucené emisi nebude pouze zesíleno, zachová si i charakter sinusové vlny, u níž je možné v každém okamžiku a v každém místě určit, zda právě prochází vrcholem či jinou fází.

První funkční **LASER** (pojem složený z počátečních písmen anglického názvu **L**ight **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation) demonstroval 16. května 1960 **Theodore Harold Maiman** (obr. 1.10). Jako aktivní prostředí používal krystal rubínu, do kterého promítal záblesky obyčejného světla. Není bez zajímavosti, že byl dvakrát navržen na Nobelovu cenu, nikdy ji však nedostal.

Za objevy v oblasti kvantové elektroniky zaměřené na oblasti teorie a aplikace laseru se v roce 1964 však podělili o Nobelovu cenu americký fyzik Charles Hard Townes a dva

ruští fyzici, Alexandr Michajlovič Prochorov a Nikolaj Genadijevič Basov.

Charles Hard Townes (obr. 1.11) je znám za svou práci v oblasti teorie a aplikace maseru, který patentoval, a publikacemi v oblasti kvantové elektroniky spojené jak s maserem, tak s laserem. Byl členem Papežské akademie věd a Národní akademie věd Spojených států.



Obr. 1.12 *Alexander Michajlovič Prochorov* (11. 6. 1916 – 8. 1. 2002)

Alexandr Michajlovič Prochorov (obr. 1.12) se narodil v roce 1916 v Athertonu (Austrálie). V roce 1923 se rodina vrátila do Sovětského svazu. V roce 1939 absolvoval s vyznamenáním Leningradskou státní univerzitu a začal pracovat v Lebeděvově fyzikálním institutu v Moskvě. Zkoumal šíření radiových vln v ionosféře. V červnu 1941 se stal příslušníkem Rudé armády. V roce 1947 začal zkoumat radiaci vydávanou elektrony obíhajícími v synchrotronu. Prokázal, že radiace je většinou v rozsahu mikrovln. V roce 1957 ho při zkoumání rubínu napadlo, že by se tento prvek mohl použít jako aktivní prostředí laseru. V roce 1959 se



Obr. 1.9 *Paul Adrien Maurice Dirac* (8. 8. 1902 – 20. 10. 1984)



Obr. 1.11 *Charles Hard Townes* (28. 7. 1915 – 27. 1. 2015)



Obr. 1.13 *Nikolaj Genadijevič Basov (14. 12. 1922 – 1. 7. 2001)*

stal profesorem na Moskevské státní univerzitě a v témže roce získal Leninovu cenu. O rok později se stal členem Akademie věd SSSR.

Nikolaj Genadijevič Basov (obr. 1.13) se narodil v městečku Usmaň v Tambovské gubernii v Sovětském svazu. Od roku 1943 sloužil v 1. ukrajinském frontu a účastnil se druhé světové války. Po válce absolvoval Moskevský inženýrsko-fyzikální institut. Poté pracoval ve Lebeděvově fyzikálním institutu Akademie věd v kolektivu akademika Prochorova. Zaměřil se na oblast kvantové radiofyziky, prováděl experimenty, navrhoval a stavěl oscilátory. Zabýval se vlivy, které působily na frekvenci oscilátoru, a snažil se zvýšit jejich stabilitu. Popsal princip zařízení, které dokáže generovat a zesilovat mikrovlny pomocí stimulované emise záření. V roce 1963 založil Laboratoře kvantové radiofyziky

a v jejich vedení byl po zbytek života. Jisté období zastával funkci ředitele. Byl členem Akademie věd SSSR a čestným členem Mezinárodní akademie věd.

I když první poznatky týkající se laseru byly využity především v armádním výzkumu, byla jeho cesta k využití v medicíně rychlá. Umožnil rozvoj nových léčebných metod, které souhrnně označujeme jako fototerapie.

1.2 Historie fototerapie

Léčebné využití světla v medicíně zaznamenáváme teprve koncem 19. století. Do lékařských ordinací vrátil světlo po období několika století, kdy zejména katolická církev odmítala pohled na obnažené lidské tělo (a tím i možnosti využití fototerapie v té nejpřirozenější podobě, tj. v podobě ošetřování člověka přirozenými slunečními paprsky), dánský lékař prof. **Niels Ryberg Finsen** (obr. 1.14). Za výsledky v terapii pacientů s nejrůznějšími kožními chorobami mu byla v roce 1903 udělena Nobelova cena. Na začátku 20. století jsou v celém civilizovaném světě, a Čechy nebyly výjimkou, zakládány „světloléčebné ústavy“ užívající lampy emitující světlo v nejrůznějších vlnových délkách. A to jak viditelné, tak i infračervené a ultrafialové. Rozvoj fototerapie podnítil rozvoj lázeňství, budování známých letovisek v Řecku, v Itálii nebo na francouzské



Obr. 1.14 *Niels Ryberg Finsen (15. 12. 1860 – 24. 9. 1904)*

Riviéře. Protože se prokázal klíčový význam fototerapie v boji proti plicní tuberkulóze, zaznamenáváme intenzivní budování lázeňských míst ve vysokohorském prostředí, která poskytovala nemocným dlouhodobé pobyty na horském vzduchu spojené se sluněním (helioterapie, případně klimatoterapie), kvalitní stravou a s dostatkem odpočinku.

V předcházející kapitole jsme stručně nastínili vývoj laserů. Do medicíny začaly pronikat od konce roku 1961 a to nejdříve jako invazivní lasery v oftalmologii. Charles Campbell a Charles Koester odstranili nádor sítnice pomocí rubínového laseru. Elias Snitzer popsal první operaci s neodymovým laserem. Pro zajímavost, tento laser se stal prvním, který byl použit jako laserová zbraň.

Od poloviny šedesátých let 20. století se věnoval možnostem využití neinvazivního laseru v medicíně profesor chirurgie Semmelweisovy univerzity v Budapešti **Endre Mester** (obr. 1.15). Právem ho považujeme za otce zakladatele této formy léčby. Své první práce věnoval studiu působení laseru na melanom. Záhy si také všiml stimulačních vlastností laseru a svou pozornost přenesl tímto směrem. V roce 1974 zakládá Laserové výzkumné centrum, které se věnuje biologickým účinkům paprsků laseru na živou tkáň v celé šíři.

V roce 1923 **Alexandr Gavrilovič Gurvič** (obr. 1.16), profesor histologie a embryologie Moskevské státní uni-



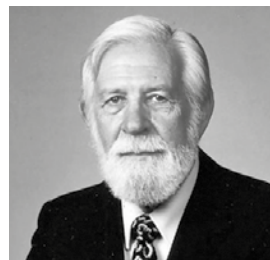
Obr. 1.16 *Alexandr Gavrilovič Gurvič* (26. 9. 1874 – 27. 7. 1954)

verzity a později ředitel Ústavu experimentální medicíny v tehdejšímu Leningradu, jako první na světě pozoroval, že buňky emitují ultrafialové světlo jako důsledek mezibuněčné komunikace. Popisuje jej jako mitogenní záření a předpokládá, že stimuluje dělení buněk aktivací nitrobuňkových chemických (enzymatických) reakcí. Mezi nejvýraznější osobnosti v oblasti laserové medicíny patří profesor plastické chirurgie **Isaac Kaplan** (obr. 1.17), zakladatel a první předseda Mezinárodní společnosti pro laserovou chirurgii a medicínu. Profesor Kaplan byl jedním z prvních, kteří již začátkem šedesátých let pochopili přínos laseru pro medicínu a zejména chirurgii. Zároveň si uvědomil nutnost vývoje takového zařízení, které by umožnilo dostat paprsek laseru nad operační stůl, aby jej chirurg mohl ovládat podobně jako skalpel. Nezbytností muselo být jeho spolehlivé napájení, volná kloubová ramena a přesná zrcadla k přenosu paprsku. Násadec, se kterým by měl operátor pracovat, musel být dostatečně malý, lehce ovladatelný a bez problémů sterilizovatelný. Výsledkem byl první CO₂ laser SHARPLAN, který zkonstruoval společně se Sharonem v roce 1972. Ten přinesl malou revoluci v některých dosavadních chirurgických přístupech.

Zde je na místě připomenout některé další významné odborníky, jejichž jména zná každý, kdo se o danou problematiku zajímá a pravidelně sleduje zahraniční literaturu. Jedním z nich je prof. **Tina I. Karu**, vedoucí Laboratoře laserové biologie a medicíny Institutu laserových a informačních technologií Akademie lékařských věd Ruské federace. Je autorkou několika monografií, věnovaných především studiu působení laseru na celulární a subcelulární úrovni. Dalším, světově uznávaným odborníkem v oblasti laserové medicíny se zaměřením na dermatologii a estetickou chirurgii je absolvent Lékařské fakulty Národní univerzity v Barceloně, profesor Katolické univerzity Nejsvětějšího Srdce Ježíšova v Římě a hostující profesor Lékařské fakulty Masarykovy univerzity v Brně dr. **Mario A. Trelles**. Dalším světově uznávaným odborníkem zejména v oblasti využití laseru v plastické a rekonstrukční chirurgii je rodák



Obr. 1.15 *Endre Mester* (20. 11. 1903 – 30. 3. 1984)



Obr. 1.17 *Isaac Kaplan* (1919 – 4. 8. 2012)

z Okinawy, absolvent lékařské fakulty univerzity Keio, současný přednosta Ohshiro kliniky v Keio a ředitel Japonské lékařské laserové laboratoře prof. **Toshio Ohshiro**. V roce 1988 byl zvolen prvním prezidentem Mezinárodní asociace laserové terapie. Na místě je rovněž připomenout ředitele Ústavu lékařské optiky Mnichovské univerzity prof. **Wilhelma Waidelicha**, dr. **Jana Tunéra**, zubního lékaře ze Stockholmu, který má ve svém osobním archivu obrovské množství informací týkající se neinvazivní laseroterapie ze všech lékařských oborů za posledních 25 let či spoluautora převážné většiny jeho učebnic prof. **Larse Hodeho**, prezidenta a zakladatele Švédské laserové lékařské společnosti. Samozřejmě, tím výčet uznávaných specialistů nekončí. Je třeba připomenout prof. **Juanitu Anders** z Bethesdy, profesora stomatologie Univerzity Utah **G. Lynn-Powella**, vynikajícího rumunského fyzika prof. **Mihaila Luciana Pascu** z Bukurešti, doc. **Aurelii Vaitkuvienevou** z Vilnijské univerzity nebo prof. **Kiru Aleksandrovnu Samojlovovou** z Cytologického ústavu Akademie věd Ruské federace v Sankt Peterburgu.

■ Mezinárodní akademie pro využití laseru v medicíně a v chirurgii

Významné postavení mezi mezinárodními odbornými společnostmi, které se věnují problematice možnosti využití laseru v medicíně má Mezinárodní akademie pro využití laseru v medicíně a v chirurgii, jejímž zakladatelem a dlouholetým prezidentem je prof. Leonardo Longo z Florencie, který je také autorem jedné z kapitol této monografie. Akademie každoročně organizuje vysoce hodnocenou mezinárodní konferenci *Laserflorencie*, v roce 2015 se koná její 28. ročník. Fotografie demonstruje, že i vědečtí pracovníci se umí bavit (obr. 1.18).



Obr. 1.18 Závěrečný banket na konferenci *Laserflorencie* 2009

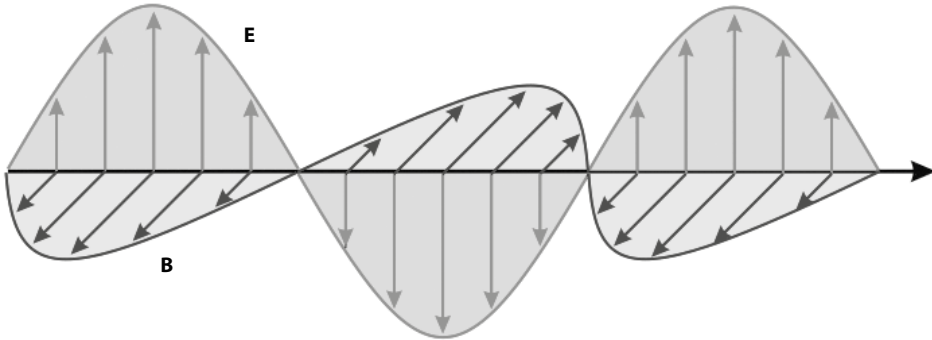
2 Fyzikální charakteristika laseru

Jozef Rosina

2.1 Elektromagnetické vlnění

Elektromagnetické vlnění je jednou z forem přenosu energie prostorem. Je možné jej vysvětlit i jako zvláštní prostoročasové rozložení elektrického a magnetického pole. Představuje navzájem svázané periodické kmity elektrického pole (na obrázku 2.1 jsou znázorněny jeho vektory E) a na něj kolmé magnetického pole (na obrázku jsou znázorněny vektory magnetické indukce B). Šíření energie prostorem probíhá jako postupné „přelévání“ energie od magnetického k elektrickému poli a naopak (vodorovnou šipkou je znázorněn směr šíření elektromagnetické vlny – je zřejmé, že oba vektory E a B jsou vždy kolmé na směr šíření).

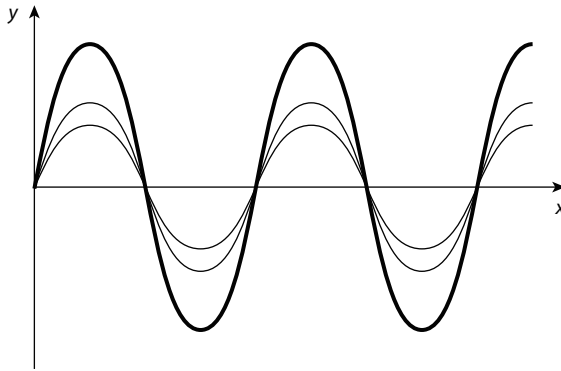
Elektromagnetické vlnění reálných zdrojů (například slunečního záření, nebo světla žárovky apod.) je složeno z velkého množství elektromagnetických vln, které se navzájem liší frekvencí, polarizací, amplitudou, fází, rozbíhavostí apod., ve výsledku pak vzniká neuspořádané elektromagnetické pole, které má charakter náhodných „šumů“ (fluktuací).



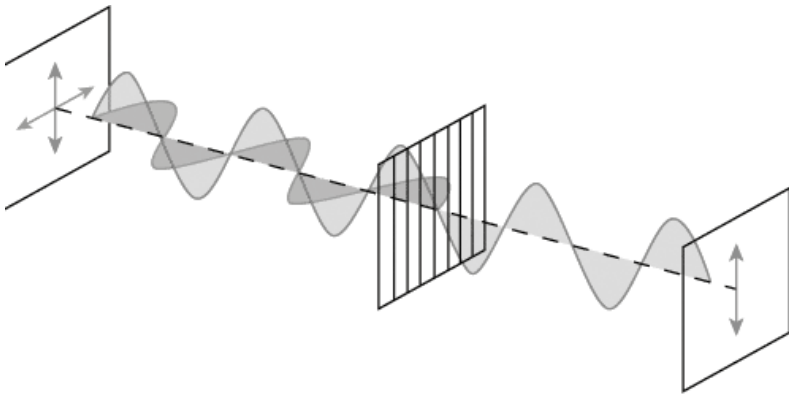
Obr. 2.1 Schematické znázornění elektromagnetické vlny (viz text)

2.2 Laser

Elektromagnetické vlnění, vycházející z laseru, má proti vlnění reálných zdrojů (například již popsaného slunečního záření nebo světla žárovky) vlastnosti výrazně odlišné. Právě pro tyto vlastnosti našel laser široké uplatnění v různých oborech. Jeho elektromagnetické vlnění je vždy časově orientované tak, že fáze všech vln je stejná (obr. 2.2), nazýváme je proto vlněním **koherentním** (je to vlnění o stejné frekvenci, stejného směru kmitání a se stejnou fází nebo fázovým rozdílem). Často je pojem koherence svazován s pojmem interference (skládání vlnění), díky tomu má vycházející vlnění



Obr. 2.2 *Koherentní elektromagnetické vlnění (fáze všech vln je stejná, tučná křivka) a vlnění nekoherentní (z reálných zdrojů, tenké křivky)*

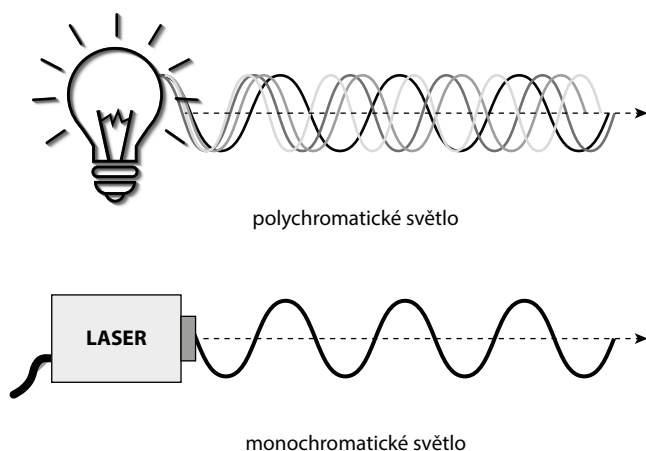


Obr. 2.3 *Polarizované elektromagnetické vlnění*

vysokou hustotu přenášeného výkonu (energie, intenzity). Laserové vlnění je **polari-zované**, to znamená, že je prostorově orientované (obr. 2.3) na definované ploše (vektor intenzity elektrického pole E je vždy kolmý na směr šíření světla a kmitá neustále pouze v jedné rovině), **monochromatické** (vlnění kmitá pouze na jediné frekvenci) (obr. 2.4), s **malou divergencí** (vycházející vlnění je málo rozbíhavé) a vzhledem ke své fyzikální podstatě se na něj vztahují veškeré zákonitosti o šíření elektromagnetických polí. Laser může pracovat v režimu **kontinuálním** (nedochází k žádným změnám parametrů laseru v čase), **pulzním** (z laseru vystupují impulzy pravidelně a opakovaně). Vystupuje-li z laseru jeden osamocený impulz, mluvíme o laseru **impulzním**.

Lasery mohou být klasifikovány podle různých hledisek, například podle typu aktivního prostředí; vlnových délek elektromagnetického vlnění, které vysílají; podle energetických hladin, zúčastněných při laserovém kvantovém přechodu; časového režimu provozu laseru; podle délky trvání generovaného impulzu; podle typu buzení.

Z definice slova *laser* vyplývá, že zařízení přeměňuje dodávanou energii na elektromagnetické vlnění o vysoké intenzitě pomocí procesu stimulované emise. Stimulovaná



Obr. 2.4 Monochromatické laserové vlnění a vlnění polychromatické (kmitá v širokém spektru vlnových délek, např. světlo vycházející ze žárovky): a – polychromatické světlo, b – monochromatické světlo

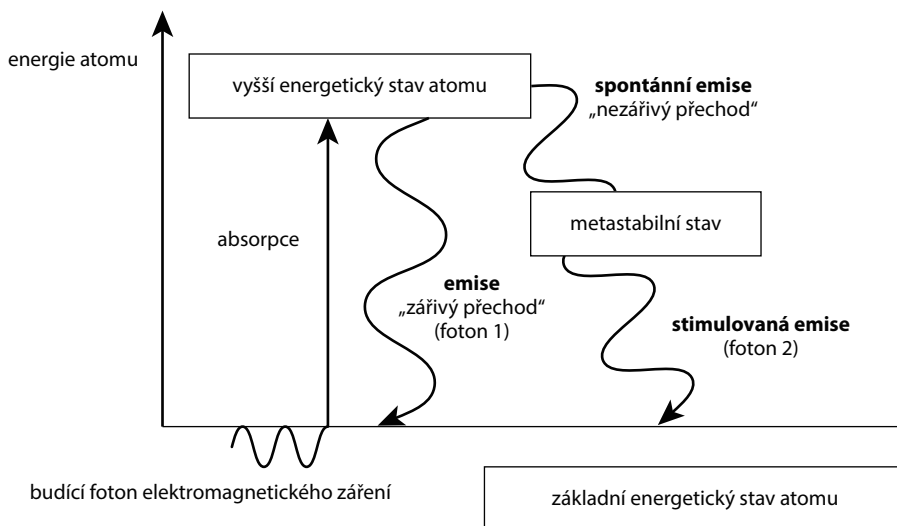
emise může nastat při interakci excitovaného atomu (iontu, molekuly) s fotonem, jehož energie odpovídá energetickému rozdílu mezi excitovaným a některým níže položeným stavem kvantového systému. energii můžeme do zařízení dodávat různým způsobem, například opticky, chemicky, elektricky atd. Nejenom energie emitovaného fotonu, ale i jeho ostatní vlastnosti jsou stejné, jako u fotonu, který emisi stimuloval. Zjednodušeně můžeme napsat, že laser je realizován umístěním dostatečně intenzivně buzeného aktivního prostředí do optického rezonátoru a **zesilování světla je vlastně kopírování fotonů pomocí stimulované emise**.

2.2.1 Princip laseru

Co potřebujeme pro vznik elektromagnetického vlnění výše popsaných vlastností? I když existuje velké množství různých typů laserů, každý musí obsahovat tři základní součásti (obr. 2.5).



Obr. 2.5 Schematické znázornění hlavních součástí laseru



Obr. 2.6 Schematické znázornění procesu laserového elektromagnetického vlnění

1. aktivní prostředí: Jde o systém kvantových soustav, schopných pod vlivem budící (excitační) energie absorbovat kvanta této energie, přejít poté do excitovaného stavu a setrvat tam dostatečně dlouho tak, aby bylo možné tuto energii uvolnit navednou pomocí stimulované emise vlnění. **Stimulovaná emise** je obecně (na rozdíl od spontánní emise) uspořádaná emise fotonů koherentního elektromagnetického záření z látky, vyvolaná dopadajícím zářením za současného přechodu části kvantové soustavy z excitovaného stavu do stavu základního. K této emisi dojde ve chvíli, kdy kolem proletí foton o energii rovné rozdílu energie metastabilní hladiny a základní hladiny. Stimulovaná emise nám u laseru slouží k zesilování světla (obr. 2.6). Při přesunu elektronů z metastabilní hladiny na základní hladiny jsou vypuštěny fotony, které letí stejným směrem. Tyto fotony mají jak částicový, tak vlnový charakter, tudíž se vlnění spojí v jednu vlnu, která bude mít ovšem větší amplitudu. Aktivním prostředím se myslí látka (plynná, kapalná nebo pevná), u které se dá dosáhnout vyšší četnosti atomů na vyšších energetických hladinách než na hladinách nižších tj. obsahuje oddělené kvantové energetické hladiny elektronů. Musíme zdůraznit, že ne každá látka má schopnost uvolňovat energii pomocí stimulované emise vlnění. Umí to některé atomy, ionty, molekuly, plyny, polovodiče či krystalické izolanty, kapaliny a pevné amorfni látky – sklo i keramika);

2. buzení: Jak dostaneme elektrony aktivního prostředí z nižších do vyšších energetických stavů? Jedinou možností je **dotat jim energii z vnějšího prostředí**. Jak již bylo uvedeno, energie může být dodána nekoherentním, nebo koherentním elektromagnetickým vlněním (výbojka, laserové diody, slunce), elektrickým výbojem, elektronovým svazkem, nebo může pocházet z chemických reakcí, expanze plynu apod. Po dodání energie se elektrony atomů vybudí do vyšší energetické hladiny. Uvažujme pro názornost, že elektrony atomu aktivního prostředí jsou na počátku na základní energetické hladině H_0 a do aktivního prostředí dodáváme energii ve formě nekoherentního světla. Elektron atomu aktivního prostředí tuto energii přijme a „přejde“ poté na vyšší ener-

getickou hladinu H_1 . Říkáme, že elektron se dostal do **excitovaného stavu**. Vzhledem k tomu, že excitovaný stav není pro elektron optimální, vrací se po určité době na svoji původní (základní) energetickou hladinu H_0 . Přímý seskok z hladiny H_1 na hladinu H_0 není povolen, protože v takovém případě by fotony budící nekoherentní světelné energie samy způsobovaly návrat elektronů na základní hladinu H_0 . I při silném buzení by se nanejvýš dosáhlo toho, že by se počet vybuzených (excitovaných) elektronů blížil počtu nevybuzených (neexcitovaných). V takovém případě nemůže k zesilování světla dojít. K takové (spontánní) emisi dochází při nízkém stupni elektronového obsazení vyšší energetické hladiny.

Elektrony musí proto sestoupit nejdříve na „**metastabilní**“ hladinu H_2 **nezářivým přechodem** (nevzniká světlo, ale část své energie vyzáří ve formě tepla). Aby se co nejvíce elektronů mohlo nacházet na excitované hladině H_2 , musí být doba, po kterou se elektrony udrží na této hladině, ve srovnání s dobou excitace (z H_0 na H_1) relativně dlouhá. Po „nahromadění“ určitého počtu (spíše energie) elektronů na hladině H_2 naráz všechny přestupují na základní energetickou hladinu H_0 již **zářivým přechodem**, při kterém se vyzářuje elektromagnetické vlnění ve formě vlnění koherentního (se stejnou fází). Tento popsany jev se nazývá inverzní populace a znamená, že vyšší hladina je obsazena více elektrony než nižší. Právě přísun energie pro jev excitace aktivního prostředí zajišťuje vznik inverze populace hladin v aktivním prostředí, díky které je stimulovaná emise pravděpodobnější než absorpce;

3. rezonátor: Optickým rezonátorem se rozumí zařízení, které je schopné hromadit, nebo na určitou dobu udržet optické záření v omezené oblasti prostoru.

Nejčastěji je **rezonátor tvořen dvěma zrcadly**, z nichž je jedno **zcela odrazivé** (nepropustné) pro odpovídající vlnovou délku a druhé **částečně propustné**. To umožňuje elektromagnetickému vlnění vznikajícímu v laseru unikat ven z přístroje jako laserové vlnění. Jako nepropustné zrcadlo se používá například dielektrické zrcadlo, nebo leštěný kov, např. zlato nebo měď. Některé typy laserů v aktivním prostředí rezonátor nepotřebují a pracují v režimu zesílené spontánní emise – to znamená, že záření stačí jediný průchod k získání dostatečné intenzity. Zrcadla v rezonátoru zdaleka nemusí být rovinná. Naopak, v řadě případů je výhodné použít nejen konkávní, ale i konvexní zrcadla.

Jak již bylo napsáno, při zářivém přechodu se z vyšší energetické hladiny aktivního prostředí (z hladiny H_2 na H_0) vyzářuje elektromagnetické vlnění. Vlnění obvykle opakovaně prochází optickou dutinou vymezenou zrcadly, až narazí na některé ze zrcadel. Když vlnění dopadá na rovinu zrcadla kolmo, tak se od něj odrazí zpět do aktivního prostředí, kde je vlastně toto vlnění budící energií pro další a další elektrony. Potom doputují na druhé zrcadlo, kde se opět odrazí a opět excitují nové elektrony. Toto se děje, dokud fotony nemají dostatečnou energii na to, aby prošly ven polopropustným zrcadlem. Fotony, které nedopadají kolmo na rovinu zrcadla, se sice také odrážejí, ale po několikátém odrazu opouštějí bez užítu aktivní prostředí.

Hlavním **úkolem rezonátoru je zajištění akumulace energie** a kladné zpětné vazby mezi zářením a aktivním prostředím. Ta vede ke vzniku laserových oscilací.

2.2.2 Příslušenství

Dalším příslušenstvím laseru je chladič, měřič výkonu, kalibrace zařízení, případně nelineární krystal měnící vlnovou délku.

Literatura

1. ROSINA, J., VRÁNOVÁ, J., KOLÁŘOVÁ, H., STANEK, J. *Biofyzika pro zdravotnické a biomedicínské obory*. Praha: Grada Publishing, 2013. ISBN 978-80-247-4237-3.
2. NAVRÁTIL, L., ROSINA, J., et al. *Medicínská biofyzika*. Praha: Grada Publishing, 2005. ISBN 978-80-247-1152-2.
3. VRBOVÁ, M. *Lasery a moderní optika*. Praha: Prometheus, 1994. ISBN 80-85849-56-9.