

LASER

Tolstoj A., 1926, Paprsky inženýra Garina

Jan Marek Marků (Marcus Marci), 1648 – první popsal disperzi (rozklad) světla (je nyní připisováno Newtonovi), bílé světlo je složené

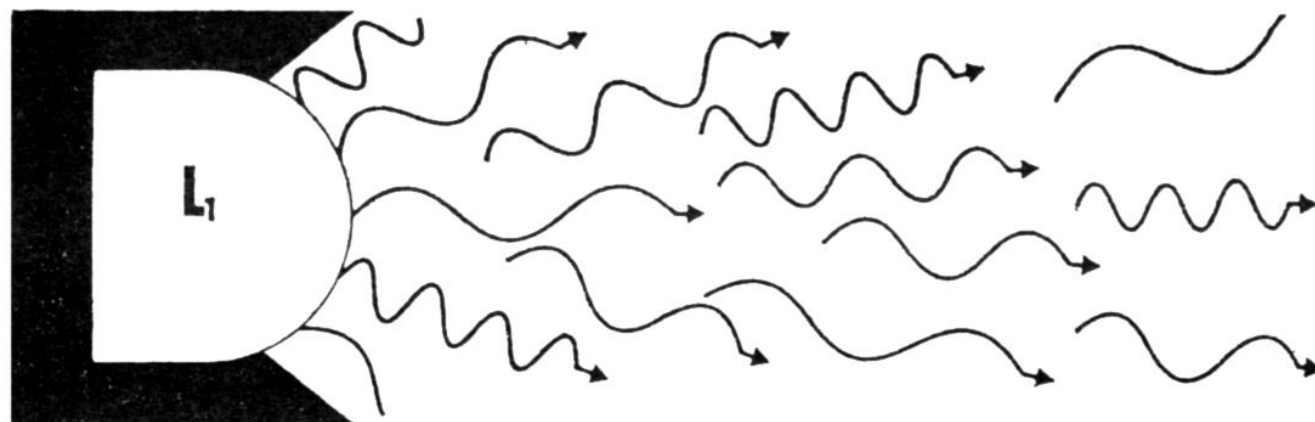
Max Planck, 1900 – záření, světlo, je tvořeno malými částčkami energie – „kvanty“. Energie každého kvanta je úměrná kmitočtu záření.

Kvantování je spojeno se základními stavebními kameny mikrosvěta – molekulami, atomy, ionty – jejich vnitřní energie se nemůže měnit spojitě, ale v určitých kvantech. Částice přitom mění své energetické stavy (nabytím energie přecházejí do stavů vyšších a naopak) a různě dlouho v nich setrvávají.

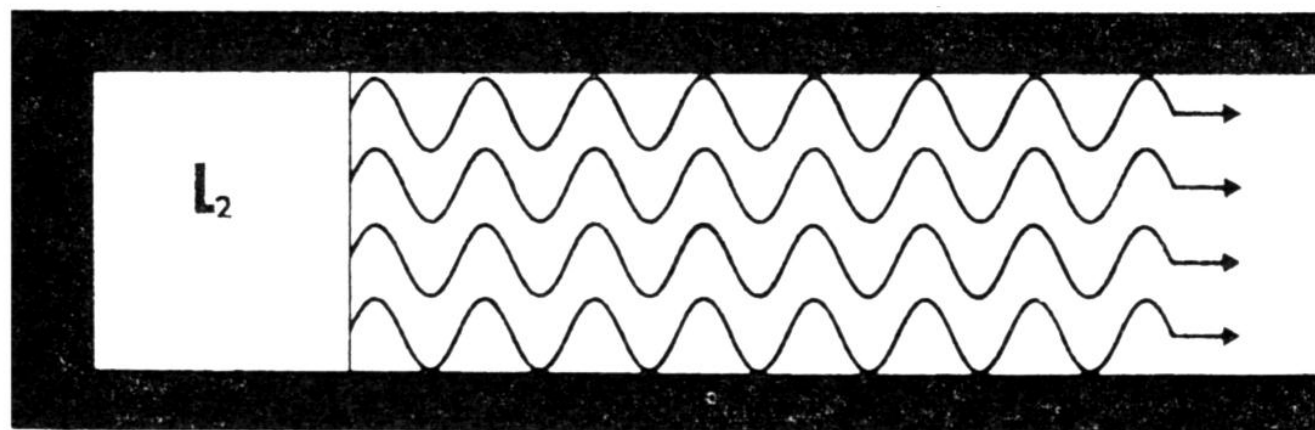
Hmotné prostředí (atomy, molekuly,..) může záření pohlcovat (absorbovat), nebo vysílat (emitovat).

Emise samovolná (spontánní), nebo vynucená (stimulovaná, indukovaná).

Nekoherentní a koherentní zdroj záření



Světelné paprsky
obyčejného
světelného zdroje
 L_1 a koherentního
záření L_2 . Jako
zdroj L_1 může být
např. obyčejná
žárovka, jako L_2
laser



Bohrův model atomu – orbity, excitace

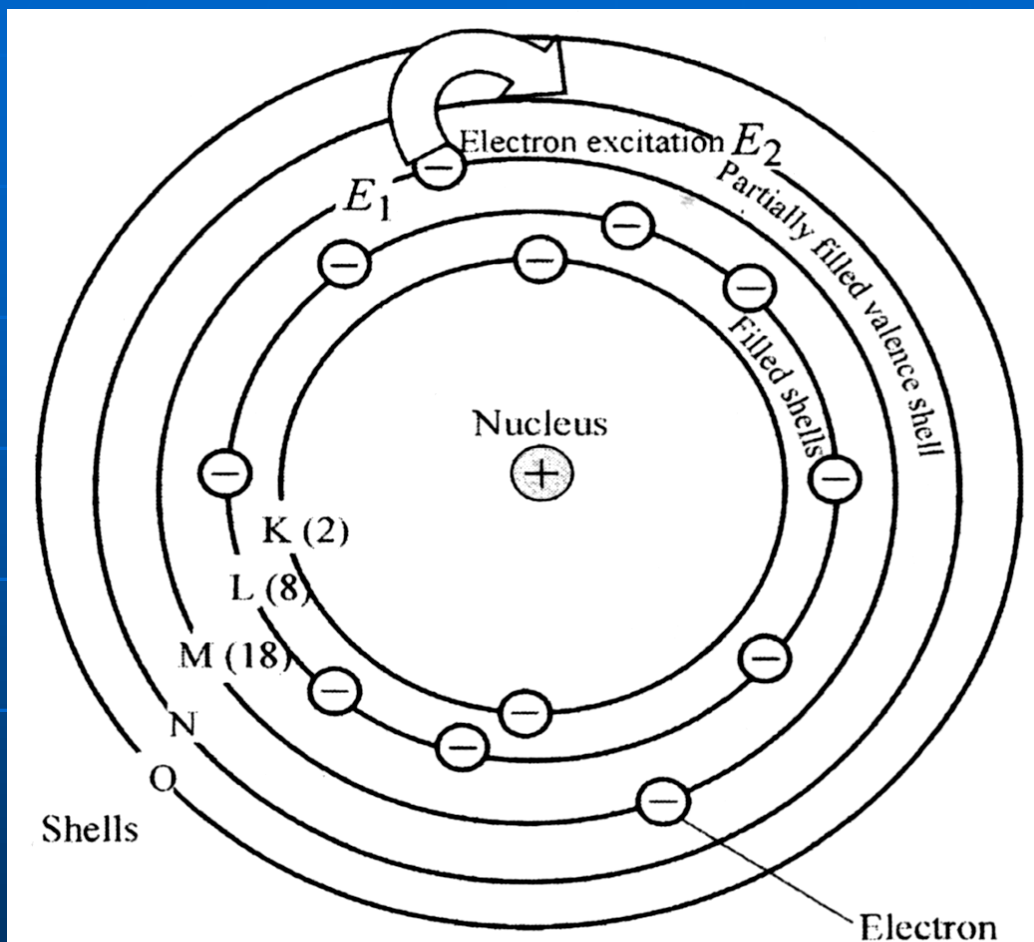


Figure 6-1 A model of the atom based on Bohr's theory of atomic structure. The model shows five shells (K, L, M, N, O) that can be filled with electrons. The electrons in the shells move around the positive nucleus.

zaplněnost
hladin $2n^2$

Principles of lasers

Kvantová soustava (Vrbová a kol. Úvod do laserové techniky)

Hmota – prostředí – se skládá z molekul, atomů, popř. iontů. Molekuly, atomy a ionty jsou soustavy složené z navzájem vázaných elementárních částic – protonů, neutronů a elektronů.

Stavy **vázaných soustav** mají přesně definované energie – tyto diskrétní hodnoty energie nazýváme **energetickými hladinami**.

Protože energie soustav nemůže nabývat jakýchkoliv hodnot (je kvantována), používáme pro atom, iont nebo molekulu atd. společné označení **kvantová soustava**.

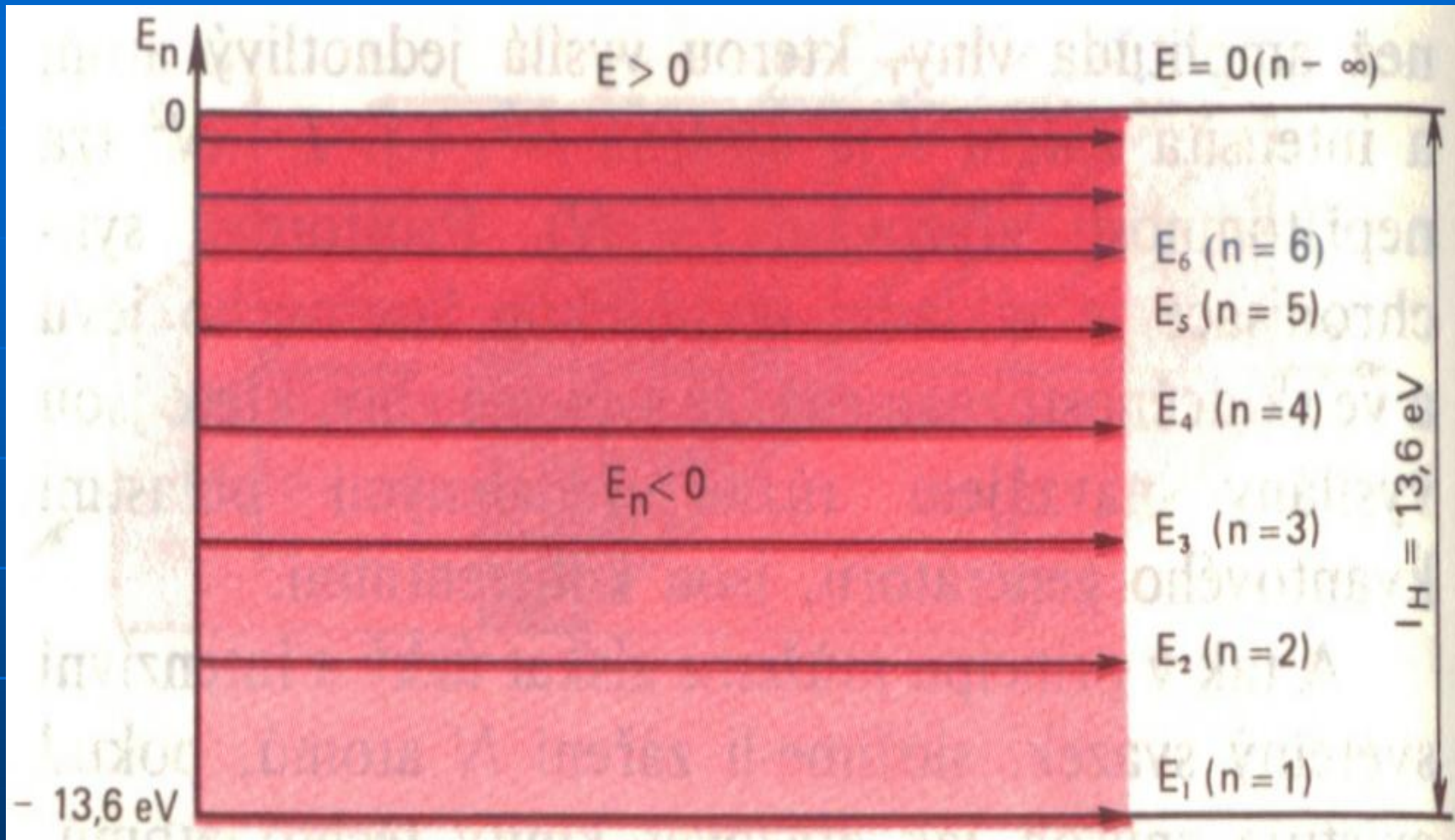
Teoreticky – izolovaný atom, např. vodík.

Stav, kterému odpovídá nejmenší hodnota energie E_0 , bývá označován jako **základní stav**. Ostatní stavy (s vyššími hodnotami energie) nazýváme **vzbuzenými** nebo **excitovanými stavy**.

Rozdíl mezi energií základního stavu a vzbuzeného $\Delta E_i = E_i - E_0$ označujeme jako **excitační energii**. Nejvyšší energetická hladina kvantové soustavy odpovídá rozpadu kvantové soustavy, tj. rozdělení atomu na iont a elektron (ionizaci), popř. **disociaci** molekuly apod.

Excitační energie této hladiny je rovna ionizační nebo disociační energii.

Energetické hladiny (Basov, Afanasjev- Lasery...., obr.12, str. 38)



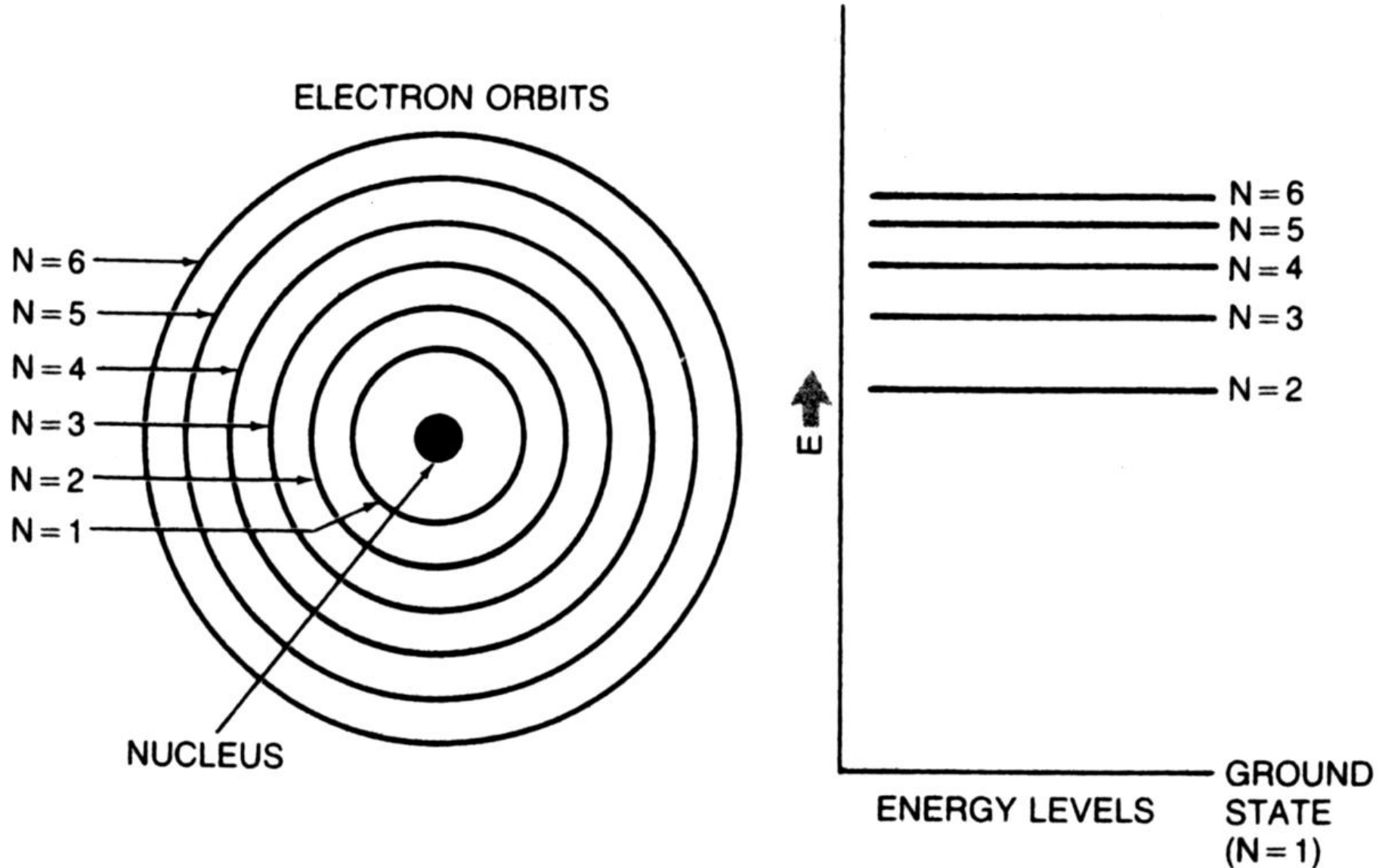
Příklad – atom vodíku (proton + elektron) má soustavu energetických stavů

$E_n = -13,6 / n^2 \text{ (eV)}$, $1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ J}$, $n = 1, 2, 3, \dots$, kde E_n je energie elektronu

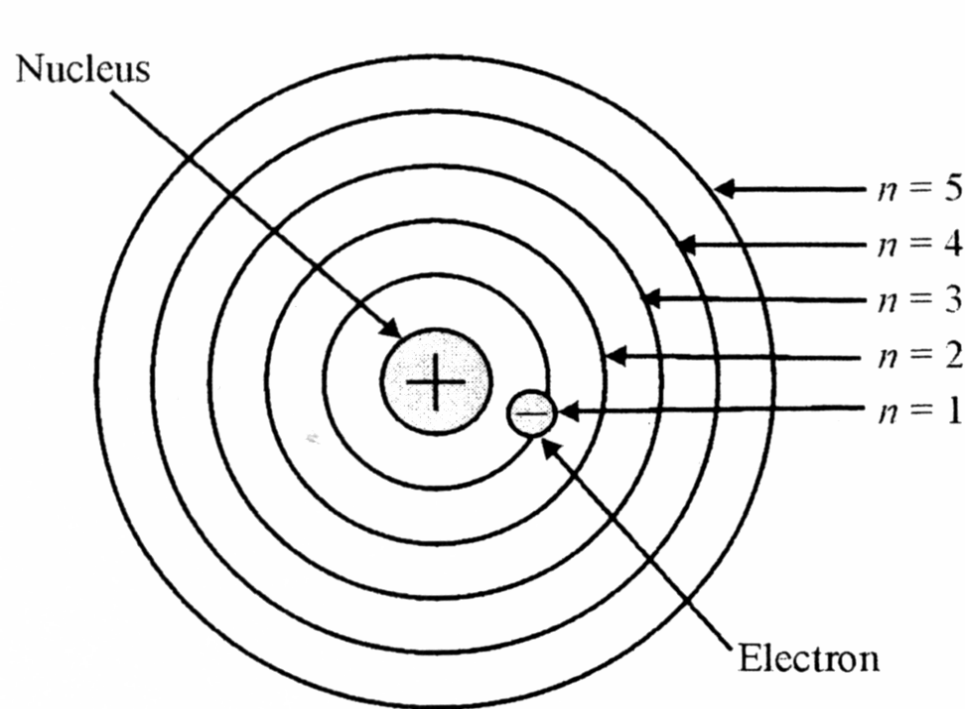
Dodáme – li elektronu energii větší než $13,6 \text{ eV}$, tak se odtrhne od jádra, stane se volným = ionizace atomu.

Energetické hladiny, energetický hladinový diagram

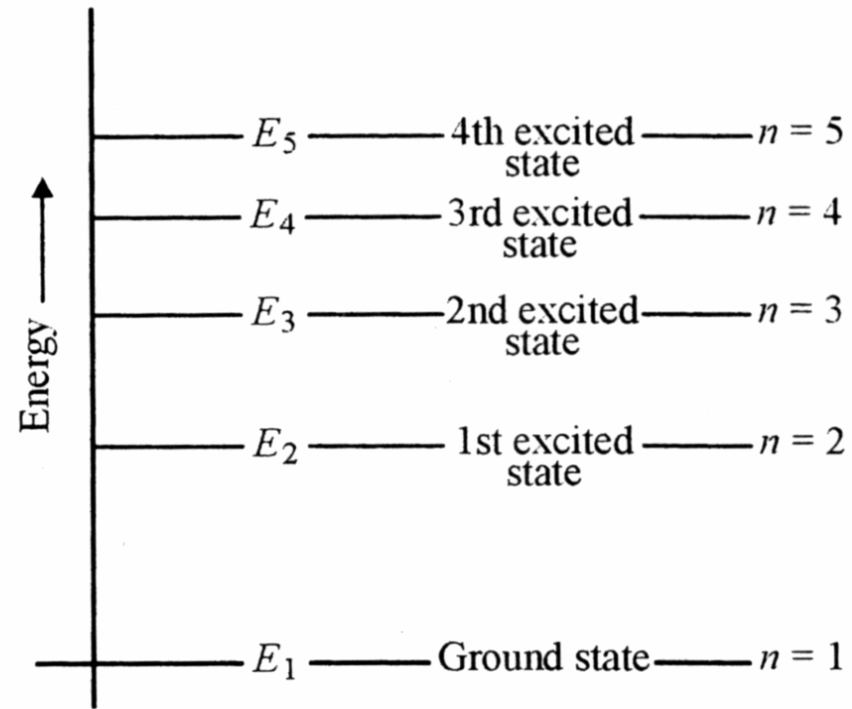
(2.5. Physical basics, str. 31)



Energetické hladiny

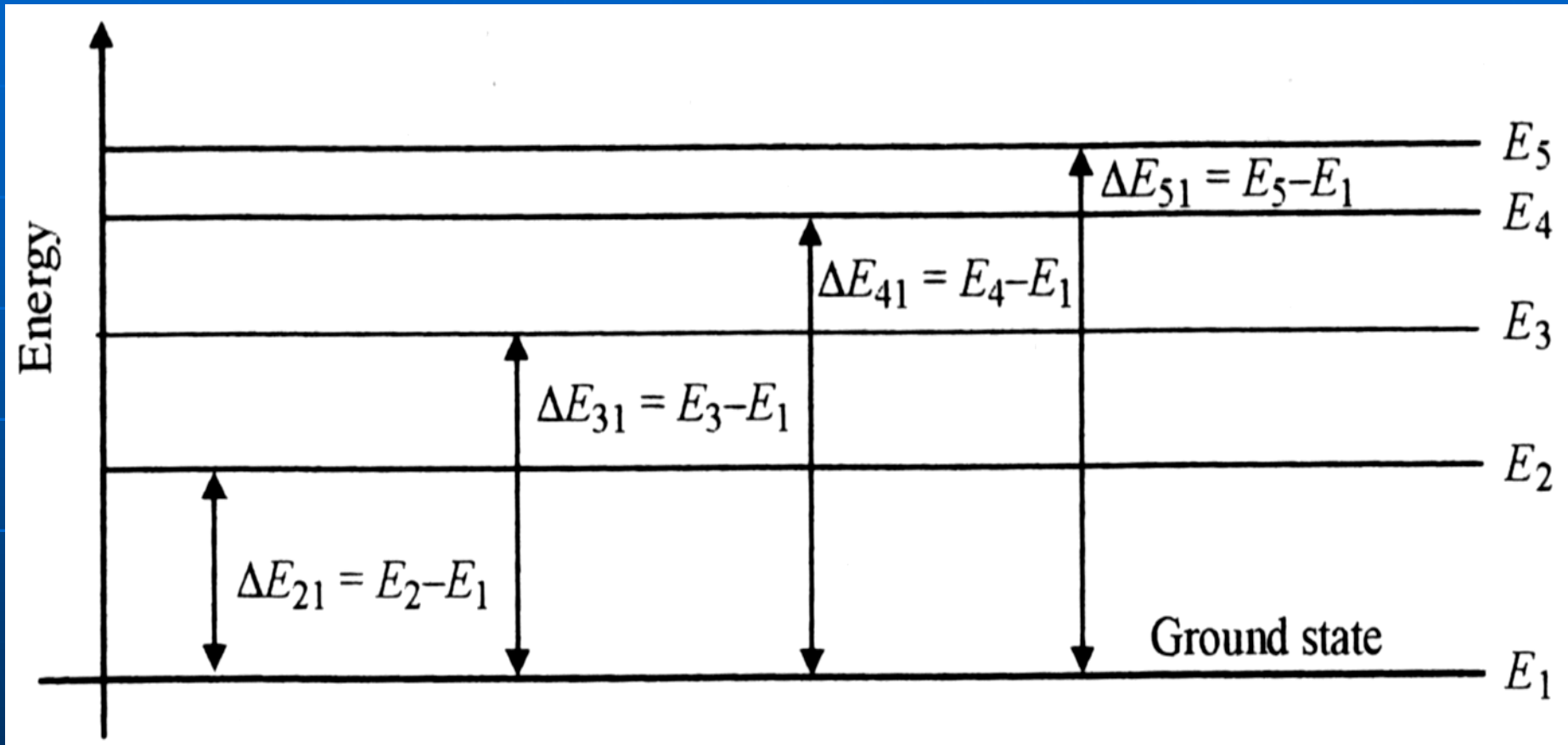


(a) Hydrogen atom with allowable electron orbits showing electron in the innermost orbit—the lowest energy level



(b) Ground state energy level and first four excited energy states for a hydrogen atom

Energetické hladiny



Energetické hladiny

Příklad :

Rozdíl energií mezi dvěma energetickými hladinami je pro specifický atom 4 eV.

Jaká bude vlnová délka a frekvence fotonu při přechodu elektronu z vyšší energetické hladiny na nižší energetickou hladinu ?

$$\Delta E = h\nu = hc / \lambda$$

Řešení :

Jeden elektron volt (eV) = $1,6 \times 10^{-19}$ J, $h = 6,625 \times 10^{-34}$ Js, $c = 3 \times 10^8$ m/s.

$$\lambda = hc / \Delta E$$

$$\lambda = (6,625 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8) / (4 \times 1,6 \times 10^{-19})$$

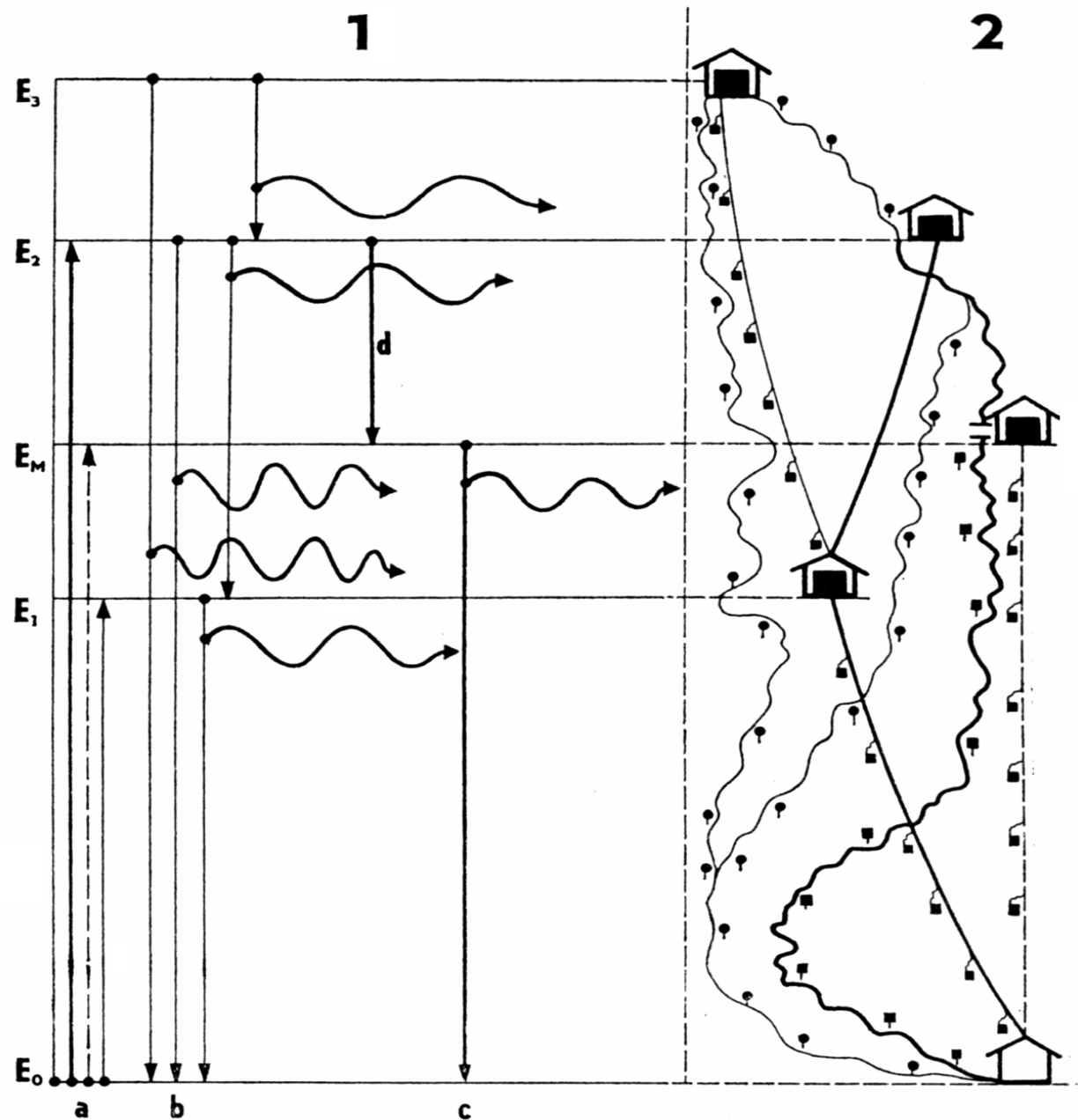
$$\lambda = 311 \times 10^{-9} \text{ m}$$

$\lambda = 311 \text{ nm}$ (foton reprezentuje světlo z blízké ultrafialové oblasti spektra)

Spontánní a stimulovaná emise - lanovka

**Srovnání
energetických hladin
atomů vyzařujících
energii (1) se
stanicemi
sedačkového
výtahu (2).**

**a — vybuzení atomů
přidáním energie,
b — spontánní
emise fotonů,
c — zpožděná
spontánní emise,
d — nezářivá ztráta
energie**



Mechanismus spontánní a vynucené emise

Výchozí stav (stanice) E_0

Mezistanice $E_1, E_2, E_3, \dots$

Stanice = energetické hladiny na které se atomy či molekuly mohou dostat.

Směr nahoru = excitace, vybuzení, - např. dodáním energie
zvnějšku = čerpání, buzení.

Možno vystupovat jen na zastávkách jejichž rozestupy (vzdálenosti) nejsou stejné.

Stejný ani nemusí být počet lyžařů vystupujících na jednotlivých stanicích (ty tedy nejsou početně stejně obsazeny – navštíveny).

Lyžaři (kvanta, fotony) se na stanicích zdržují nestejně dlouho a sjíždějí dolů přímo, nebo s mezipřistáním na některých stanicích.

Vše se odehrává jen mezi určitými stanicemi (úrovněmi) = kvantování energie. Jsou- li vyzařována kvanta elektromagnetického záření (fotony), hovoříme o **spontánní emisi**.

S.e. je samovolné vyzařování elektromagnetického pole vzbuzenými kvant. částicemi (atomy, ionty, molekulami, ...). Při s.e. není (na rozdíl od stimulované emise) nezbytná přítomnost vnějšího elmg. pole. Vzbuzená částice přechází z vyšší energ. hladiny ($E_1, E_2, \dots$) na hladinu s nižší energií samovolně a přitom vyzařuje elmg. záření o frekvenci $\nu = (E_2 - E_1)/h$ (h - Planckova konstanta).

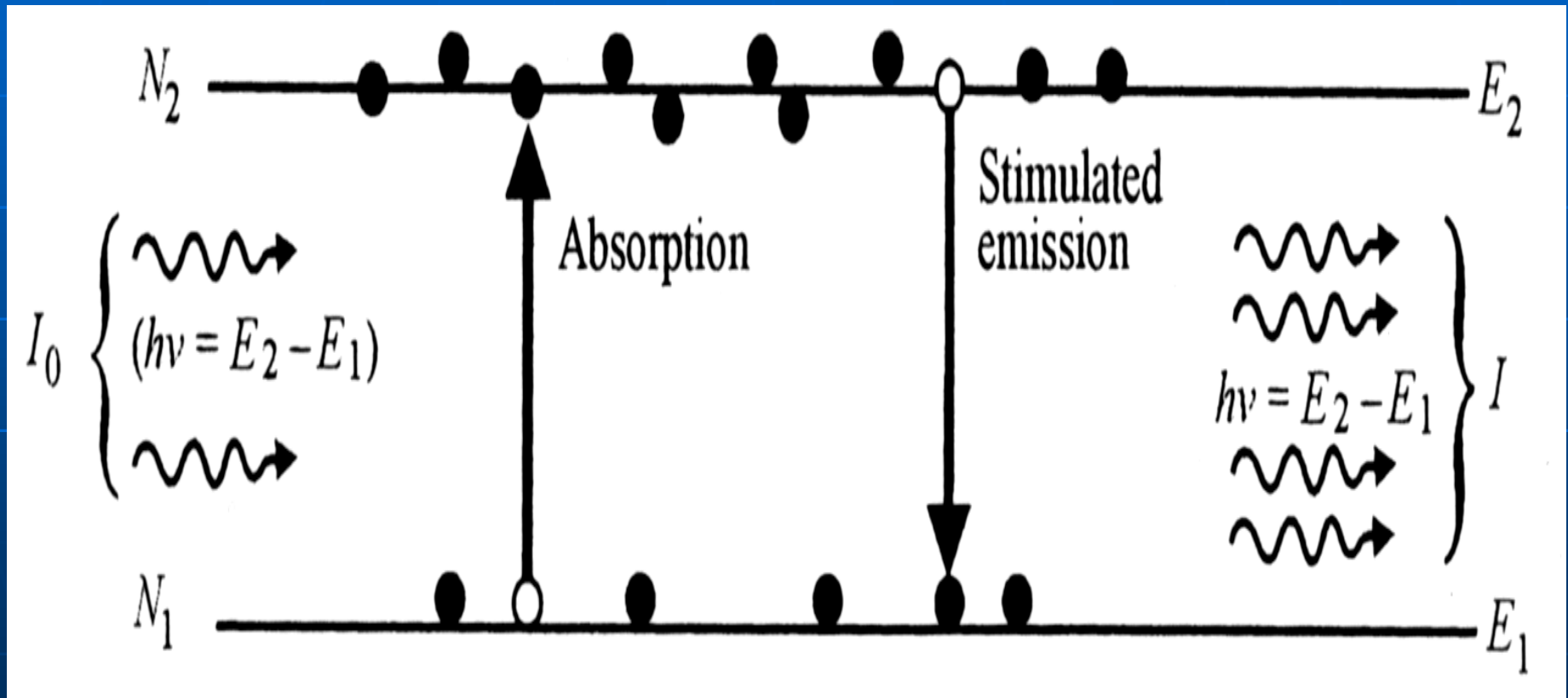
Směr, fáze a polarizace vysílaného záření jsou náhodné

U laserů je důležitá **stimulovaná emise**.
Mezistanice E_M - sjezd obtížný (sešup). Příkladný lyžař =
společný sjezd z E_M stejnou rychlostí.

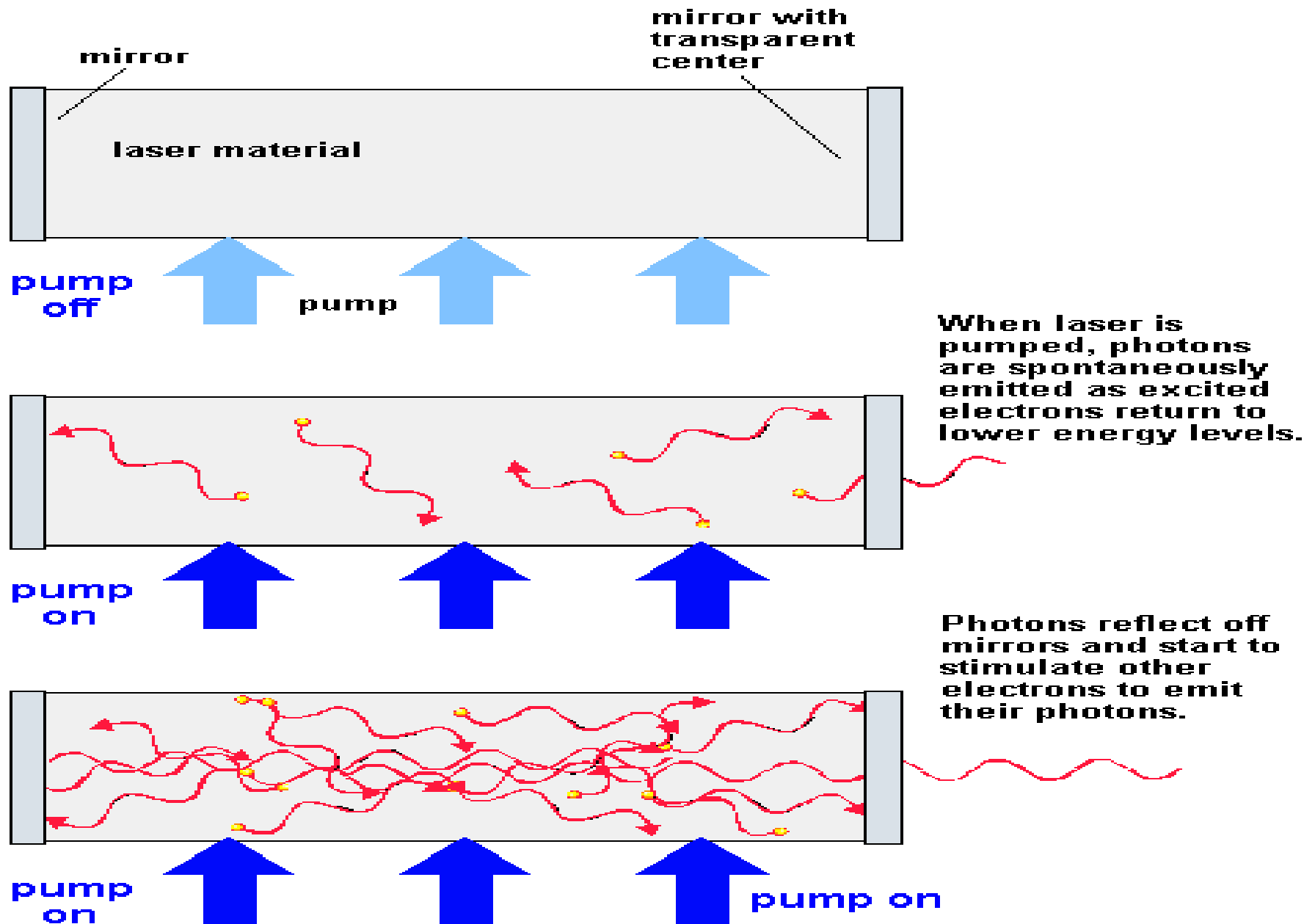
*Stimul.e. – vyzařování elmg. pole vzbuzenými
kvantovými systémy, vyvolané působení vnějšího
(stimulujícího) záření s frekvencí rovnou frekvenci
některého kvantového přechodu. Směr šíření, frekvence,
fáze i polarizace stimulovaného a stimulujícího záření jsou
shodné.*

S rostoucí energií fotonů se vlnová délka zkracuje.
Nejmenší fotonovou energii a tedy největší vlnovou délku
mají radiové vlny. Následuje oblast mikrovlnná,
submilimetrová, infračervená, viditelná, ultrafialová,
rentgenová a oblast gama paprsků.

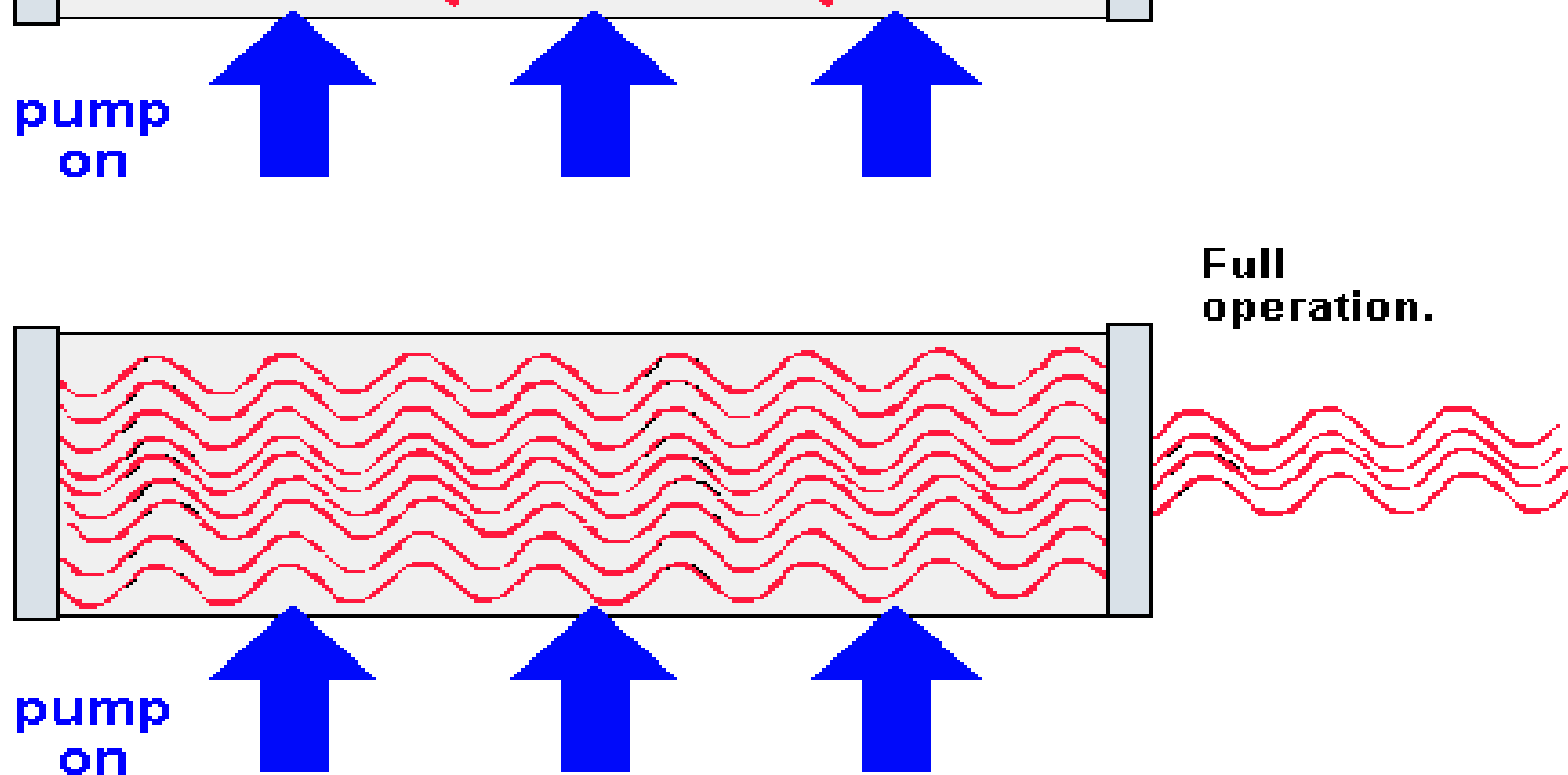
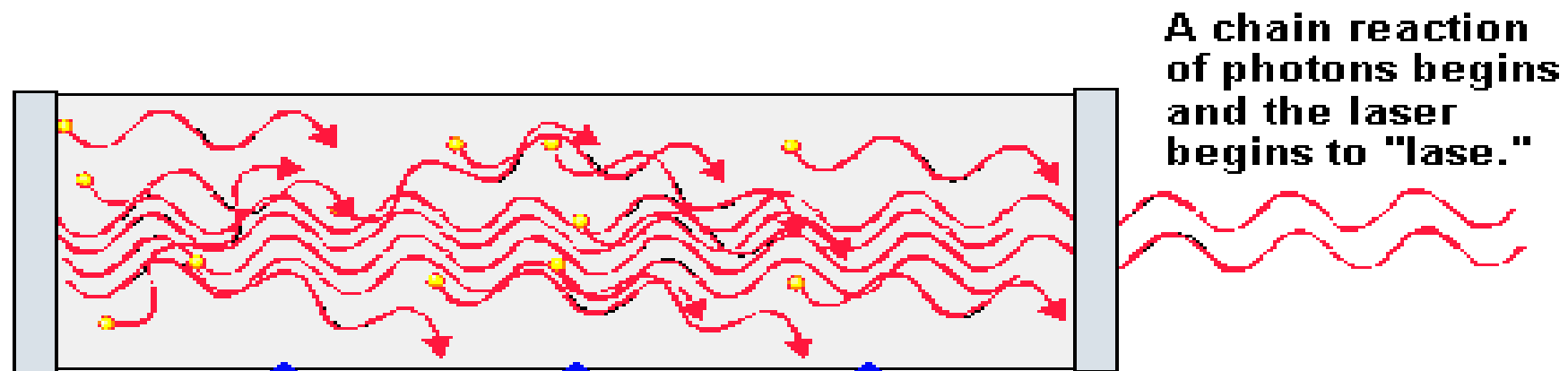
Stimulovaná emise



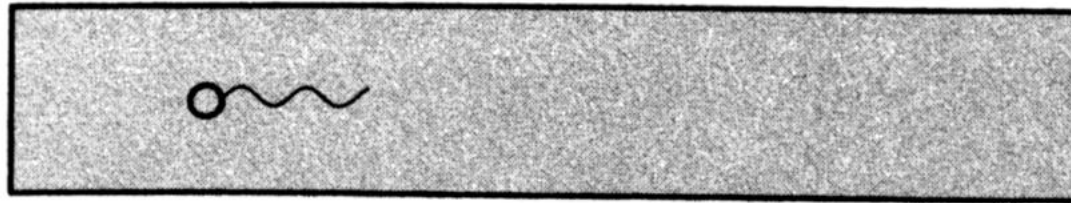
Buzení laseru (čerpání)



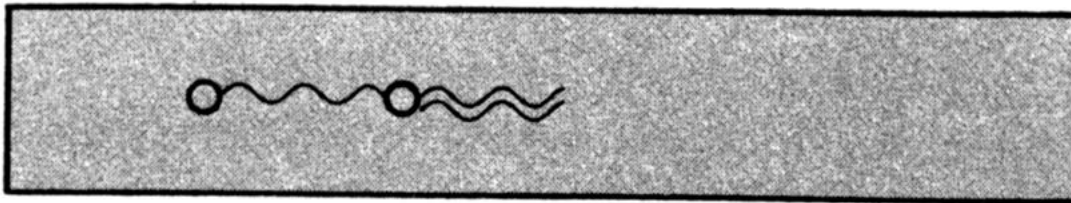
Buzení laseru



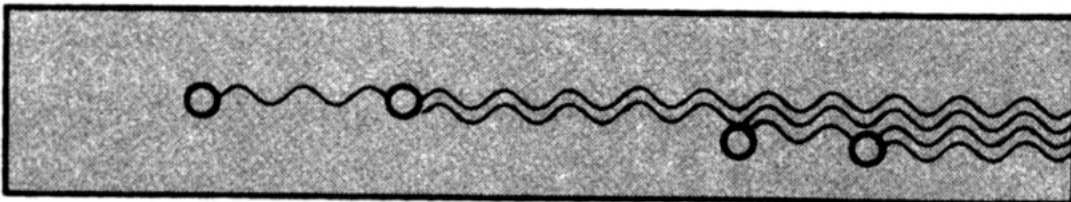
Stimulovaná emise



INITIAL SPONTANEOUS
EMISSION



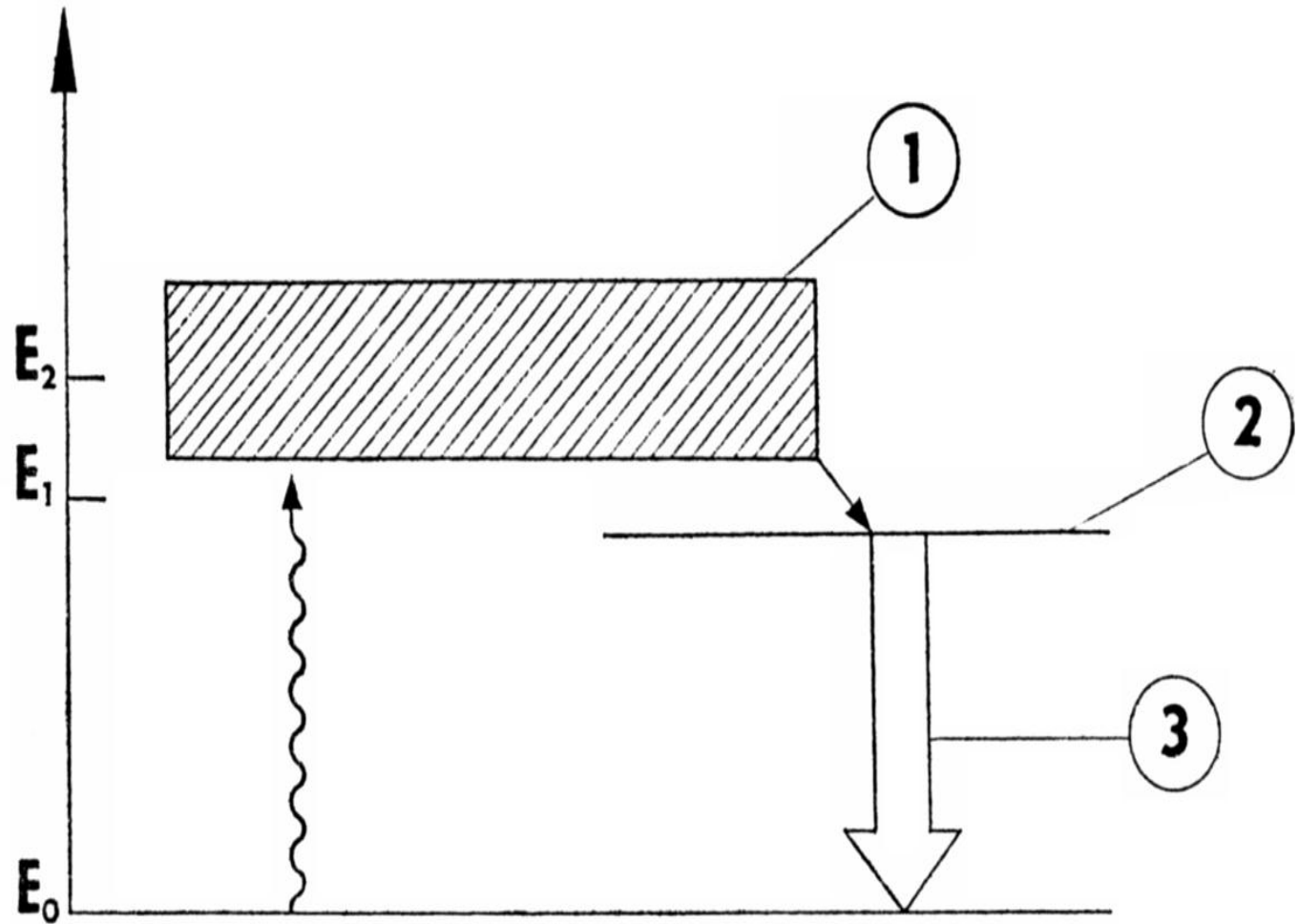
STIMULATES EMISSION
OF ANOTHER PHOTON



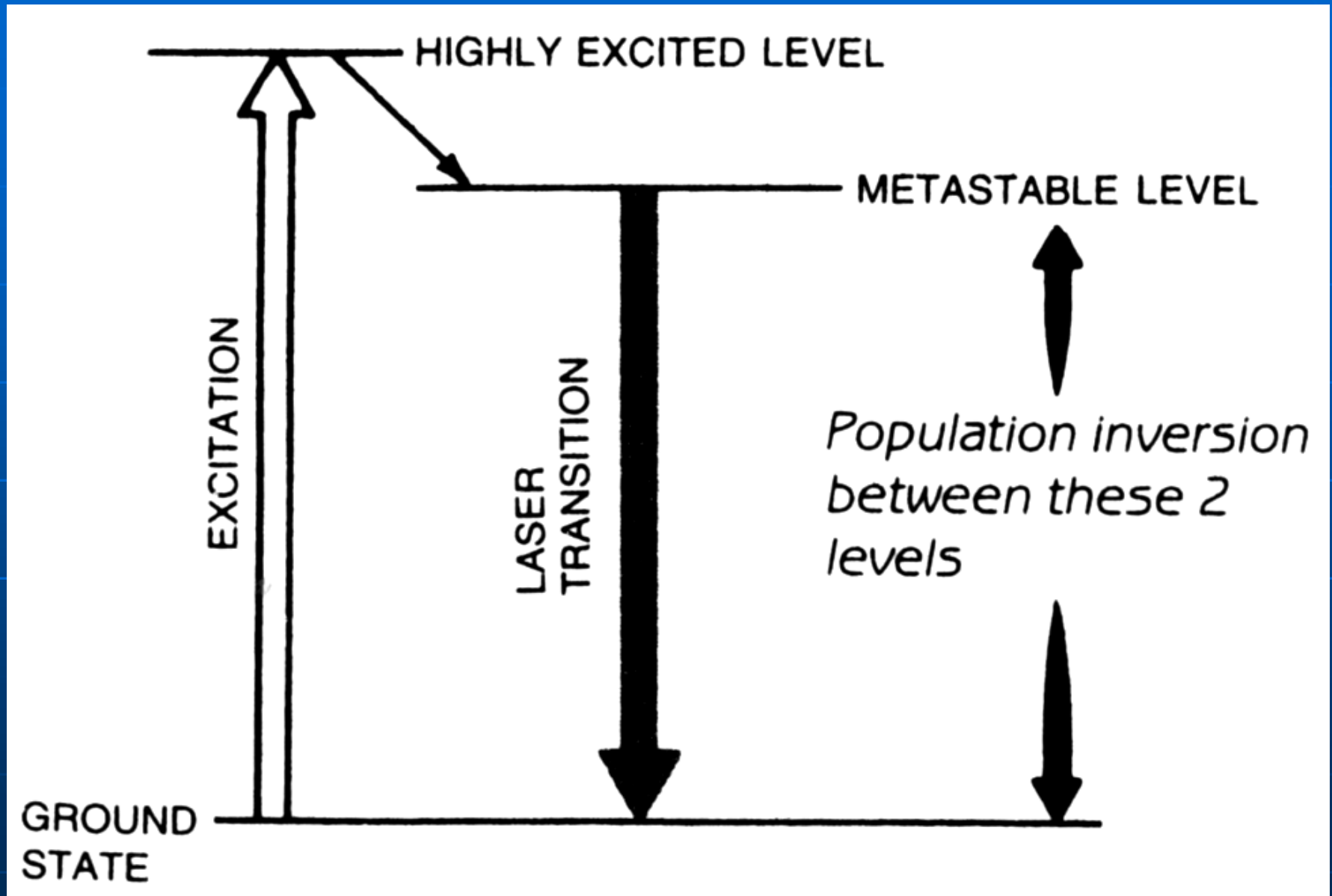
WHICH STIMULATES
MORE EMISSION

Tříhladinový model

Schéma laseru s třemi energetickými hladinami — E_0 , E_1 , E_2 . 1 — zde se vybuzené atomy zdrží krátkou dobu, 2 — zde delší dobu, inverze populace, 3 — záření



Tříhladinový model



Princip činnosti laseru

Literatura :

B.E.A. Saleh, M. C. Teich : Základy fotoniky 3, matfyzpress, 1991

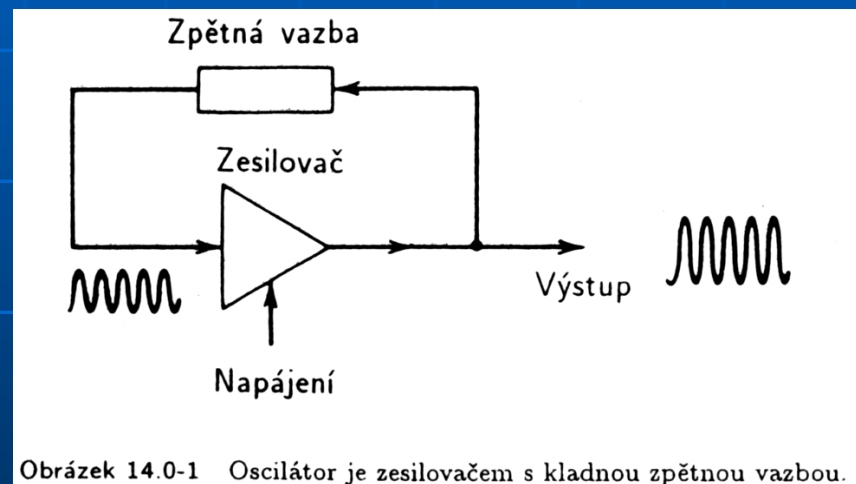
Česká technická norma „Bezpečnost laserových zařízení“, ČSN EN 60825-1,
Listopad 2001

Laser je optický oscilátor.

Skládá se z rezonančního optického zesilovače, jehož výstupní signál se vrací zpětnou vazbou sfázovaný znovu do vstupu.

Aby nastaly oscilace musí být :

- Zisk zesilovače větší než ztráty
- Celková změna fáze při jednom oběhu celočíselným násobkem 2π



Obrázek 14.0-1 Oscilátor je zesilovačem s kladnou zpětnou vazbou.

Princip činnosti laseru

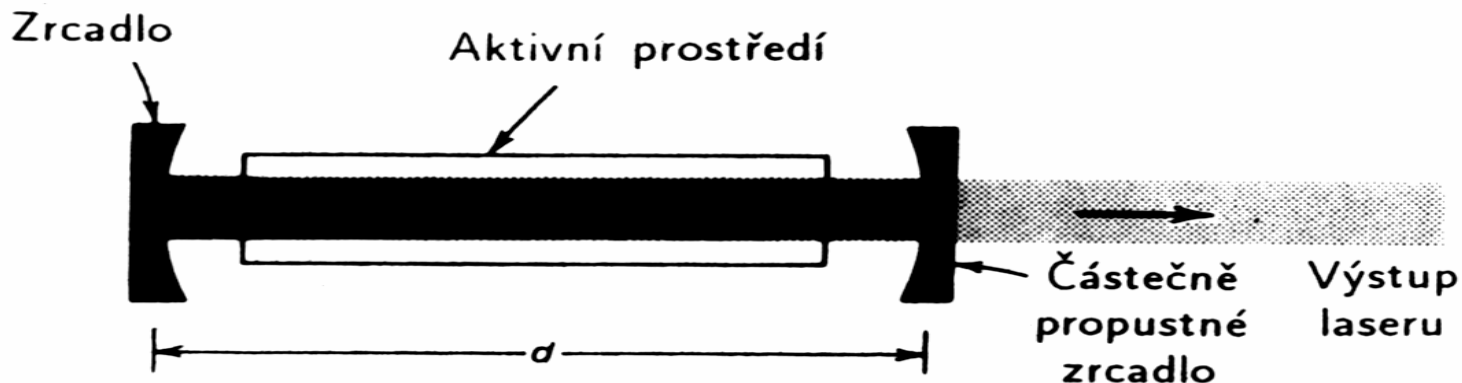
Laser – kvantový generátor optického záření, využívající stimulované emise záření.

LASER = Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation.

MASER = Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation.

Laser je optický oscilátor jehož zesilovačem je čerpané aktivní prostředí. Zpětná vazba je zajištěna umístěním aktivního prostředí do optického rezonátoru, ve kterém dochází k odrazům mezi zrcadly.

Vyvedení výstupního signálu – jedno zrcadlo je částečně propustné.



Obrázek 14.0-3 Laser se skládá z optického zesilovače (obsahujícího aktivní prostředí) umístěného uvnitř optického rezonátoru. Výstupní záření je vyváděné částečně propustným zrcadlem. (Lasery, str. 561)

LASER

Laser- optický kvantový generátor. Light Amplification by the Stimulated Emmission of Radition

Zdroj koherentního záření v IČ, viditelné nebo ultrafialové oblasti spektra, využívající jevu stimulované emise elektromagnetického záření aktivních částic (atomů, molekul, iontů, elektronů).

Nezbytným předpokladem vzniku generace je dosažení inverze populace energetických hladin aktivního prostředí.

Charakteristickým rysem stimulovaného záření je úzká spektrální čára, časová a prostorová koherence, vysoká směrovost a velká hustota záření (Vrbová).

LASER

Laser se skládá :

- z aktivního prostředí
- z rezonátoru (zpravidla dvě zrcadla, jedno polopropustné),
- ze zdroje budící energie (výbojka, elektrický výboj v akt. prostředí, proud elektronů, chemická reakce).

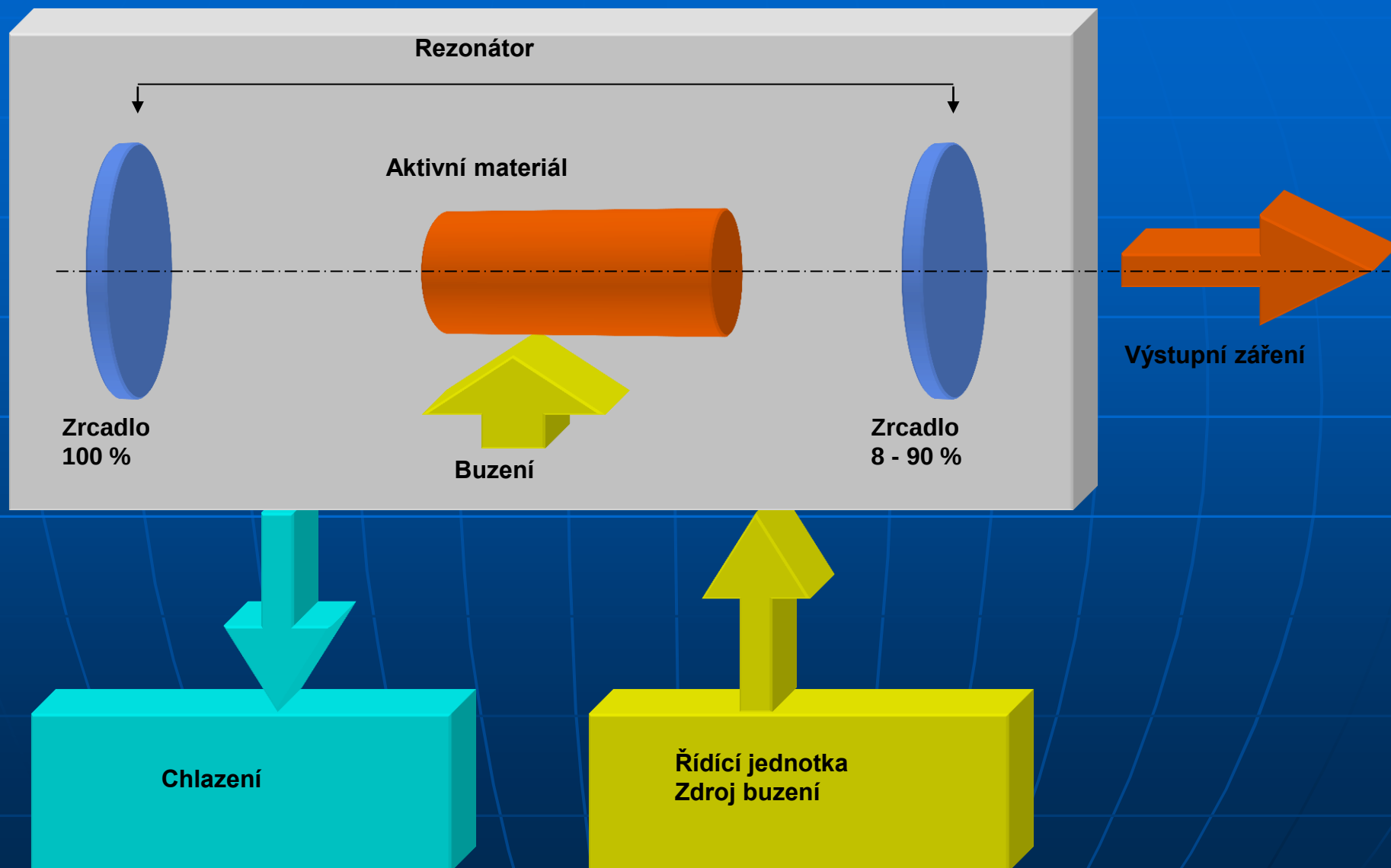
Dle ČSN EN 60825-1 (1994, 2001) – Bezpečnost laserových zařízení:

Laser generuje záření v pásmu vln. délek λ
od **180 nm do 1 mm**.

Speciální případy : rentgenový laser ($\lambda \sim$ jednotky- desítky nm),
gama laser ($\lambda < 0,1$ nm).

M. Vrbová – laser : zdroj koherentního záření v IČ, viditelné nebo
UV oblasti spektra,....

Laserová hlavice pevnolátkového laseru



Princip činnosti laseru

Vrbová, Encyklopedie moderní optiky – laser je zdroj koherentního záření v infračervené, viditelné nebo ultrafialové oblasti spektra, využívající jevu stimulované emise elektromagnetického záření aktivních částic (atomů, molekul, iontů, elektronů) buzených vnějším zdrojem energie.

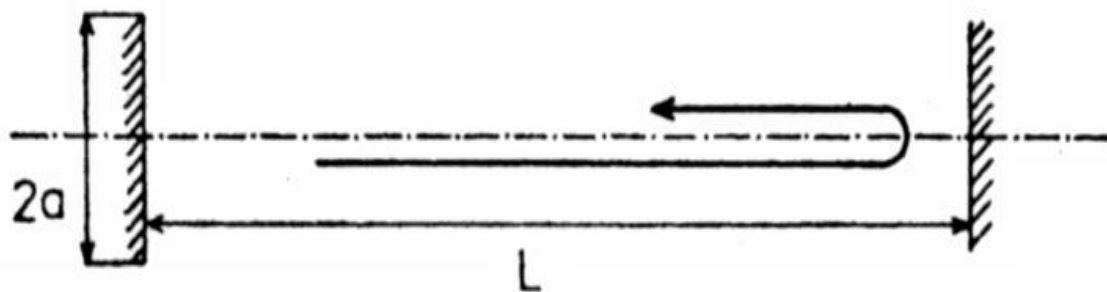
Laserové záření je monochromatické (jednobarevné), koherentní (uspořádané) a má malou divergenci (rozbíhavost).

Laserový rezonátor

Liter. : Sedláček K.: Laser v mnoha podobách, Naše vojsko, 1982
Engst P., Horák M.: Aplikace laserů, SNTL 1989
www. ČVUT FJFI, KFE, výuka, Laserové systémy – multimed. skripta (M. Vrbová)

Fabry- Perotův rezonátor

2 rovinná zrcadla na společné optické ose s reflexními povrchy obráceným proti sobě, obvykle jedno totálně odrazné (odrazivost $R = 100\%$). Druhé zrcadlo polopropustné – odrazivost volena s ohledem na zesílení aktivního prostředí.

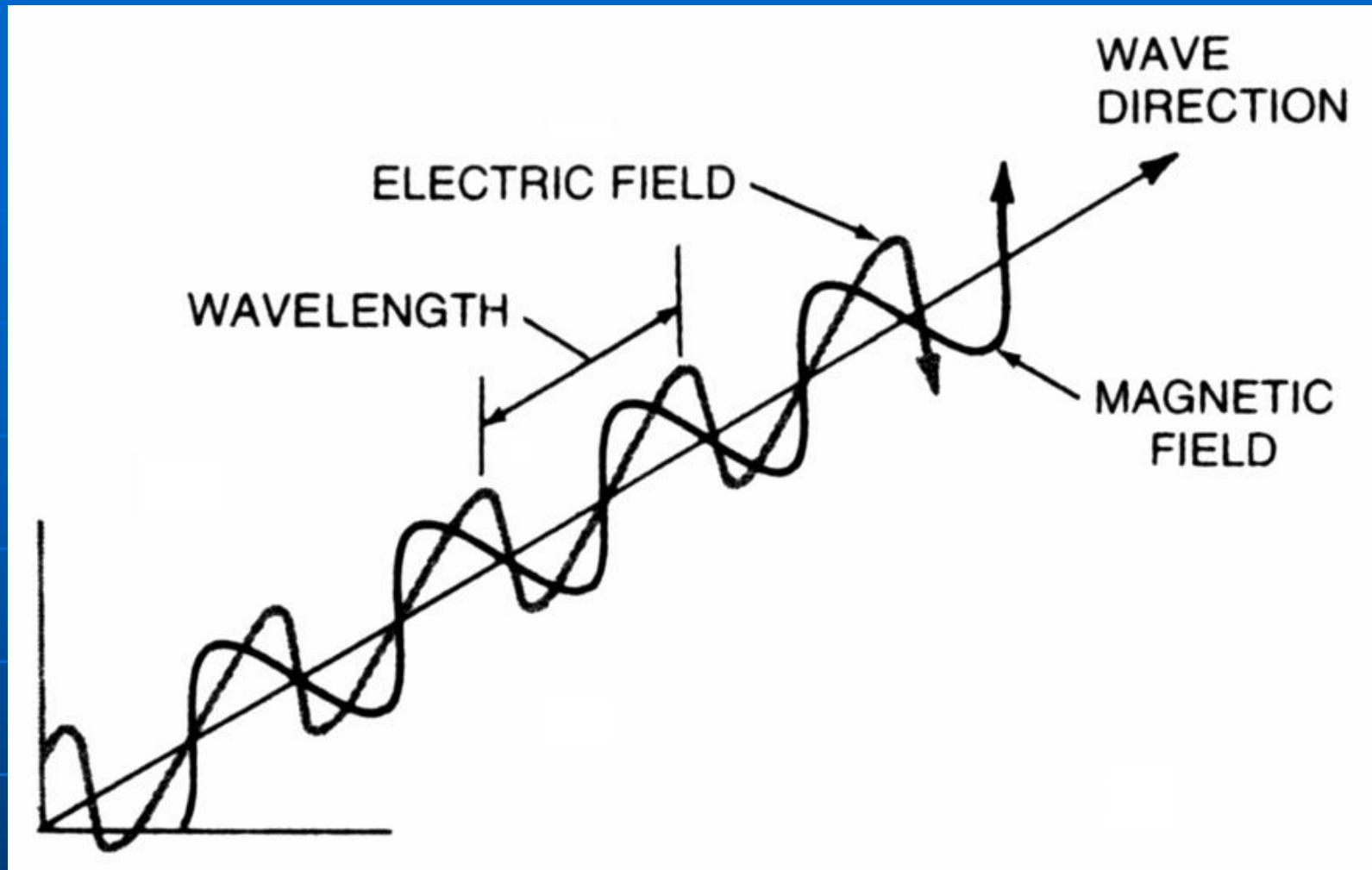


Obr. 6. Planparalelní rezonátor: L — délka rezonátoru, $2a$ — rozměr apertury

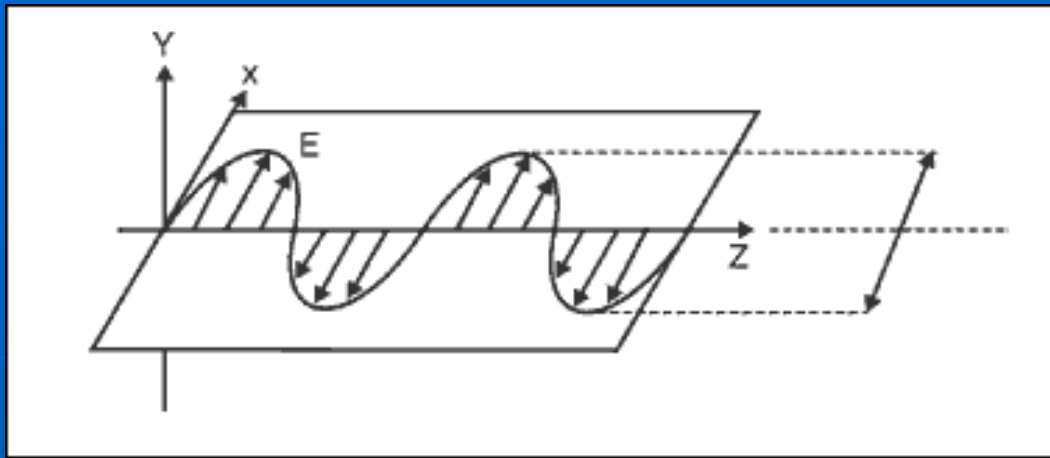
Rezonátory vnitřní x vnější (*Brewsterův úhel*). Vnitřní = aktivní prostředí zrcadlo- zrcadlo.

Dopadá-li záření, polarizované v rovině dopadu, na rozhraní dvou prostředí s odlišnými indexy lomu pod vhodným úhlem, nedojde k odrazu od rozhraní a veškeré záření prochází beze ztrát (Brewsterův úhel) :

$$\alpha_B = \arctg n_2 / n_1$$



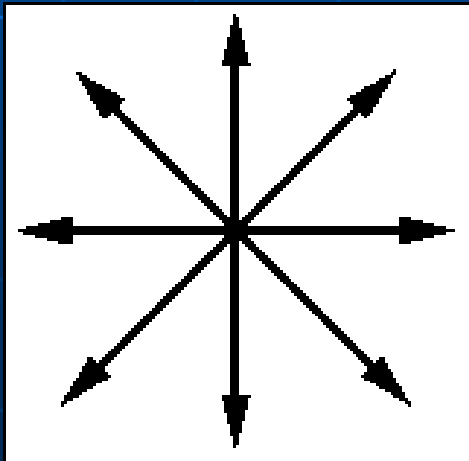
Oscilující elektrická a magnetická složka elektromagnetické vlny
Je to příčné vlnění : vlny oscilují ve směru kolmém na směr šíření



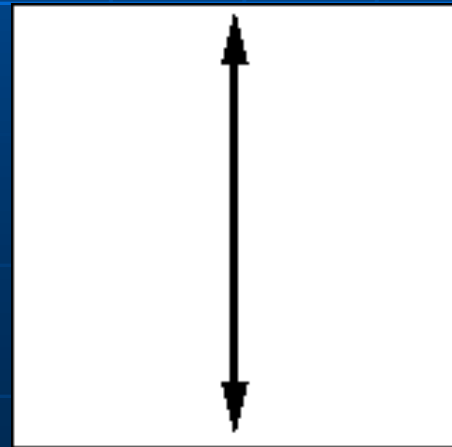
Směrů oscilace je
nekonečně mnoho

Všechny jsou kolmé na
směr šíření

Normální nepolarizované světlo se
skládá z vln oscilujících ve všech
možných směrech



Lineárně polarizované světlo se
sestává z vln, které kmitají jen v
jednom směru



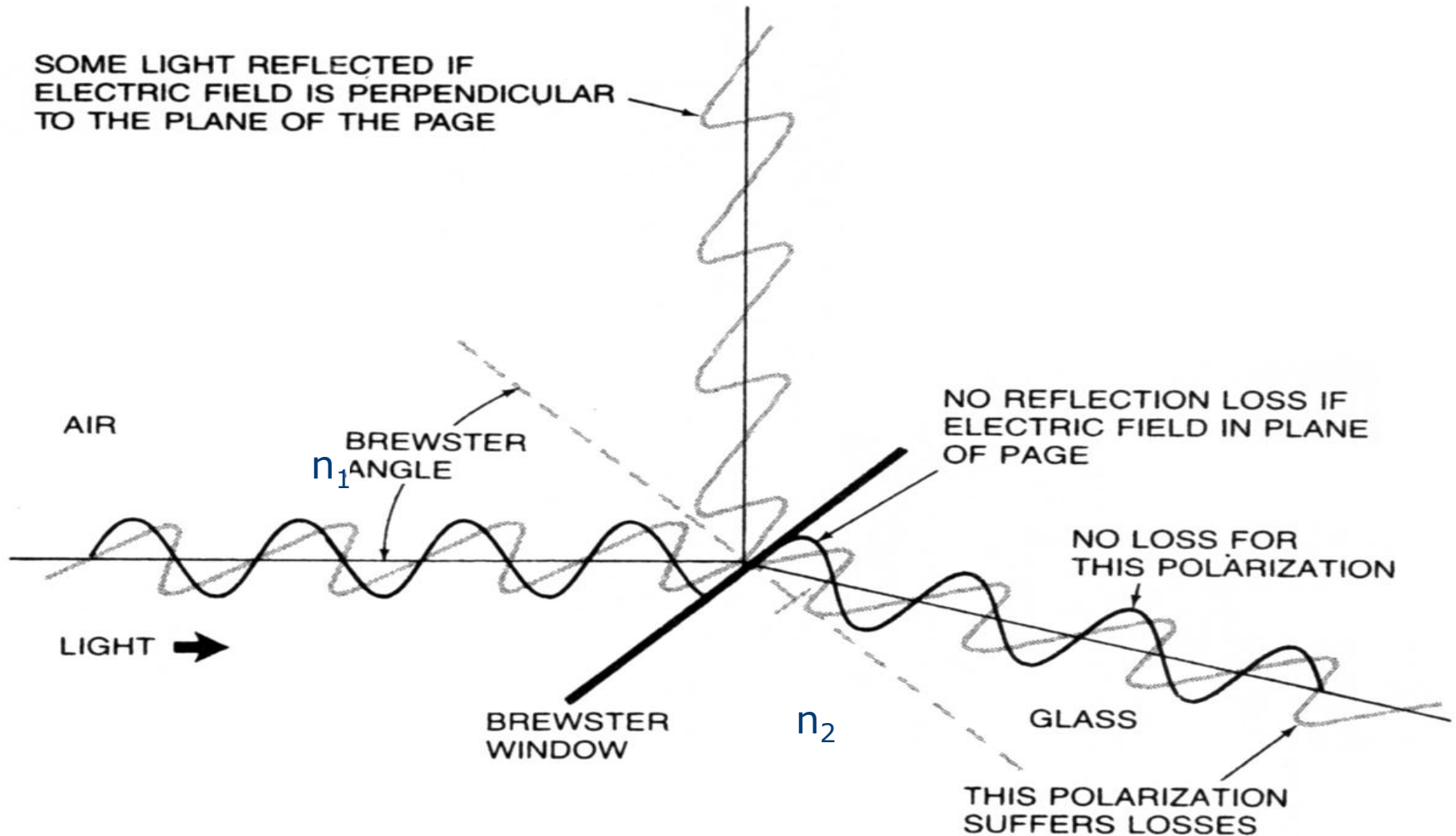
Brewsterův úhel – plynové lasery

n_2 je index lomu materiálu od kterého se světlo odráží

n_1 je index lomu materiálu kterým se světlo šíří

Brewsterův úhel = $\arctg(n_2 / n_1)$

Pro sklo ($n_2 = 1,52$ a vzduch $n_1 = 1,00$) je Brewsterův úhel = 56,7 stupně.



Brewsterův úhel

(E.Kannatey- Asibu, Principles of Laser Materials Processing, Wiley, 2009)

Elektrický vektor svazku dopadajícího na povrch je možno rozložit do dvou složek (jedna v rovině dopadu, paralelní p- složka a další kolmá k rovině dopadu, s- složka).

Když je dopadající svazek nepolarizovaný, jsou intenzity těchto složek stejné.

V praxi intenzity složek nemusí být po odrazu stejné a závisejí na koeficientech odrazu pro tyto dvě složky :

R_p

$$R_p = \frac{\tan^2(\theta_1 - \theta_2)}{\tan^2(\theta_1 + \theta_2)}$$

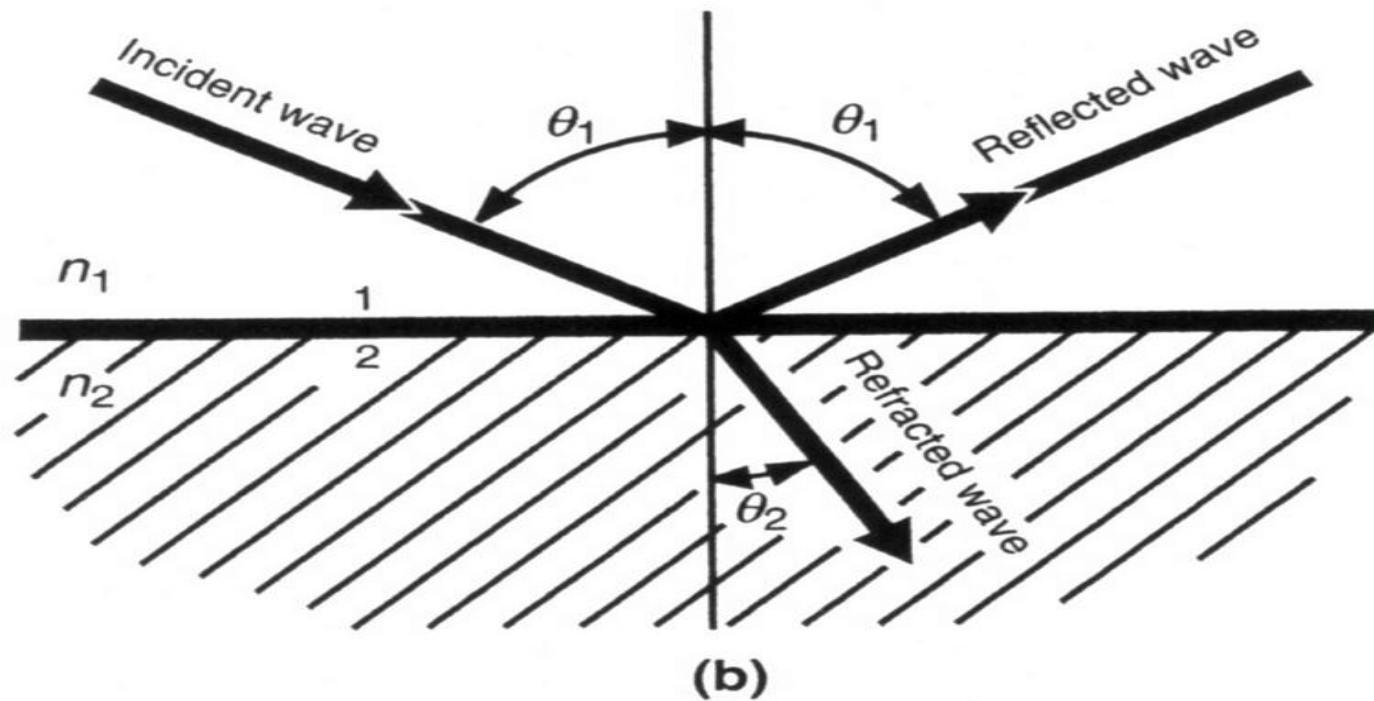
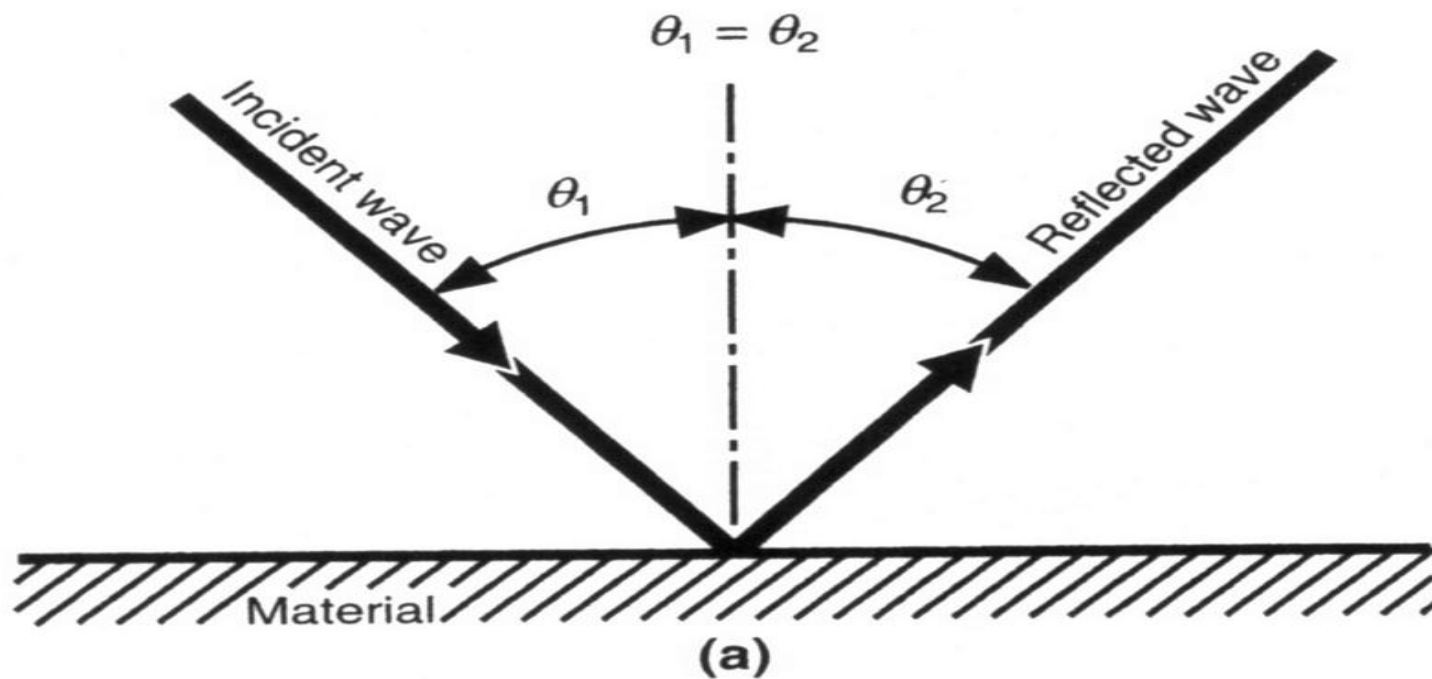
R_s

$$R_s = \frac{\sin^2(\theta_1 - \theta_2)}{\sin^2(\theta_1 + \theta_2)}$$

Kde R_p je koeficient odrazu svazku polarizovaného v rovině dopadu, a R_s je kolmá složka. θ_1 a θ_2 jsou úhly dopadu a lomu.

R_s a R_p jsou intenzitní, nebo výkonové koeficienty odrazu a jsou známy jako odrazivost, činitel odrazu, reflectance).

Obr. 9.1. Odraz a lom (a) odraz na zrcadle
(b) odraz na rozhraní



Obr. 9.1. Odraz a lom
 (a) odraz na zrcadle
 (b) odraz na rozhraní

Odpovídající amplitudové koeficienty odrazu jsou :

R_p

R_s

$$R_{SA} = \frac{\sin(\theta_1 - \theta_2)}{\sin(\theta_1 + \theta_2)}$$

$$R_{PA} = \frac{\tan(\theta_1 - \theta_2)}{\tan(\theta_1 + \theta_2)}$$

Změna koeficientů odrazu s úhlem dopadu je na Obr. (next slide).

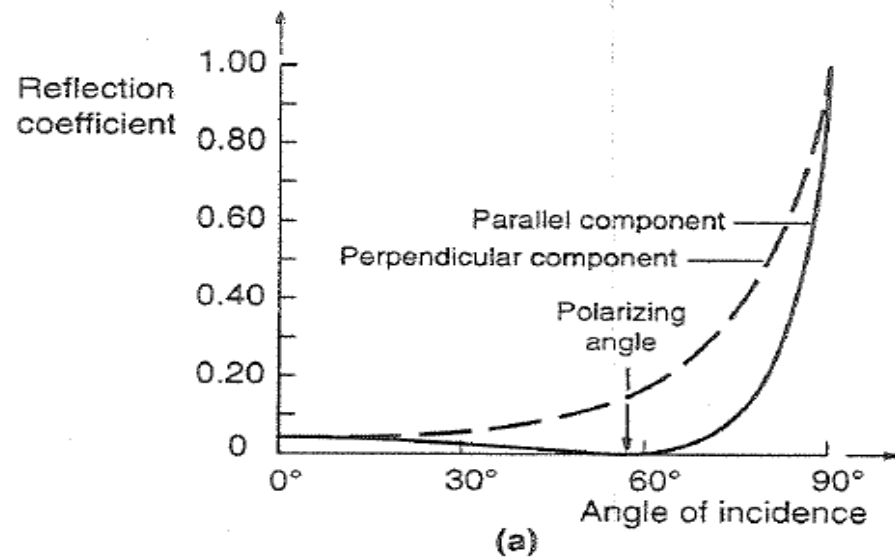
Z rovnice pro R_p plyne, že pro $\theta_1 + \theta_2 = 90^\circ$ je koeficient odrazu R_p pro p- složku v rovině dopadu rovný nule, protože $\tan(\theta_1 + \theta_2)$ je nekonečno. Odražený svazek je pak polarizován v rovině kolmé k rovině dopadu. K tomu dojde v případě když paprsky odraženého a lomeného svazku jsou navzájem kolmé.

Úhel dopadu pod kterým k tomuto jevu dochází, se nazývá polarizační úhel, nebo Brewsterův úhel θ_B .

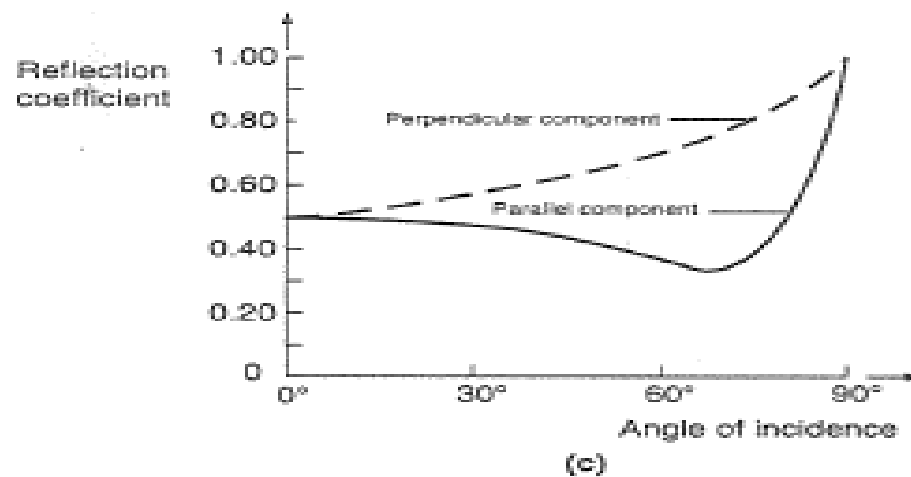
Protože $\theta_1 + \theta_2 = 90^\circ$, platí $\sin \theta_2 = \cos \theta_1$ a pak ze Snelova zákona dostaneme

$$\tan \theta_B = (n_2 / n_1) = n_{21}.$$

Dopadá li svazek z prostředí s nižším indexem lomu, tj. prostředí 1, pak dochází při odrazu k 180° (nebo $\lambda/2$) fázovému posunu.



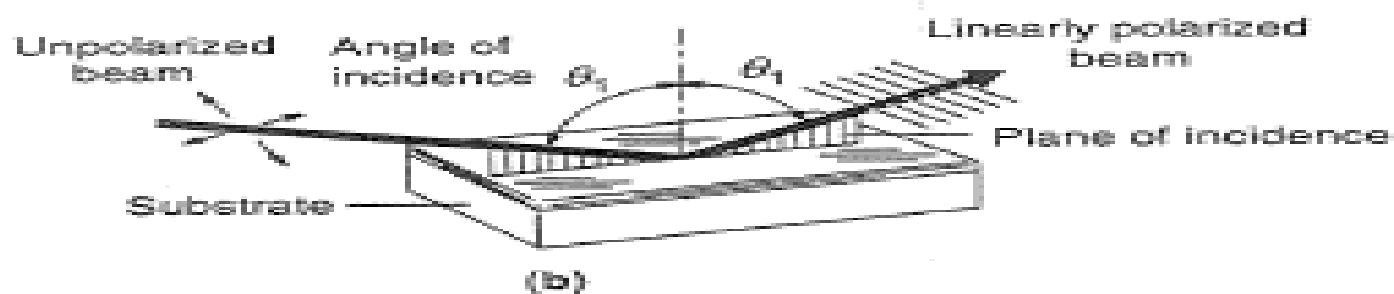
Obr. Koeficienty odrazu pro rozhraní vzduch- sklo ($n = 1.5$).



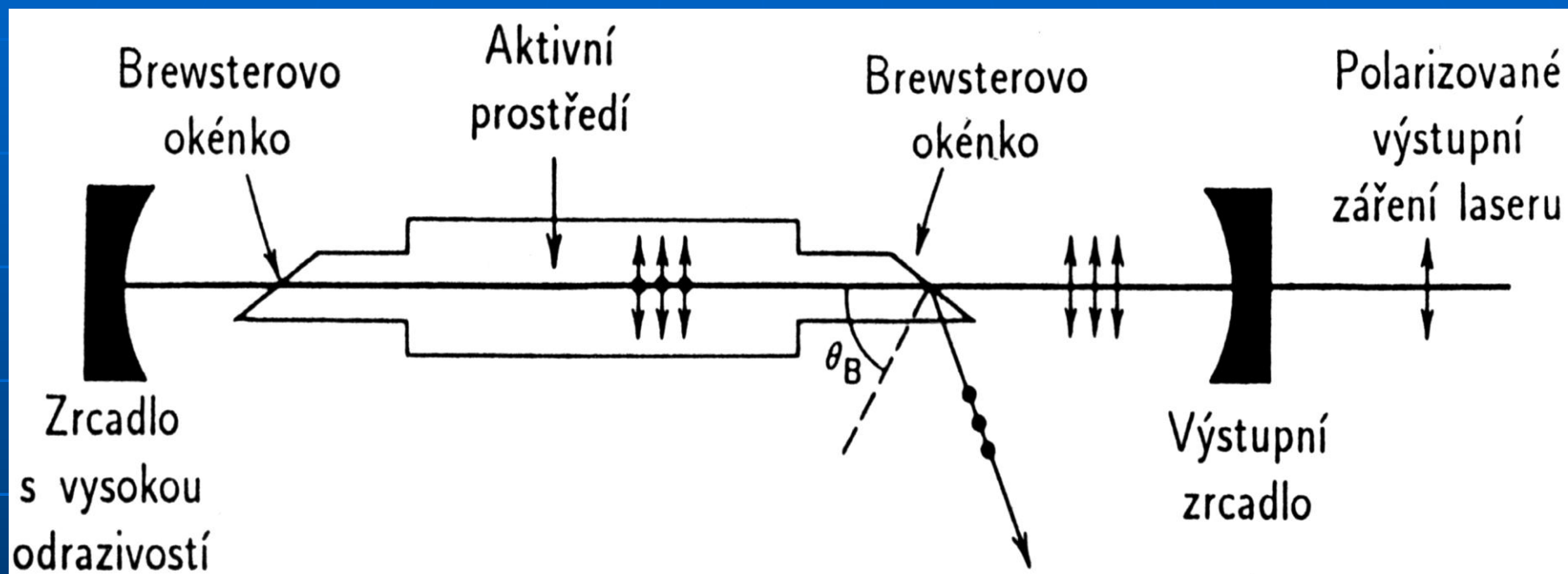
Obr. Koeficienty odrazu pro přechod vzduch- zlato.

Polarizace světla odrazem

Dopadá-li světlo šikmo na desku (skleněnou), dochází při odrazu k jeho polarizaci, tj. usměrnění kmitání do směru daného kolmicí na směr šíření. Stupeň této polarizace závisí na úhlu, který svírá dopadající paprsek s rovinou zrcadla. Optimální hodnota tohoto úhlu je dána Brewsterovým zákonem, který říká, že paprsky odražené a lámající se na rozhraní musí být na sebe kolmé.



Brewsterův úhel – plynový laser



Obrázek 14.2-13 Brewsterova okénka v plynovém laseru zajišťují lineárně polarizované záření laserového svazku. Světlo polarizované v rovině dopadu (vlna TM) prochází okénkem skloněným pod Brewsterovým úhlem bez reflexních ztrát. Kolmo polarizovaný mod (TE) má ztráty způsobené odrazem a následkem toho nezačne oscilovat.

POLARIZACE – Příklad - Biologie

Mnoho živočichů je schopno pozorovat polarizaci slunečního světla, což obvykle využívají pro navigaci, neboť polarizace slunečního světla procházejícího atmosférou je lineární a vždy kolmá ke směru, kde je slunce.

Tato schopnost je častá mezi hmyzem, například včelami, které tuto informaci využívají pro orientaci tance, kterým sdělují, kde je potrava. Africký chrobák Scarabaeus zambesianus je také citlivý na polarizaci, ale na rozdíl od ostatních se orientuje pomocí polarizovaného světla Měsíce.

Vnímavost polarizace byla též pozorována u chobotnice, sépie a straška (kudlankový korejš připomínající langustu, 2 – 30 cm dlouhý).

Sépie užívají rychle se měnící výrazné obrazce na pokožce ke komunikaci, přičemž některé vzory jsou polarizované.

Od strašek se světlo odráží rozdílně dle polarizace.

Polarizaci oblohy mohou vnímat někteří obratlovci, například holub, pro kterého je to jedna, ale ne jediná ze schopností umožňujících mu navádění.

Laserový rezonátor

Záření jehož směr šíření není rovnoběžný s optickou osou rezonátoru, opouští rezonátor po několika odrazech na zrcadlech. Záření v optické ose projde rezonátorem tam a zpět a vrací se do výchozího bodu. Je důležité, aby dráha, kterou záření po průchodu rezonátorem urazí, byla celistvým násobkem vlnové délky záření.

Rezonanční podmínka rezonátoru : $2L = a \cdot \lambda$,

L je délka rezonátoru

a je celé kladné číslo

λ je vlnová délka záření

Stojaté vlnění se bude v rezonátoru periodicky vytvářet při změně vzdálenosti zrcadel o $\lambda/2$.

Kromě **osové** změny (modifikace) vlnové délky záření v rezonátoru, mohou být v rezonátoru vzbuzeny ještě další stojaté vlny- *mody*.

Podélné mody (l) a příčné mody (m,n).

l, m, n znamenají počet uzlů stojatého vlnění na optické ose, resp. na osách kolmých.

Protože elektrická a magnetická složka pole je kolmá k optické ose, je možné mody označit jako $TEM_{l,m,n}$

Hodnota l je velká a výrazně se mění s L – proto se neuvádí.

Princip činnosti laseru

Součinitel zesílení aktivního prostředí

na jednotku délky g

Zrcadla rezonátoru s reflektancí (reflektivitou) R

Aktivní materiál délky l , bez- ztrátové prostředí

$$I_2 = I_1 e^{gl}$$

$$I_3 = I_2 \times R_2$$

$$I_4 = I_3 e^{gl}$$

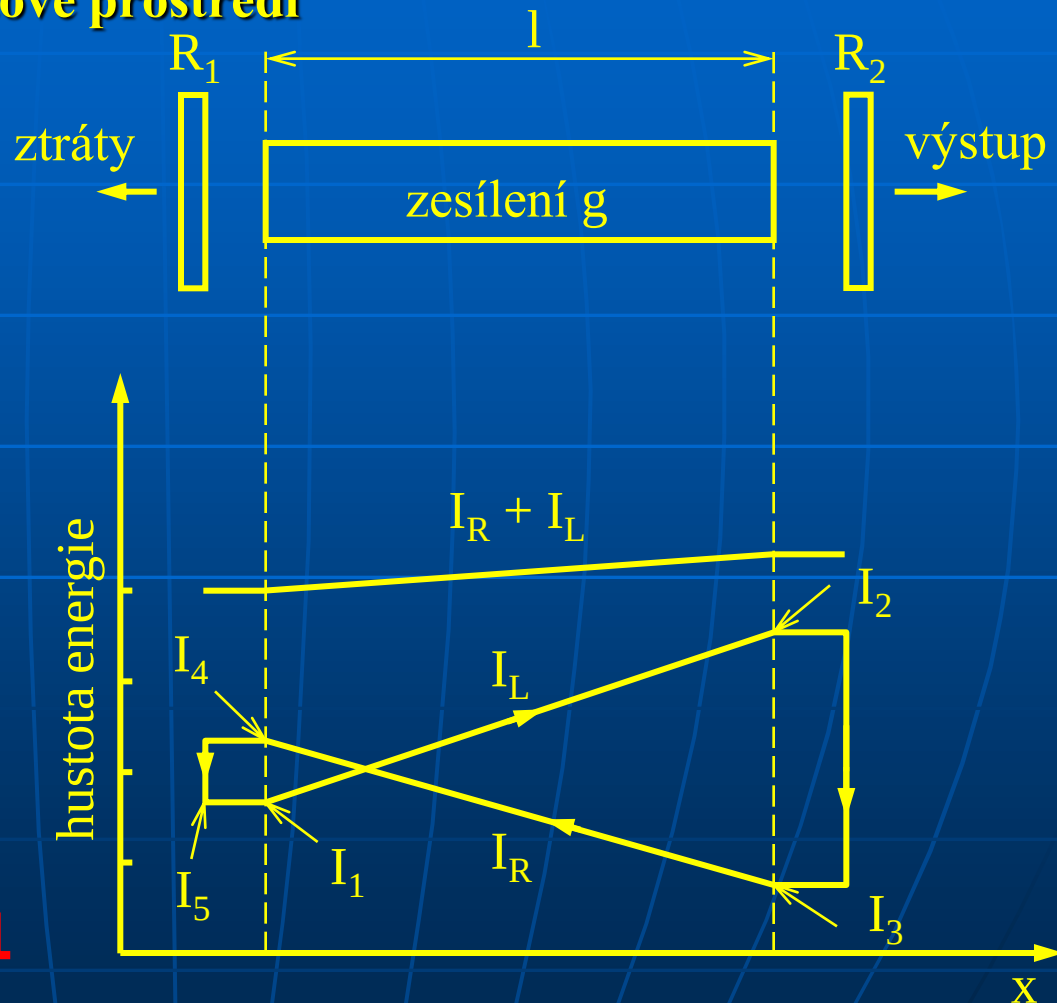
$$I_5 = I_4 \times R_1$$

pro **prahovou generaci**
záření platí

$$I_5 = I_1$$

Pak

$$R_1 R_2 \times \exp(2gl) = 1$$



Zesílení v aktivním prostředí (Op. and Phot. Series, Course1)

Budeme uvažovat **zesílení a ztráty** při jednom oběhu laserových fotonů rezonátorem. Počáteční množství fotonů majících správný směr a energii je malý. Při opakovaném průchodu fotonů aktivním prostředím a rezonátorem je toto množství fotonů postupně násobeno (zesilováno).

Předpokládáme, že na počátku je v bodě 1 počet fotonů n_0 .

Při jejich pohybu do bodu 2 (přes aktivní prostředí = laserové médium) dochází ke zvýšení jejich počtu díky stimulované emisi. Je-li **zesílení** aktivního prostředí (zesilovače) G_A , pak je v bodu 2 počet fotonů $G_A n_0$.

V bodě 3 je většina fotonů odražena zpět zrcadlem s reflektivitou R_1 , takže počet fotonů je $R_1 G_A n_0$.

Při dalším průchodu fotonů aktivním prostředím dostaneme počet fotonů v bodě 4 rovný $R_1 G_A^2 n_0$.

Po odrazu od výstupního zrcadla R_2 dostaneme počet fotonů v bodě 5 : $R_1 R_2 G_A^2 n_0$.

Při oběhu fotonů rezonátorem dojde ale i ke ztrátě fotonů (díky absorpci, rozptylu, difrakci) L . Proto počet fotonů v bodě 5 musí být snížen o $(1 - L)$, takže v bodě 6 (na konci oběhu) dostaneme počet fotonů

$$n_{\text{oběh}} = R_1 R_2 G_A^2 (1 - L) n_0.$$

Zesílení v aktivním prostředí (Op. and Phot. Series, Course1)

Zesílení na jeden oběh $G_L = n_{\text{Oběh}} / n_0$, tj.

$$G_L = R_1 R_2 G_A^2 (1 - L)$$

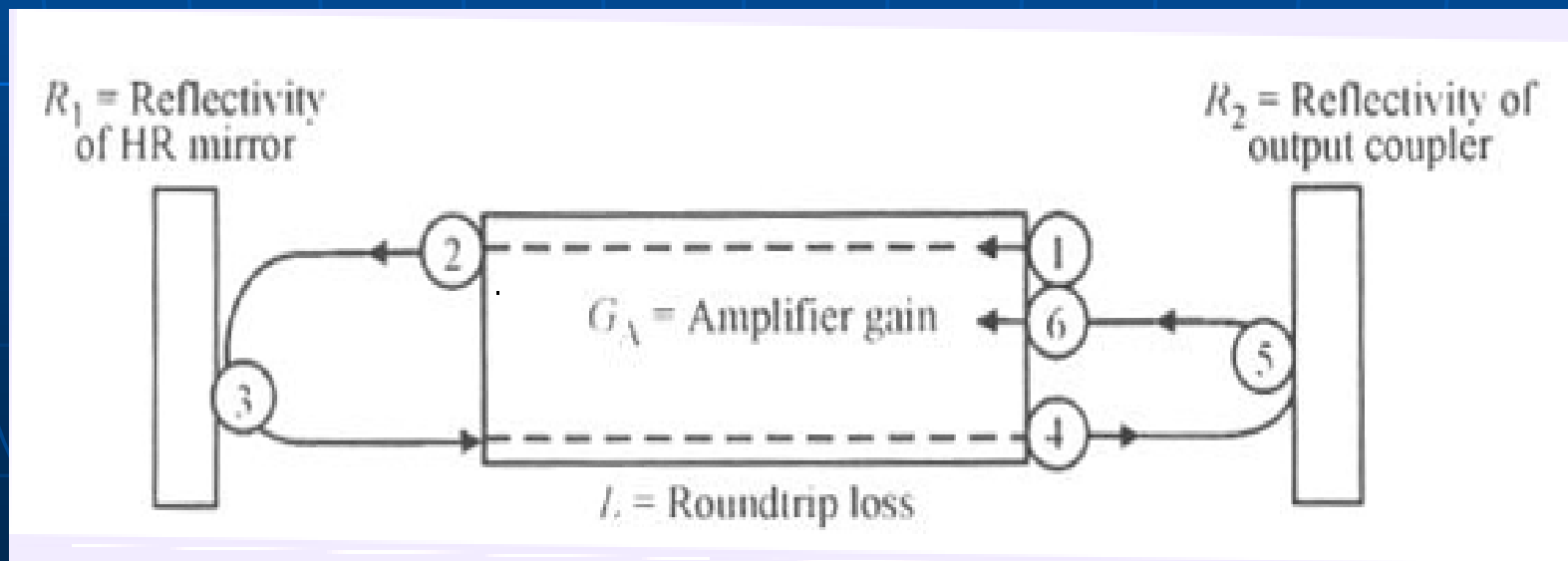
V kontinuálním režimu generace, definovaném jako $n_{\text{Oběh}} = n_0$, dostaneme $G_L = 1$ a řešením pro G_A dostaneme prahové zesílení

$$(G_A)_{\text{prah}} = (1 / R_1 R_2 (1 - L))^{1/2},$$

kde R_1 , R_2 jsou reflektivity zrcadel,

L jsou ztráty při jednom oběhu fotonů rezonátorem,

G_A je prahové zesílení aktivního prostředí pro kontinuální režim generace.



Dělení laserů

Dle režimu generace, aktivního prostředí, buzení, vlnových délek,...

Dle režimu generace (délky generovaného impulsu) :

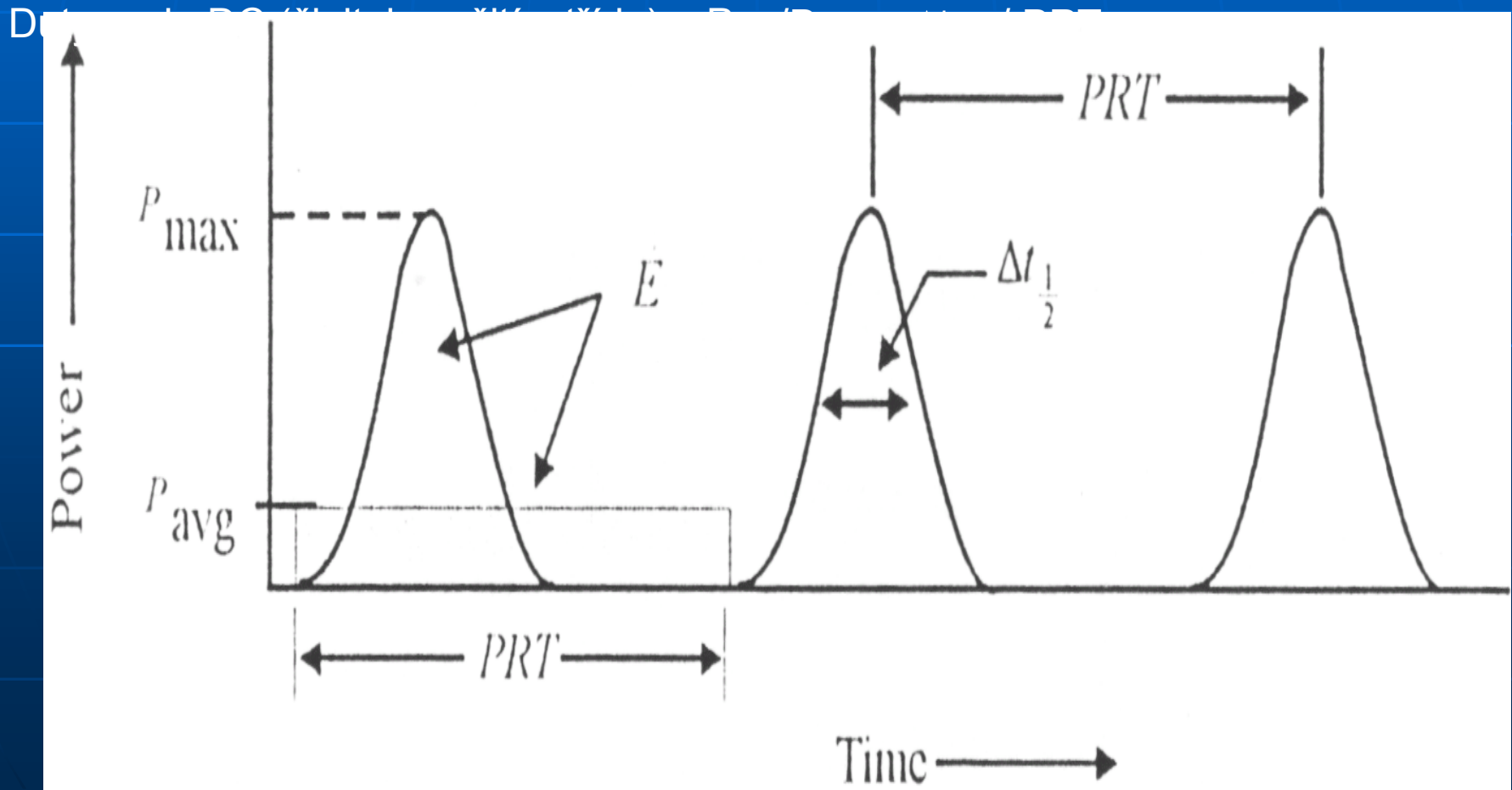
Kontinuální – spojitý režim (CW) – laser vyzařuje nepřetržitě po dobu delší než 2.5×10^{-1} s.

Impulsní – zářivá energie je vyzařována ve formě impulsů ne delších než 2.5×10^{-1} s a s opakovací frekvencí rovnou 1 s^{-1} nebo nižší x vyšší (volně běžící režim = free running, Q- spínaný režim, mode locking = módová synchronizace)

Impulzní provoz laseru (free running – volně běžící režim, Q- spínaný režim = režim gigantických impulzů, pikosekundový režim generace, femtosekundový režim)

Energie v pulzu $E = \Delta t_{1/2} \times P_{\max} = P_{\text{avg}} \times \text{PRT}$ (pulse repetition time)

V termínech opakovací frekvence $E = P_{\text{avg}} / \text{PRR}$ (kde $\text{PRR} = 1/\text{PRT}$), $\text{RRR} =$ pulse repetition rate



Dělení laserů

Dle aktivního prostředí :

Pevnolátkové (aktivní prostředí ve formě krystalu- válečku, hranolu, slabu)

Rubín – 694.3 nm

Nd^{3+} : YAG – 1.06 μm

Er^{3+} : YAG – 1.56 μm , 2.94 μm

Alexandrid (Cr^{3+} : Al_2BeO_4)- laditelný v pásmu 700 – 818 nm

Titan- safír (Ti^{3+} : Al_2O_3) – laditelný v pásmu 660 nm – 1180 nm

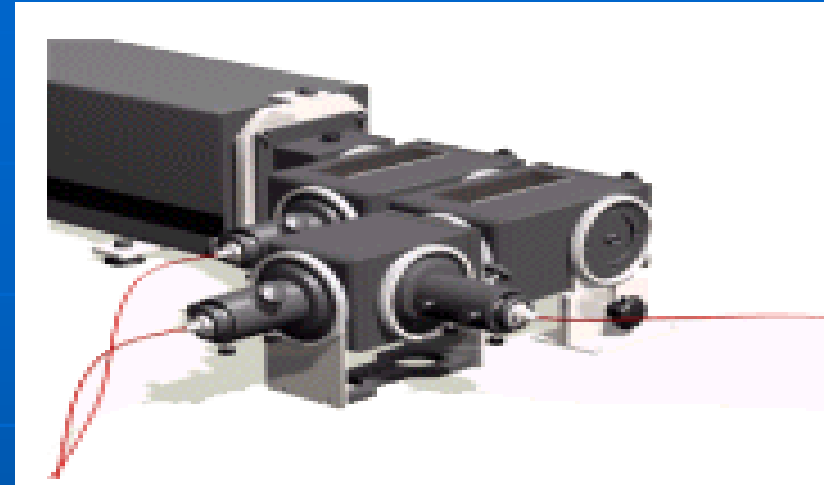
Ho: YAG – 2.1 μm

Pevnolátkové lasery Nd-YAG



Dělení laserů

Plynové



He-Ne (červenooranžové, zelené a modré), 633 nm ($1.15 \mu\text{m}$)

Ar⁺ (488 nm, 514.5 nm)

CO₂ lasery – $10.6 \mu\text{m}$

Excimerové – ArF (193 nm), KrF (248 nm), XeCl (308 nm)

Dělení laserů

Polovodičové lasery, laserové diody LED, GaAs – 904 nm, 850 nm

Čerpání tohoto laseru se zajišťuje elektrickým proudem, tekoucím P-N přechodem v propustném směru. Elektronové energetické schéma P-N přechodu v silně legovaném polovodiči, + Fermiho hladina + inverze + P-N přechod degenerovaného polovodiče při vnějším napětí U přiloženém v propustném směru. Je narušen rovnovážný stav. Fermiova hladina se rozdělí na Fermiovu hladinu pro elektrony E_{Fn} a pro díry E_{Fp} , v oblasti přechodu o tloušťce x nastává inverzní populace hladin a může probíhat stimulovaná emise

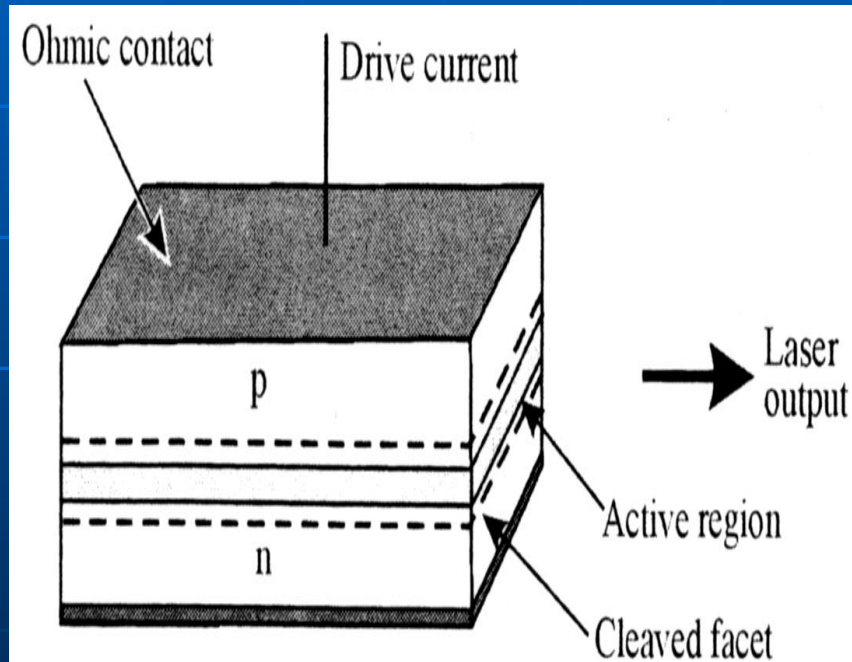


Figure 6-37 Schematic diagram of a diode laser

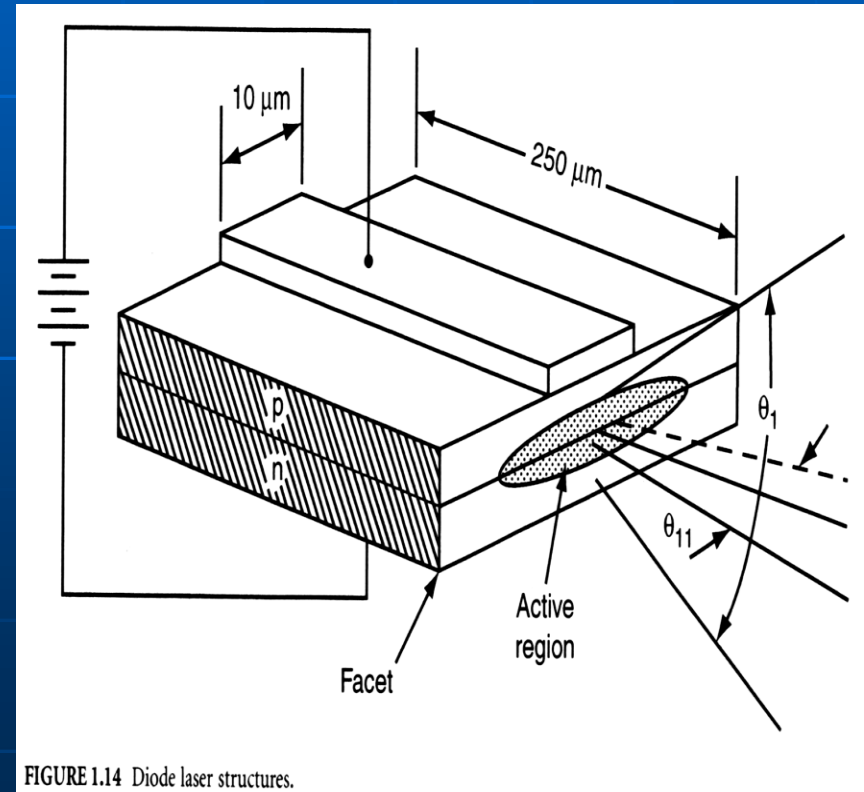


FIGURE 1.14 Diode laser structures.

- Kapalinové – barvivové (převážně laditelné)
- Rentgenové (~ 10 nm), gama lasery
- Lasery s volnými elektrony - (FEL- Free Electron Laser) – $0.2\text{ }\mu\text{m}$, $0.5 - 10\text{ }\mu\text{m}$, $9 - 40\text{ }\mu\text{m}$, $400 - 1000\text{ }\mu\text{m}$)

Dělení laserů

Dle buzení :

Buzené opticky, elektricky, elektronovým svazkem, chemicky,...

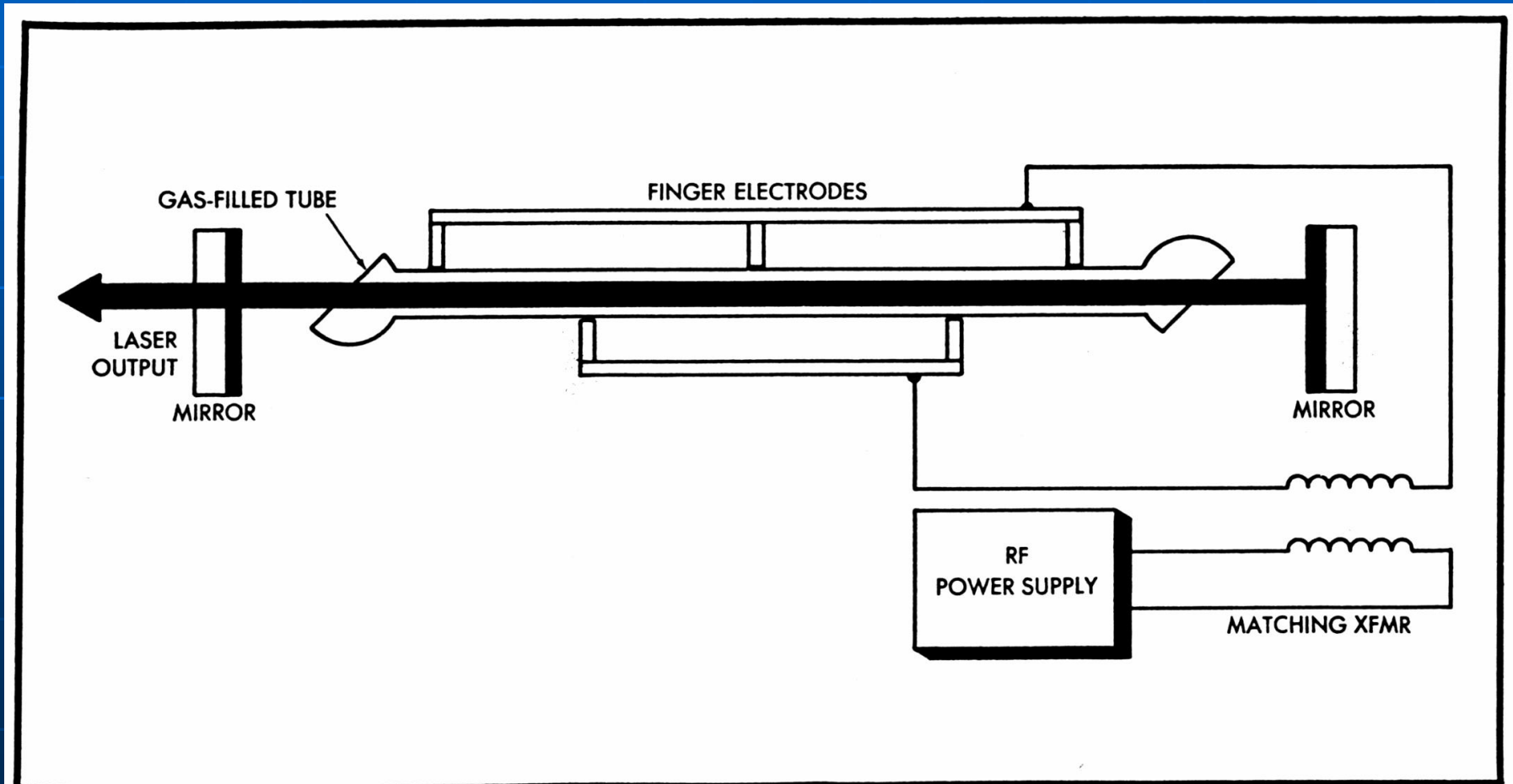
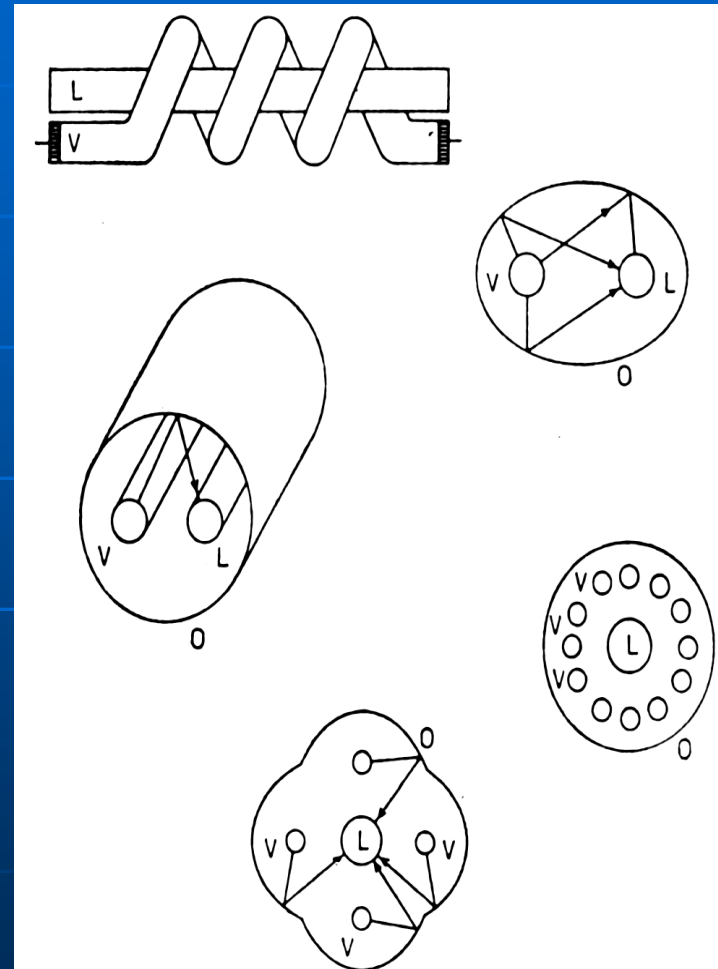
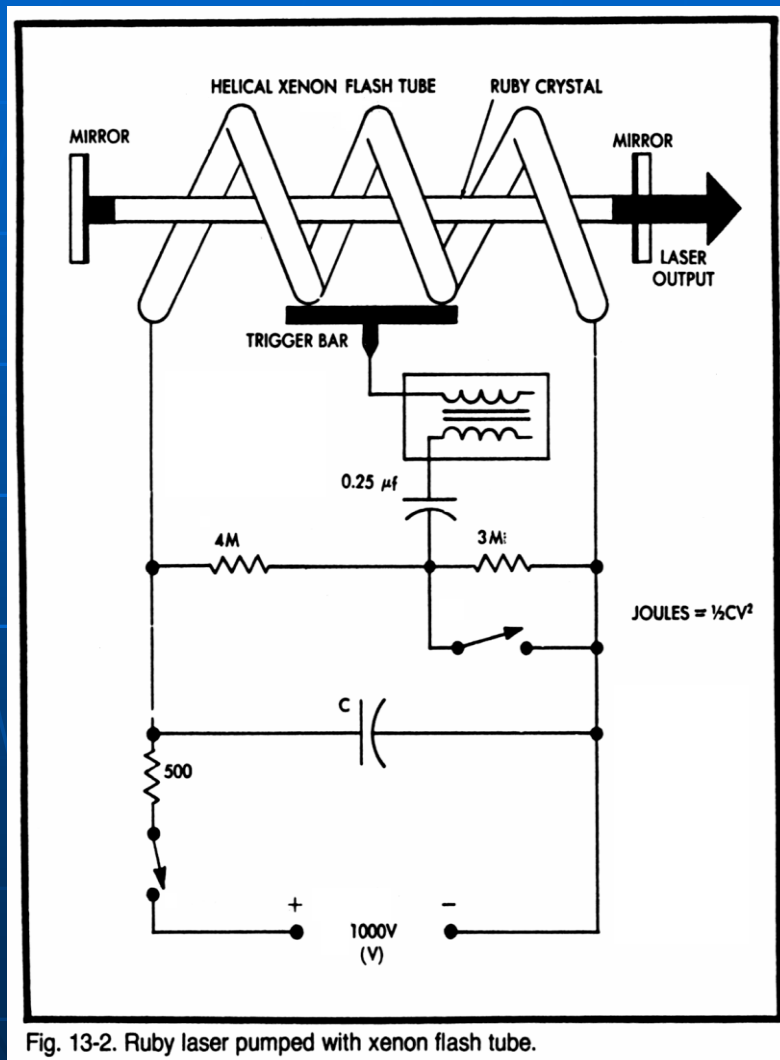


Fig. 13-1. Method of RF pumping in gaseous laser.

Dělení laserů



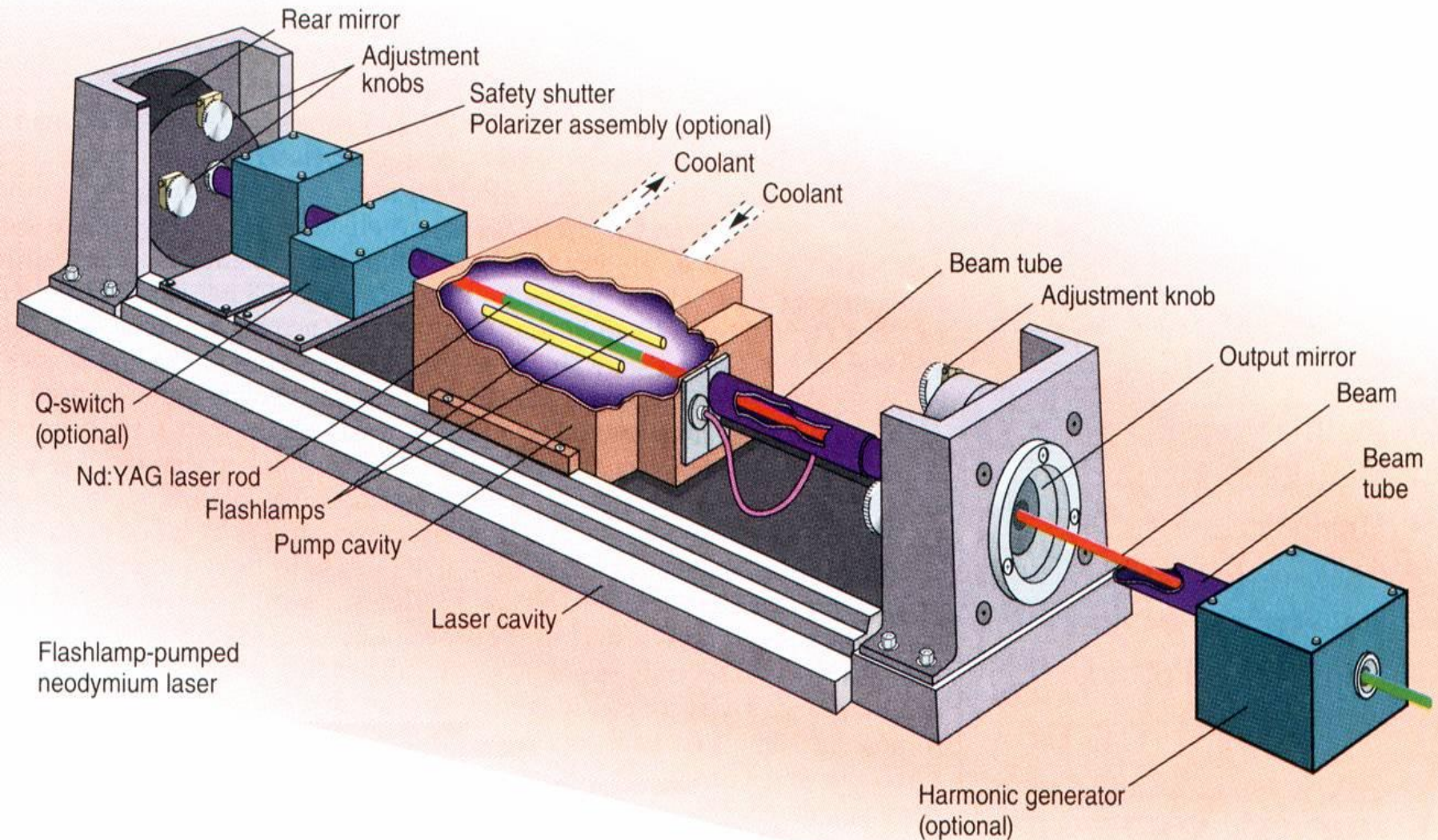
Obr. 16. Různé modifikace buzení pevnolátkových laserů: L — laserový krystal, V — výbojka, O — odrazná plocha

Dělení laserů

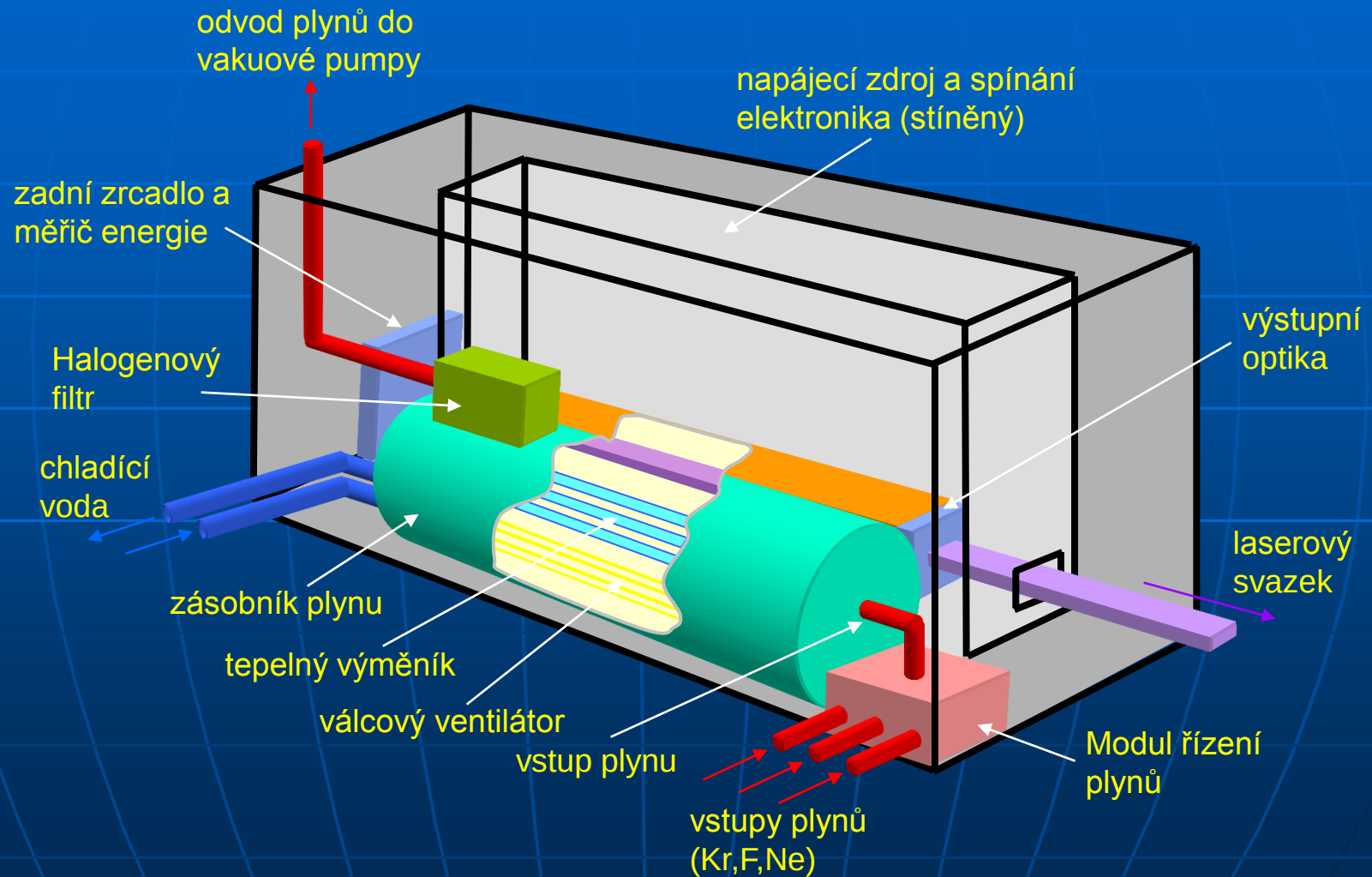
Dle vlnových délek :

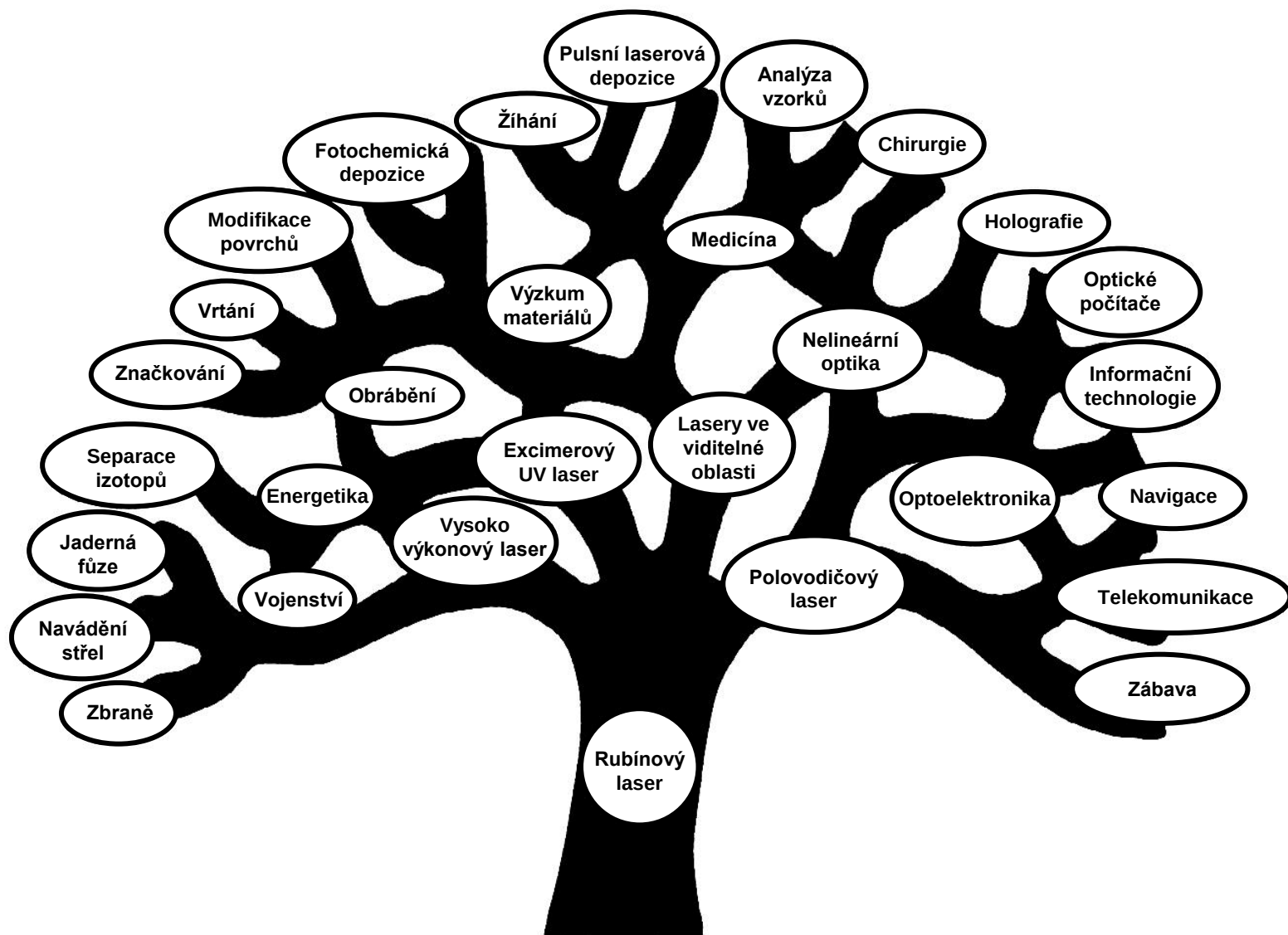
IČ lasery, lasery viditelného pásma, ultrafialové lasery,
rentgenové lasery

LASER



EXCIMEROVÝ LASER





Otázky

- Co je to Brewsterův úhel ?
- Výpočet vln. délky a frekvence fotonu při přechodu elektronu z vyšší energetické hladiny na nižší
- Co je to lineární polarizace ?
- Polarizace odrazem
- Co je to spontánní emise ?
- Co je to stimulovaná emise ?
- Co je to laser ?
- Z čeho se skládá laser ?
- Co je to Fabry- Perotův rezonátor ?
- Prahová podmínka generace laseru ?
- Dělení laserů
- Změna koeficientů odrazu s úhlem dopadu
- Impulzní provoz laseru, stř. a max. energie