



MASARYKOVA UNIVERZITA
Přírodovědecká fakulta
Ústav fyzikální elektroniky

Studentský seminář

Lasery

Vojtěch Procházka

9. března 2011

Obsah

Teorie

Úvod

Historie

Teoretický základ

Dvouhladinový systém

Vícehladinový systém

Stavba a funkce laseru

Stavba laseru

Funkce laseru

Typy laserů

Využití laseru

Úvod

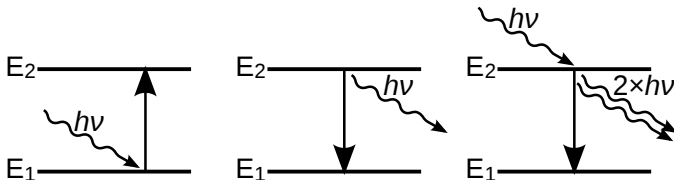
LASER = Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation

- ▶ zesilovač nebo častěji zdroj záření (optický rezonátor)
- ▶ vysoký stupeň prostorové a časové koherence
- ▶ velikost od zlomků milimetru (diodové lasery) po desítky metrů (lasery pro jadernou fúzi – ICF)
- ▶ vlnová délka v oblasti mikrovln (masery) až rentgenového záření
- ▶ výkon v řádech 10^{-9} – 10^{20} W

Historie laseru

- ▶ 1953 – Charles Townes, J. P. Gordon a H. J. Zeiger – MASER
- ▶ 1960 – Theodore H. Maiman – rubínový laser (694 nm, tři hladiny, pulsní režim)
- ▶ 1960 – Ali Javan, William R. Bennett a Donald Herriot – plynový kontinuální IR laser (He–Ne)
- ▶ 1962 – Robert N. Hall – diodový laser (GaAs, 850 nm)

Dvouhladinový systém



- ▶ absorpce: $P_{\text{abs}} = B_{12} N_1 \rho(\nu_{12})$
- ▶ spontánní emise: $P_{\text{em}}^{\text{spon}} = A_{21} N_2$
- ▶ stimulovaná emise: $P_{\text{em}}^{\text{stim}} = B_{21} N_2 \rho(\nu_{12})$
- ▶ rovnováha: $P_{\text{abs}} = P_{\text{em}}^{\text{spon}} + P_{\text{em}}^{\text{stim}}$

Dvouhladinový systém

$$\text{Rovnováha: } B_{12}N_1\rho(\nu_{12}) = A_{21}N_2 + B_{21}N_2\rho(\nu_{12})$$

$$\text{Maxwellovo–Boltzmannovo rozdělení: } \frac{N_2}{N_1} = e^{-\frac{h\nu_{12}}{kT}}$$

$$\text{odtud } \rho(\nu_{12}) = \frac{A_{21}}{B_{12} \exp(h\nu_{12}/kT) - B_{21}} \quad (1)$$

$$\text{Planckův zákon: } \rho(\nu) = \frac{8\pi h^3}{c^3} \frac{1}{\exp(h\nu_{12}/kT) - 1} \quad (2)$$

Dvouhladinový systém

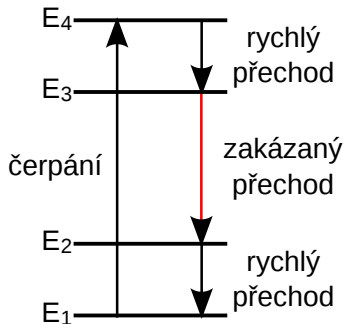
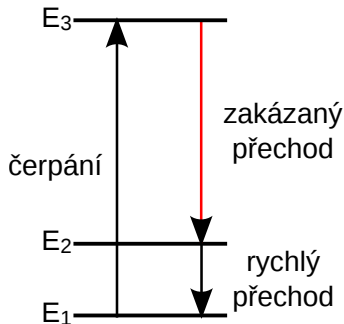
porovnáním dostaneme $B_{12} = B_{21} = B$ a $A_{21}/B = 8\pi h^3/c^3$

$$\text{Tedy } N_2 < N_1 \text{ a } P_{\text{em}}^{\text{stim}} \ll P_{\text{abs}}$$

Důsledky:

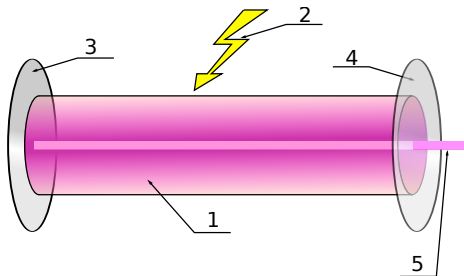
- ▶ tento dvouhladinový systém se nemůže chovat jako laser
- ▶ populační inverze ($N_2 > N_1$) je nutno dosáhnout jinou cestou

Vícehladinový systém



- ▶ čerpací vlnová délka odlišná od vlnové délky laseru
- ▶ zakázaný přechod snižuje vliv spontánní emise

Stavba laseru



1. aktivní prostředí
2. zdroj energie
3. odrazné zrcadlo
4. částečně propustné zrcadlo (výstupní coupler)
5. laserový paprsek

Funkce laseru

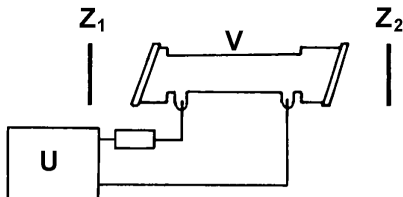
- ▶ čerpání – dodávání energie aktivnímu prostředí pro udržení populační inverze (nejčastěji světelným zdrojem, např. výbojkou)
- ▶ zrcadla rezonátoru – zajištění dostatečného zisku (kladná zpětná vazba) efektivním prodloužením aktivního prostředí; u laditelných laserů lze nahradit mřížkami
- ▶ Q-switching – úmyslné snížení kvality rezonátoru pro nahromadění energie v aktivním prostředí (pulsní lasery)

Typy laserů

Rozdělení podle typů aktivních prostředí

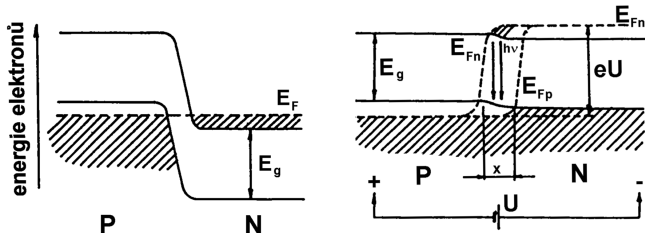
- ▶ plynové (He–Ne, CO₂, Ar, excimerové, chemické, ...) – atomární, molekulární nebo iontové plyny či jejich směsi
- ▶ pevnolátkové (rubín, Nd:YAG, Nd:YVO₄, vláknové, ...)
- ▶ barvivové (Rhodamin, Kumarin, ...) – organická barviva – snadné ladění
- ▶ polovodičové (GaAs, GaAlAs, AlGaInP, GaN, ...) – jeden P–N přechod u diodových laserů, příp. multivrstvy
- ▶ volné elektrony – široký rozsah vlnových délek

Helium–neonový laser



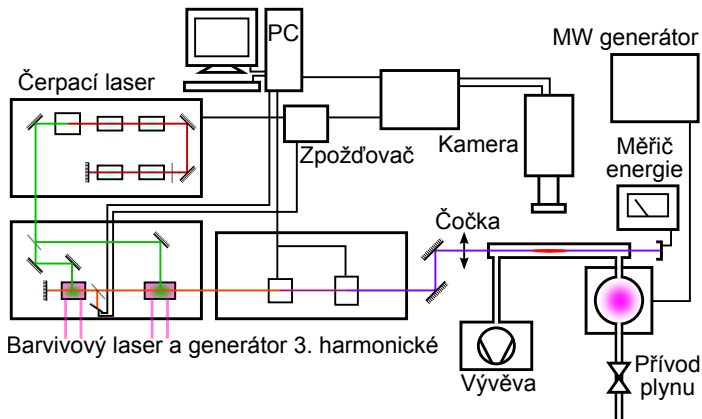
- ▶ výboj v heliu, energie předávána atomům neonu
- ▶ vlnová délka 633, příp. 543 nm
- ▶ čelní plochy výbojové trubice skloněny v Brewsterově úhlu

Polovodičový laser



- ▶ čerpání el. proudem procházejícím P–N přechodem
- ▶ silně legovaný polovodič
- ▶ rozštěpení Fermiho hladiny (pro elektrony a díry) v oblasti P–N přechodu
- ▶ funkci zrcadel přebírá rozhraní polovodič–vzduch

Systém pro měření TALIF



Systém pro měření TALIF

- ▶ Nd:YAG pulsní laser čerpaný čtveřicí Xe výbojek (1064 nm)
- ▶ generátor druhé (532 nm) nebo třetí (355 nm) harmonické
- ▶ barvivový laser laděný dvojicí mřížek (rezonátor + zesilovač)
- ▶ LambdaLock – přesné měření vlnové délky porovnáváním interferenčních kroužků s He–Ne laserem
- ▶ generátor druhé a třetí harmonické, příp. mixování s Nd:YAG laserem
- ▶ buzení fluorescence současnou absorpcí dvojice UV fotonů

Využití laseru

- ▶ ukazovátka, CD, DVD, Blu-ray, čtečky kódů, zaměřování, tiskárny
- ▶ řezání kovů, sváření, gravírování, fotolitografie
- ▶ chirurgie, stomatologie, oftalmologie, dermatologie
- ▶ spektroskopie, LIF, jaderná fúze, laserová ablace, holografie
- ▶ armáda
- ▶ ...