

Laserová jiskra

Ondřej Tyle

Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská, Břehová 7, 115 19 Praha 1

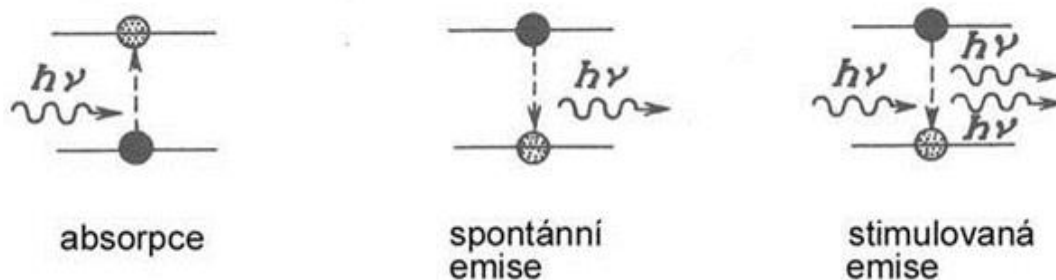
ondratyle@gmail.com

Abstrakt

V tomto článku se budeme zabývat problematikou laserové jiskry, a vlastně celkově pojmem Laser. Ukážeme si principy laserového svazku, jak vlastně laser funguje a jakými způsoby lze docílit vzniku laserové jiskry, nebo naopak jak lze jejímu vzniku předejít. Povíme si také něco o konkrétních typech laserů a něco o tom, kde se v dnešní době můžeme s laserovou jiskrou setkat.

1 Laser

Laser je zkratka *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*, což je „zesilování světla pomocí stimulované emise záření“. Ze zdroje je do laseru dodávána energie, která excituje elektrony aktivního prostředí do vyšší energetické hladiny. Takto je do vyšších energetických stavů vybudena většina elektronů aktivního prostředí a vzniká tak tzv. inverze populace. Při přechodu elektronu zpět na nižší energetickou hladinu se uvolní energie ve formě fotonu, kterému se říká energetické kvantum. Toto kvantum energie dále interaguje s aktivním prostředím a tím se spouští stimulovaná emise záření se stejnou frekvencí a fází.



Aktivní část laseru je umístěna do rezonátoru, který odráží paprsky fotonů zpět na aktivní prostředí a tím se ještě více podporuje stimulovaná emise. Když je paprsek dostatečně velký, projde přes polopropustné zrcadlo ven z rezonátoru. Aby mohl laserový paprsek vzniknout, je potřeba splnit následující předpoklad, bez kterého by nebyla dostatečná energie na spuštění stimulované emise:

$$R_1 R_2 \exp(\alpha - \beta) 2l \geq 1 \quad (1)$$

Kde R_1 a R_2 jsou reflektivity zrcadel rezonátoru, α je koeficient zesílení, β je souhrnný koeficient ztrát a l je délka rezonátoru.

2 Stimulovaná emise

Stimulovaná (také vynucená nebo indukovaná) emise je kvantový jev, při kterém dopadající částice (nejčastěji foton) stimuluje přechod excitovaného elektronu do základního stavu za současného vyzáření částice o stejných vlastnostech jako má částice stimulující. Soustava v excitovaném stavu setrvává jen velmi krátce,

řádově 10^{-3} - 10^{-7} s, a následně přechází do základního stavu za doprovodu vyzáření fotonu. Ke stimulované emisi dochází jen tehdy, má-li foton energii rovnou rozdílu energetických hladin. Potom foton stimuluje přechod soustavy do základního stavu a je vyzářen další foton, který má stejnou vlnovou délku, polarizaci a směr jako stimulující foton. Podmínkou pro praktické použití stimulované emise je vytvoření inverze populace, tj. aby počet excitovaných prvků soustavy schopných emise byl větší než počet prvků v základním stavu. Tato soustava potom zesiluje procházející záření. Inverze populace můžeme dosáhnout tzv. buzením např. světelným zářením, elektrickým výbojem či chemickou reakcí, čímž dochází k excitaci elektronů na vyšší energetické hladiny. Pravděpodobnost, že nastane stimulovaná emise, je dána vztahem

$$P = B_{21}N_2\rho(\nu) \quad (2)$$

kde $\rho(\nu)$ je hustota dopadajícího záření a N_2 počet excitovaných atomů. Konstantou úměrnosti je zde Einsteinův koeficient stimulované emise B_{21} .

3 Druhy laserů

Lasery lze dělit do mnoha kategorií. Uvedeny jsou zde pouze ty nejvýznamnější.

Podle aktivního prostředí:

V závislosti na prostředí mohou lasery produkovat různé barvy záření (vlnové délky).

Plynové lasery - Nejdůležitějšími jsou CO_2 laser a excimerový laser (od „Excited Dimer“: ArF, KrF, XeCl). Dále existují ještě helium-neonový, argon-iontový a jódový laser.

Kapalinové lasery - Barva paprsku se dá měnit užitím různé barvy kapaliny.

Pevnolátkové lasery - Nejvýznamnější je neodymový YAG laser. Využívá syntetický monokrystal yttrium-aluminiového granátu, ve kterém jsou některé yttriové ionty nahrazeny neodymovými.

Polovodičové / diodové lasery - Nejmladší typy laserů. K vytváření paprsku dochází v laserovém prostředí s velmi malým objemem.

Podle vlnové délky:

Do této kategorie patří lasery infračervené, lasery viditelného pásma, ultrafialové a rentgenové lasery.

Podle typu buzení:

opticky (světlem) - Nd:YAG, vláknové lasery

elektrickým výbojem - CO_2 , He-Ne, excimerové lasery

injekcí nosičů náboje (elektrickým proudem) - laserové diody

chemicky - chemické lasery používané v armádě

elektronovým svazkem

tepelnými změnami

rekombinací

PALS - Je jeden z největších laserů v Evropě, využívající jódový laser. Jeho základní vlnová délka je 1315 nm (infračervené světlo) a v jednom pulzu je schopen dodat energii až 1 kJ. Část svazků je možné oddělit od hlavního paprsku s určitým časovým odstupem. Laser o výkonu 3 TW je schopen jednou za půl hodiny vystřelit pulz o délce 350 ps. Laserový paprsek je velmi kvalitní, homogenní, stabilní a při každém výstřelu stejný. PALS se skládá z řetězce navazujících komponent. Počáteční oscilátor generuje pouze slabý pulz, který následně prochází navazujícími komponenty, které ho zesilují. Průměr zesilovačů se postupně zvětšuje a tím se zvětší i průměr paprsku, který se z původních 8 mm zvětší na konečných 290mm. Tímto způsobem se udržuje

plošná hustota výkonu laserového paprsku, který by při takovémto výkonu procházejícím malou plochou byl schopný zničit optické součásti laseru. Poslední komponent tvoří interakční komora, ve které je přichází laserový paprsek soustředěn do malého terčíku o průměru menšího než 0,1 mm. Hustota světelného výkonu je zde potom až 1016 W/cm².

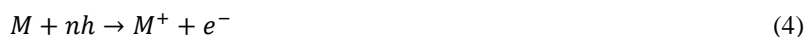
4 Laserová jiskra

Laserová jiskra je jev, který vzniká při fokusování laserového záření v plynném prostředí. V ohnisku pak vzniká dobře definované a relativně horké husté plazma. Obvykle je doprovázeno rázovou vlnou. Zkoumá se zde zeslabení laserového svazku a stupeň ionizace plynu v ohnisku. Pro nárůst počtu elektronů jsou známy dva mechanismy. První zahrnuje absorpci laserového záření elektrony, které, když přijmou určité množství energie, mohou srážkově ionizovat okolí podle rovnice:



Kde M je molekula plynu a e^{-} elektron.

Při této reakci dochází ke kaskádovému průrazu a koncentrace elektronů roste exponenciálně s časem. K průrazu však dojde jen, když se v okolí fotonu nachází počáteční volný elektron a když následně elektron přijme energii převyšující energii plynu. Druhý mechanismus se nazývá mnohofotonová ionizace, při které atom či molekula přijme dostatečné množství energie z fotonů a tím je ionizována. Mnohofotonová ionizace se dá zapsat rovnicí:



Kde M je molekula plynu a e^{-} elektron.

5 Užití

Užití laserové jiskry není moc velké, ale v posledních letech se začala využívat v automobilovém průmyslu jako svíčka do motoru. Pomocí laserového paprsku se bude zápalná směs moci zapálit a svíčky navíc šetří 2%-3% paliva. Laserová jiskra se samozřejmě využívá i pro vědecké účely a to na simulaci dopadu mimozemského tělesa do rané atmosféry planet.

Reference

[1] Babánková, D. *Využití velkých laserových jisker pro laboratorní simulaci chemických účinků dějů o vysoké hustotě energie v planetárních atmosférách. Disertační práce*, (2005) 29-34

[2] Babánková, D., Civiš, S., & Juha, L. *Chemical consequences of laser-induced breakdown in molecular gases. Progress in Quantum Electronics* 30, (2006) 75-88

[3] Babánková, D., Svatopluk Civiš, & Libor Juha. *CHEMICKÉ PROJEVY LASEROVÝCH JISKER. Chemické listy* 99, (2005) 109-115

[4] Ferus, M., Kubelík, P., & Civiš, S. *Laser Spark Formamide Decomposition Studied by FT-IR Spectroscopy. The journal of physical chemistry*, (2011) 12132-12141

[5] kol. autorů, *Stimulovaná emise*, <http://ciselniky.dasta.mzcr.cz/CD/hypertext/JVABW.htm>

[6] kol. autorů, *Laser*, <http://cs.wikipedia.org/wiki/Laser>

[7] kol. autorů, *Dělení laserů*, <http://laser.zcu.cz/wiki/rozdeleni-laseru>