

# Laser, světlo netušených možností

A. Glanc\*, V. Zrůst\*\*

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

\*alli.g@centrum.cz, \*\*vlastimil.zrust@gmail.com

## Abstrakt

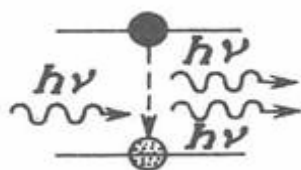
V našem příspěvku jsme se pokusili přiblížit posluchačům základní princip fungování laserů a jejich základní vlastnosti a dělení. Dále jsme se zabírali různými způsoby využití laserového světla a obzvláště těmi méně známými. Věnovali jsme se především otázce využití laseru pro zažehnutí termojaderné fúze a jeho uplatnění jako laserové zbraně.

## 1 Úvod

LASER je zkratka anglických slov Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation, což se dá přeložit jako zesílení světla stimulovanou emisí záření. Laserové světlo je podobně jako světlo ze žárovky vyzařováno tehdy, přechází-li atom z kvantového stavu s vyšší energií do kvantového stavu s nižší energií. V laserech však k tomuto vyzařování, na rozdíl od jiných zdrojů světla, dochází současně. Klíčem k činnosti laseru je stimulovaná emise. Tento pojem byl zaveden A. Einsteinem již v roce 1917.

## 2 Stimulovaná emise

Stimulovaná emise nastává, pokud je atom v excitovaném stavu a je ozářen světlem o frekvenci dané rovnicí  $hf = E_x - E_0$ . Foton o energii  $hf$  může stimulovat atom, aby přešel do svého základního stavu. Při tomto procesu atom emituje další foton s energií rovnou energii  $hf$ . Tento proces nazýváme stimulovaná emise, a to proto, že tato událost je spuštěna vnějším fotonem. Emitovaný foton je v každém ohledu identický se stimulujícím fotonem. Také by bylo dobré poznamenat, že fotony ve svazku laserového světla jsou ve stejném kvantovém stavu a na rozdíl od elektronů se neřídí Pauliho vylučovacím principem.



Obr. 1 Stimulovaná emise

## 3 Vlastnosti laserového světla

Laserové světlo je vysoce monochromatické, to znamená, že pokrývá velice úzký pás frekvencí.

Laserové světlo je vysoce koherentní, tj. je to vlnění se stejnou frekvencí a stejnou fází. Pokud máme například dva rozdělené svazky, které urazily po oddělených drahách několik set kilometrů a opět je spojíme, pamatují si vše o svém původu a mohou vytvářet interferenční proužky.

Laserové světlo je vysoce směrové, tedy laserový svazek má malou rozbíhavost. Odchyluje se od rovnoběžné osy jen minimálně. Například laserový pulz používaný k měření vzdálenosti Země - Měsíc vytváří na povrchu Měsíce stopu s průměrem asi 3 metry. Světlo ze žárovky má mnohem větší rozbíhavost, každý bod vlákna žárovky totiž vyzařuje samostatně a rozbíhavost je dána rozměry vlákna.

Laserové světlo lze velmi ostře zaměřit. Pokud dva paprsky přenášejí stejné množství energie, pak ten, který lze zaostřit do menší stopy, bude mít v této stopě větší intenzitu. Laserový paprsek lze zaostřit do stopy tak malé, že v ní může mít intenzitu  $10^{17}$  W/cm<sup>2</sup>.

## 4 Termojaderná fúze a laser

V USA vzniklo zařízení nazvané NIF (National Ignition Facility), ve kterém se snaží američtí vědci pomocí obří soustavy laserů dosáhnout podmínek, které panují uprostřed Slunce a tím tak dosáhnout podmínek pro vznik termojaderné fúze. Toto řešení má celou řadu výhod, zatímco tokamak je komplikované zařízení pracující jako celek, laserový systém v NIF může mít stavebnicovou strukturu, zvláště lze vyvíjet lasery, palivové tablety, vstřikovací zařízení, reakční komoru i další komponenty.

Americká cesta bývá označována jako laserový pulzní ohřev izotopů vodíku, nebo také inerciální fúze. Spočívá v tom, že směs deuteria a tritia se nejdříve upraví do podoby malých pevných tablet (pelet) a posléze umístí do ohniska, na něž ze všech stran míří lasery. Pak silný impuls světelné energie tabletu o velikosti několika zrněk soli na okamžik trvající několik nanosekund stlačí a zahřeje až na teplotu stovek milionů stupňů a hustotu, která je dvacetkrát vyšší než hustota olova. V tomto okamžiku dojde k zážehu termojaderné reakce. Při každém takové pulzu se uvolní energie odpovídající spálení asi 15 kilogramů kvalitního uhlí.

Srdcem NIF je nejvýkonnější energetický laser na světě. Jeho světlo rozdělí hranoly z uměle vypěstovaných krystalů na 192 svazků. Dráha každého z nich je dlouhá 305 metrů. Ty pak další optika zaostří na cíl, umístěný v kulové reakční komoře o průměru 10 metrů. NIF se buduje postupně tak, aby bylo možné nákladné zařízení využívat už před jeho definitivním dokončením.

Pokud se to podaří, bylo by možné na tomto principu stavět elektrárny, kde teplo bude odváděno chladícím médiem k turbinám s generátory, které vyrobí elektřinu. Přitom laserové pulzní zařízení je levnější a méně těžkopádné, než termojaderné reaktory pracující na principu tokamaku.

## 5 Laser jako zbraň

DE&EW je anglická zkratka pro Directed Energy and Energy Weapons, tedy zbraně s řízenou energií - energetické zbraně. V současnosti požadavky na zbraně narážejí na fyzikální limity klasických zbraní, které pomocí střelného prachu vystřelují pevné projektily, proto se pracuje na jejich náhradě pomocí zbraní na jiném fyzikálním principu. Jedná se především o laserové zbraně.

Už v době sestrojení prvního laseru si vojáci uvědomili, jaké výhody by jim takové zbraně mohly přinést. V první řadě to, že se paprsek šíří rychlostí 300 000 km/s, což znamená, že by se nemuselo brát při zaměřování cíle v úvahu jeho pohyb mezi okamžikem výstřelu a okamžikem zásahu cíle. Další výhodou je množství energie přenesené v krátkém pulzu. V neposlední řadě běžné lasery pracují na vlnových délkách neviditelných pro lidské oko, takže pozice střelce by zůstala neprozrazena.

Laser má ale i své nevýhody. Tou hlavní je jeho nízká energetická účinnost, která se pohybuje v jednotkách procent. To znamená, že silný laser je nemožné použít v ručních zbraních, protože voják by neunesl baterie. Dále jsou tu i negativní vlivy atmosféry, kde dochází k rozptylu, pohlcování či odklonění paprsku. Tyto problémy jsou důvodem toho, že laser je používán jako podpůrný systém např. pro zaměřování, značkování, atd.

Maximální výkon, kterého jsou současné přenosné lasery dosáhnout je v řádech kilowattů, proto nacházejí využití jako neusmrcující zbraně - např. oslepující puška PHaSR amerického námořnictva nebo systém izraelské armády THOR, který slouží k likvidaci min a výbušnin.

Do stadia ostrých zkoušek se dostaly systémy pro ochranu před taktickými raketami, minometnou a dělostřeleckou palbou, před protilodními střelami i prostředky vzdušné obrany. Tato zařízení označovaná jako HEL (High Energy Laser) pracují s výkony od desítek kW po MW. Patří sem takové systémy jako je americký THEL, Avenger, ruský HEL DEW nebo francouzsko - německý projekt HELEX.

Zvláštní skupinu tvoří letecké lasery a letecké útočné lasery pro taktickou podporu pěchoty. Vývoj adaptivní optiky znamenal přelom ve vývoji laserových zbraní. Pro zaostření a zaměření laserového paprsku se používá parabolické zrcadlo, které dokáže měnit svoje zakřivení a tak se přizpůsobit vlivům atmosféry. Airborne Laser AL-1A je stanoven jako vysoce mobilní ochrana před balistickými raketami. Jeho cílem je zasáhnout startující raketu v okamžiku, kdy je nejzranitelnější a shodit ji na nepřátele. Jedná se o upravený Boeing 747, který může létat až 18 hodin. Na své palubě nese megawattový kyslíko - jódový laser, který na jednu náplň dokáže zničit 20-40 raket. Laserový paprsek má průměr 10 cm a dokáže na vzdálenost až 14 km proříznout kov.



Obr. 2 Airbourne Laser AL-1A

## Reference

- [1] D. Resnick, R. Walker, Fyzika: vysokoškolská učebnice obecné fyziky-část 5. Moderní fyzika, Prometheus, Praha 2000
- [2] J. Kučera, Evropský projekt laserové termonukleární fúze HiPER odstartoval, [http://technet.idnes.cz/evropsky-projekt-laserove-termonuklearni-fuze-hiper-odstartoval-108-/tec\\_tecnika.asp?c=A081017\\_095310\\_tec\\_tecnika\\_mbo](http://technet.idnes.cz/evropsky-projekt-laserove-termonuklearni-fuze-hiper-odstartoval-108-/tec_tecnika.asp?c=A081017_095310_tec_tecnika_mbo)
- [3] J. Novák, Když světlo drtí atomy..., <http://www.21století.cz/view.php?cisloclanku=2005092113>
- [4] Internetová encyklopedie, <http://en.wikipedia.org/wiki/Laser>