

Stabilizace laseru

Tomáš Chalas, David Havrlant

Ústav fyziky plazmatu, Akademie Věd ČR

tomas.chalas@gnj.cz, d.havrlant10@seznam.cz

Abstrakt

Gravitační vlny jsou vlny časoprostoru způsobené nejenergetičtějšími ději, které se ve vesmíru odehrávají. I když jsou vyvolány obrovským množstvím energie, na Zemi jsou detekovány jako zachvění časoprostoru 1000x menší než je jádro atomu. Takové přesnosti měření je možné dosáhnout pomocí laserové interferometrie, která nám umožňuje detekovat dráhové rozdíly v řádech 10^{-21} m. V naší práci se snažíme o dosažení co nejlepší stability laserové diody, konkrétně její vlnové délky, pomocí upravování přiváděného proudu a teploty.

1. Úvod

Gravitační vlny jsou zcela novým způsobem, jak můžeme získávat informace o dějích ve vesmíru. Vznikají při zrychlování jakéhokoli hmotného objektu v časoprostoru. Avšak většina objektů (auta, lidi, domy,...) nemají dostatek hmotnosti ani nevyvíjí dostatečné zrychlení, aby vyvolaly gravitační vlny dostatečné velké k detekci našimi přístroji. Proto musíme spoléhat na velmi masivní objekty pohybující se obrovskými rychlostmi jako například spojení dvou černých děr, černé díry a neutronové hvězdy nebo kolize dvou neutronových hvězd. Avšak dráhové změny, které od těchto událostí pozorujeme, jsou stále v řádech 10^{-21} metrů, což je srovnatelné s pozorováním vzdálenosti od nás k Alfa Centauri, a detekování rozdílu v této vzdálenosti o tloušťce lidského vlasu¹. Proto je k jejich detekci třeba nejmodernějších technologií.

2. Jak detekovat gravitační vlny

Aktuálně nejlepší způsob jak detekovat gravitační vlny je pomocí dvou laserových paprsků, které vzájemně svírají úhel 90° , a následně na detektoru tvoří interferenční obrazec. Při průchod gravitační vlny je prostor v jednom směru natáhnut a v druhém zploštěn, což způsobí, že dráha kterou bude muset laser projít je v jednom z ramen prodloužena a v druhém zkrácena. Pokud tedy aparaturou projde gravitační vlna, budou dva lasery drobně vyhozeny z fáze. Tento fázový rozdíl je nepřímo úměrný vlnové délce laseru, takže pokud chceme měřit tyto malé vzdálenosti, je třeba zajistit co možná nestabilnější vlnovou délku (Na detektoru LIGO se používá vlnová délka 1064 nm.). Toho je možné dosáhnout díky stabilizaci laseru³.

3. Jak na stabilizaci laseru

Stabilizace laseru se lze dosáhnout dvěma metodami:

- Aktivní - část paprsku je odvedena do detektoru, který následně pomocí naměřených parametrů upraví vstupní hodnoty a tak pomůže zlepšit vlastnosti laseru.
- Pasivní - tento způsob stabilizace nezahrnuje elektronické přístroje, ale využívá čistě optických jevů.

V případě našeho projektu jsme polovodičovou laserovou diodu stabilizovali pomocí kontroly proudu a teploty.

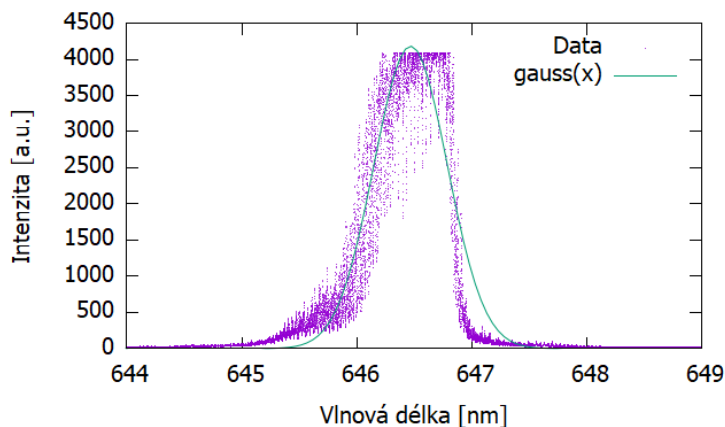
4. Měřící zapojení

Pro měření jsme používali laserovou diodu s výkonem 1W a vlnovou délkou 650 nm. Laser z diody jsme zavedli do konvexní cylindrické čočky, která nám pomohla více laserového světla nasměrovat do kolimátoru. Ten zaváděl laser do multimodového optického vlákna. Jako detektor byl použit spektrometr HyperFine HF8989-3 s rozsahem od 600 nm do 700 nm. Výstup na obrazovce měl však rozsah 10 nm a byl laditelný po celém rozsahu spektrometru pomocí šroubu, který otáčel s difrakční mřížkou.

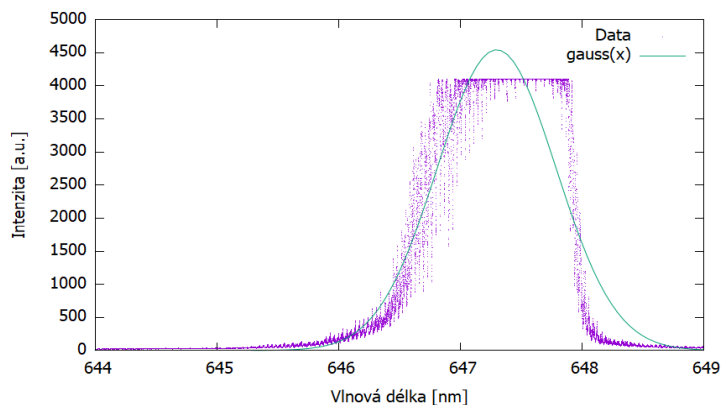
Bylo provedeno 33 měření spektra laserové diody (pro 3 různé hodnoty teploty bylo naměřeno spektrum pro 11 hodnot proudu). Tato spektra byla následně fitována Gaussovou funkcí⁴ v programu GnuPlot. Gaussova funkce má pro nás 2 důležité parametry: vrchol a , který nám určuje střední hodnotu vlnové délky pro daný proud a teplotu, a b , který je úměrný šířce křivky pro danou kombinaci proudu a teploty (V polovině výšky má křivka šířku $2,3548b$ nm).

5. Výsledky a diskuze

Z výsledků, které jsme naměřili vyplývá, že nejužší spektra vlnových délek jsou dosaženy, pokud je dioda pro stejnou hodnotu teploty (22 °C) napájena nižším proudem. To můžeme vidět na obrázcích (1.1), který odpovídá hodnotě proudu 1000 mA, a (1.2), který odpovídá hodnotě proudu 1500 mA. Šířka Gaussovy křivky na obrázku (1.1) odpovídá hodnotě $0,751\pm 0,001$ nm a pro obrázek (1.2) hodnotě $1,149\pm 0,001$ nm.



Obrázek 1.1: spektrum laserové diody pro hodnoty 1000 mA a 22 °C



Obrázek 1.2 : spektrum laserové diody pro hodnoty 1000 mA a 22 °C

Porovnáním vlnových délek při stejném proudu za jiných teplot vidíme, že se s rostoucí teplotou zvyšuje vlnová délka laseru. V teplotním rozmezí od 16,6 °C do 22,8 °C se nám vlnové délka posunula z 635,4 nm na 647,2 nm. K posunu k vyšším vlnovým délkám méně znatelně dochází i při zvyšování napětí za stálé teploty. Při hodnotě 18 °C se nám vlnová délka posunula o 0,8 nm při změně proudu z 1000 mA na 1500 mA.

Z našich měření také vyplývá, že chlazení diody nebylo dostatečně výkonné, a pokud se vzdalujeme teplotě prostředí, ve kterém se dioda nachází, tak teplota diody může velmi rychle kolísat. To nám způsobovalo nestabilitu rozdíl vlnové délky v čase a ovlivňovala i sběr spektra laserové diody v závislosti na jeho napětí.

6. Závěr

Pro stabilizaci laserové diody jsme si dali za úkol najít vhodnou kombinaci proudu a teploty, které byly k diodě přiváděné tak, aby její spektrum bylo co nejužší a zároveň stabilní v čase. Nejlepší hodnoty jsme dosáhli pro proud 1000 mA a teplotu 22 °C, kdy šířka spektra byla $0,751 \pm 0,001$ nm. Celkově z měření vyplývá, že vhodnou cestou pro užší spektrum jsou vyšší teploty a nižší hodnoty proudu. Zároveň z měření vyplývá, že se spektrum diody posouvá k vyšším vlnovým délkám pro vyšší teploty. Pro měření s teplotou kolem 15 °C jsme měli problém s dostatečným chlazením, jelikož bylo i v místnosti poměrně teplo. Proto u těchto měření nám závislosti na teplotě a napětí vychází nejméně jasné.

Zdroje:

[1] Veritasium. *The Absurdity of Detecting Gravitational Waves*

<https://www.youtube.com/watch?v=iphcyNWFD10>

[2] Dr. Rüdiger Paschotta. *Stabilization of Lasers*

https://www.rp-photonics.com/stabilization_of_lasers.html

[3] LIGO. *Why Detect Gravitational Waves*

<https://www.ligo.caltech.edu/page/why-detect-gw>

[4] Wikipedia. *Gaussova funkce*

https://cs.wikipedia.org/wiki/Gaussova_funkce