

## Úloha 4: Značkování TEA CO<sub>2</sub> laserem a měření jeho charakteristik

Datum měření: 1.4.2015  
Zpracoval: David Roesel  
Spolupracovala: Tereza Schönfeldová

Skupina: G  
Kruh: FE  
Klasifikace:

### 1 Úvod

Impulsní TEA (Transversely Excited Atmospheric) lasery jsou plynové lasery transversálně buzené elektrickým výbojem při atmosferickém tlaku. V této úloze jsme si zkusili práci s jedním z nich, ve kterém tvoří aktivní prostředí CO<sub>2</sub>. V praxi se může používat například v průmyslu na značkování velkosériových produktů, jelikož jeho špičkový výkon je dostatečný pro odpaření povrchové vrstvy některých materiálů. Proměřili jsme tedy některé jeho základní vlastnosti a vyzkoušeli si s ním značkování papíru pokrytého grafitem.

### 2 Postup a výsledky

Hlavním cílem této úlohy bylo naměřit časový průběh impulsu TEA CO<sub>2</sub> laseru a stabilitu jeho energie. Jako první jsme tedy zapnuli napájecí zdroj (24 V/7 A), osciloskop a již připojený notebook IBM, na kterém jsme po spuštění spustili ovládací program laseru. Následně jsme určili, kam bude směřovat laserový svazek, a odstranili jsme krytku z výstupní apertury laseru.

#### 2.1 Práce s laserem

Poté jsme studovali vlastnosti svazku při dopadu na některé materiály. Vzhledem k vlnové délce laseru  $\lambda = 10,6 \mu\text{m}$  svazek nebyl pro naše oči viditelný, takže jsme pro zjištění místa dopadu svazku museli použít jinou metodu detekce. Tou byl v tomto případě papírek pokreslený obyčejnou tužkou. Do přibližné dráhy svazku jsme umístili fokusační čočku a když jsme tento papírek umístili do dráhy svazku, pulz na něm zanechal větší či menší stopu odpařením vrchní vrstvy tuhy. V případě, že jsme papírek umístili do ohniska čočky, byla dopadající intenzita dokonce tak veliká, že se v daném bodě papírek protrhnul. Dále jsme kromě papírku do svazku na popud asistenta zkusili umístit také ruce a pozorovali jsme, že každý pulz zanechal jasně patrné místo dopadu. Na kůži byla pozorovatelná malá spálenina vlivem toho, že voda na této vlnové délce velice dobře absorbuje energii. I z tohoto důvodu není tento druh laseru tak nebezpečný při posvícení do očí, jelikož voda, která se nachází na začátku očního ústrojí, absorbuje všechnu energii, ještě než se stihne dostat na kritická místa.

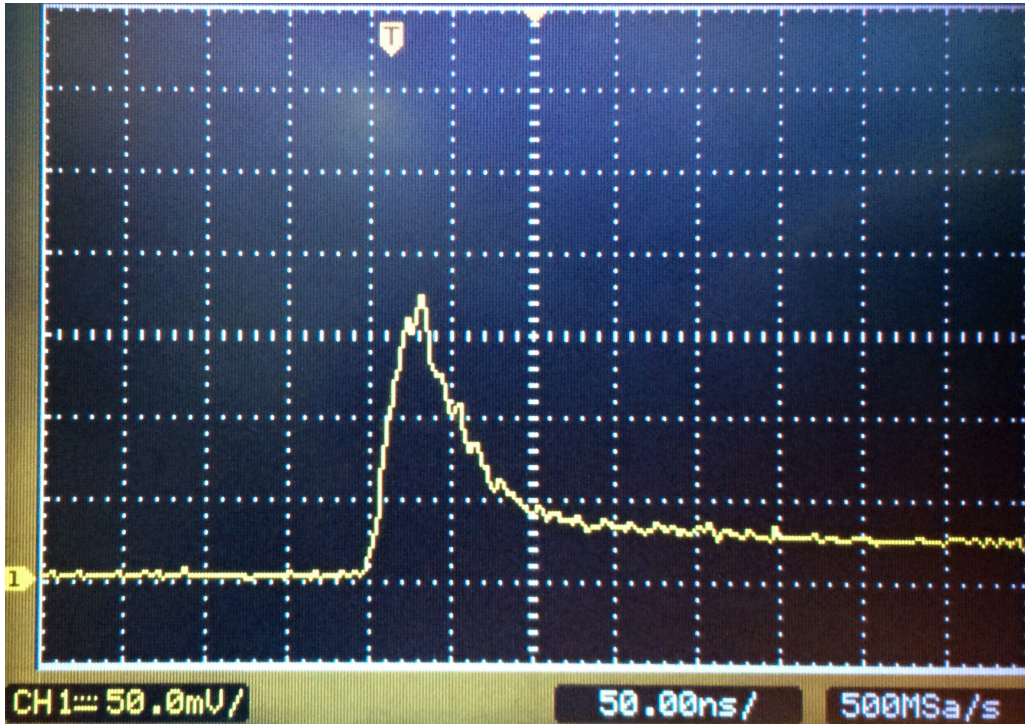
#### 2.2 Proměřování průběhu pulzů

K dispozici jsme měli dva detektory - jeden na měření časového průběhu pulsů a druhý na měření jejich energie. Ten první jsme tedy umístili na stojánek přibližně deset centimetrů od pozorovaného ohniska čočky (tedy zhruba 1,2 m od výstupní apertury laseru) a nastavili ho

tak, aby do něj směřovaly impulzy laseru. S pomocí asistenta jsme následně nastavili osciloskop do režimu pro záznam a pamatování si rychlých průběhů (rozlišení času 50 ns/dílek). Po odpovídajícím nastavení spouštěcí úrovně jsme na osciloskopu sledovali průběhy jednotlivých pulzů. U jednoho z nich jsme změřili pološířku 1. maxima v časovém průběhu jako

$$\tau_{FWHM} = 50 \text{ ns.}$$

Jiný z průběhů jsme zaznamenali na mobilní telefon a je uveden na Obr. 1.



Obrázek 1: Zaznamenaný tvar pulsu na osciloskopu při sledování rychlých průběhů; jeden dílek odpovídá na horizontální ose 50 ns a na vertikální ose 50 mV.

Následně jsme rozsah nastavili na 500 ns a sledovali jsme, jaké je trvání celého pulsu, tedy za jaký čas od nástupu pulsu se hodnota napětí vrátí zpět na nulu. Tuto dobu jsme pro jeden z pulzů určili na

$$\tau_c = 3,25 \mu\text{s.}$$

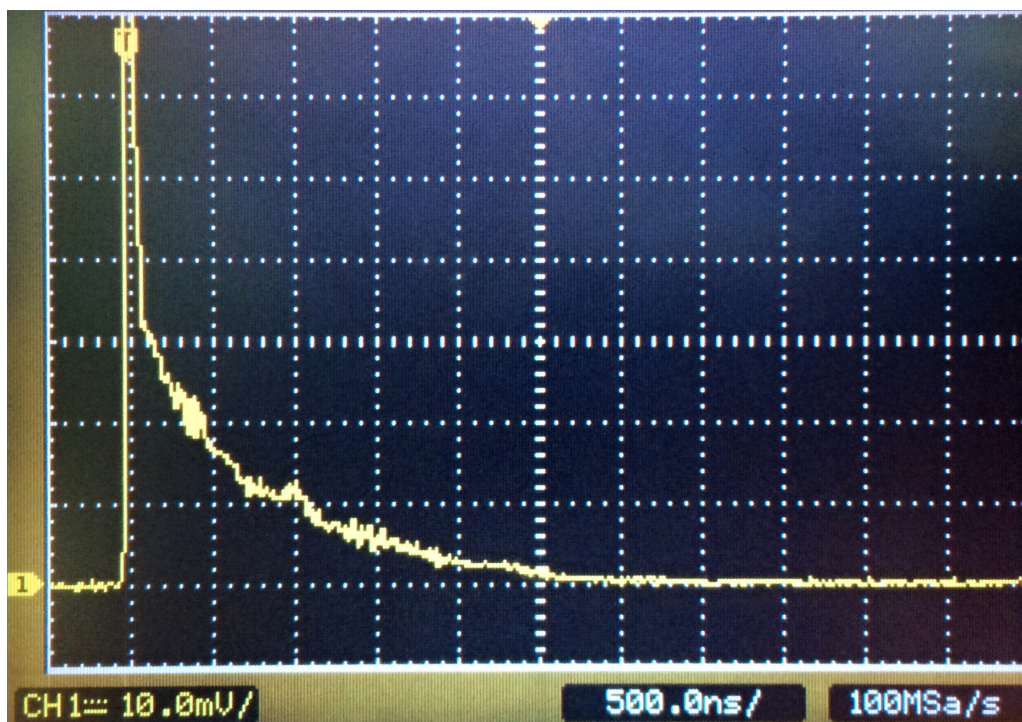
Jiný z průběhů jsme opět zaznamenali na mobilní telefon a je uveden na Obr. 2.

### 2.3 Měření stability laserové energie v čase

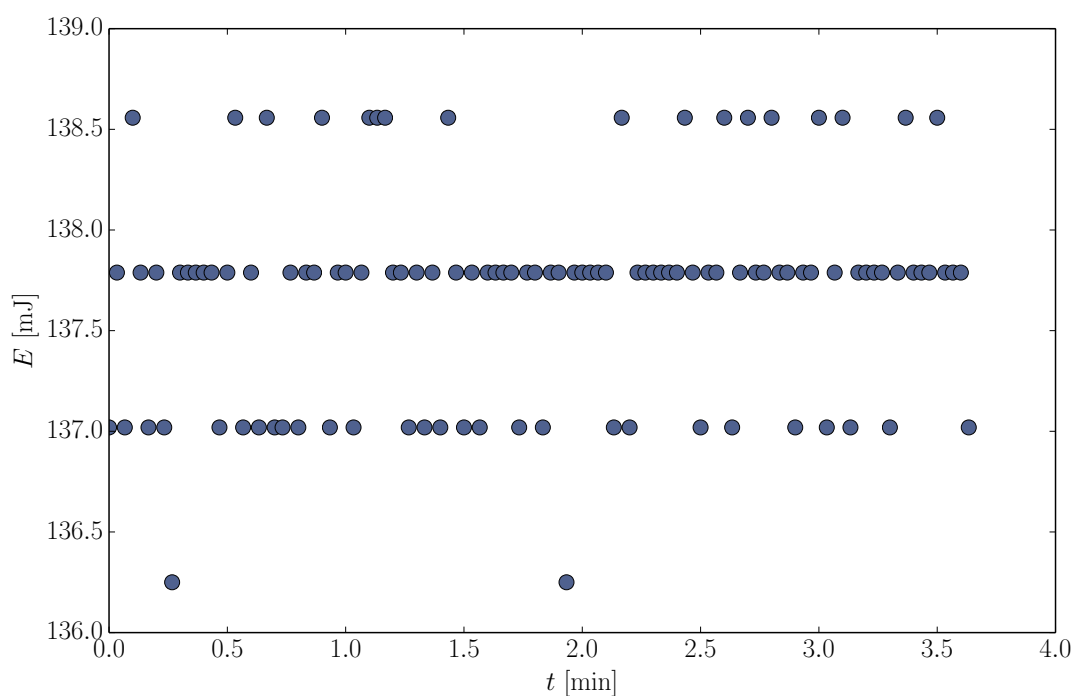
Poté jsme první detektor nahradili druhým a nastavili jsme ho tak, aby laserové pulsy dopadaly mimo střed detektoru, který jedna z předchozích skupin poškodila. Detektor jsme z tohoto důvodu opět umístili přibližně 10 cm od ohniska čočky. Tímto detektorem jsme měřili energii jako přepočít z napětí ukazovaného na osciloskopu. Podle parametrů detektoru byl přepočít z napětí na energii proveden podle vztahu  $10,4 \text{ V} = 1 \text{ J}$ . Osciloskop jsme nastavili pro záznam pomalých průběhů (10 ns/dílek) a s frekvencí 0,5 Hz jsme zaznamenávali průběh pulzů. Na osciloskopu jsme si také nechali vypisovat maximální naměřené napětí za daný puls a toto jsme odečítali v závislosti na čase pro 110 pulzů.

Naměřené hodnoty napětí byly pouze čtyři různé. Tyto jsme následně přepočítali na energii a vynesli do grafu na Obr. 3. Pro ilustraci jsme také sestavili histogram naměřených hodnot energií, viz Obr. 4. Průměrná hodnota energie pulzů  $\bar{E}$  s rozptylem  $\sigma_{\bar{E}}$  nám vyšla

$$(\bar{E} \pm \sigma_{\bar{E}}) = (137,6835 \pm 0,0002) \text{ mJ.}$$



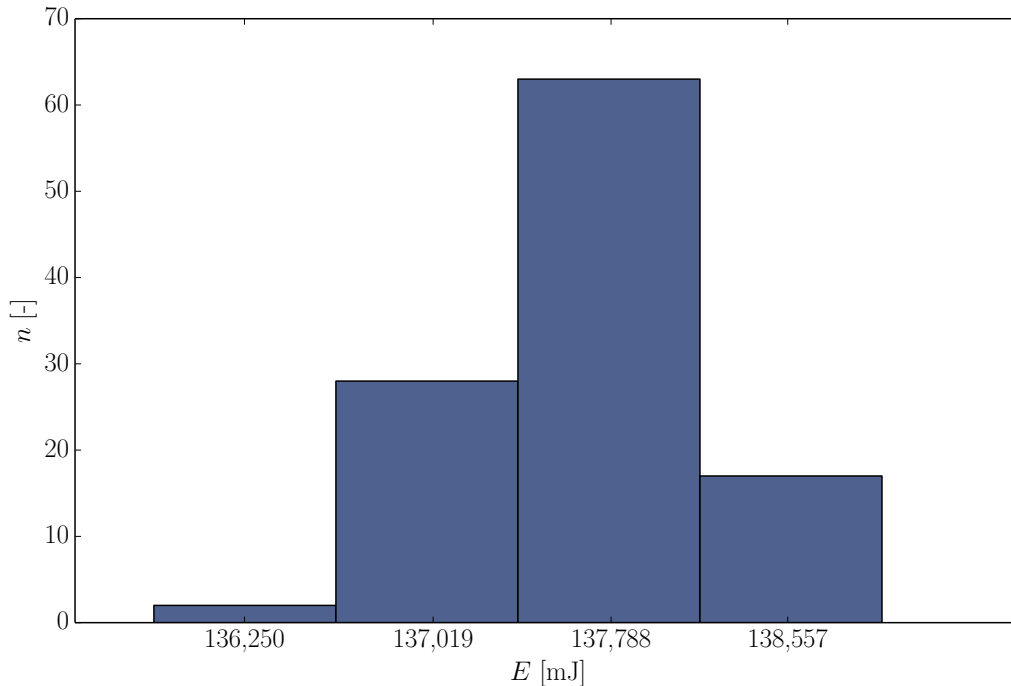
Obrázek 2: Zaznamenaný tvar pulsu na osciloskopu při sledování rychlých průběhů; jeden dílek odpovídá na horizontální ose 500 ns a na vertikální ose 10 mV.



Obrázek 3: Vypočítané hodnoty pro energetickou stabilitu laseru; závislost špičkové energie pulsu  $E$  dopadající na detektor na čase  $t$ .

## 2.4 Značkování papíru

Jako poslední část měření jsme si měli za úkol vyzkoušet přímo značkování papíru pokrytého grafitem. Z optické lavice jsme odstranili detektor a místo něj jsme mezi čočku a laser přidali nástavec na vkládání masky. Před vlastním značkováním bylo nejprve třeba si vypočítat do jakých vzdáleností je potřeba umístit vzor (masku) a obraz (značkováný papír). To jsme učinili



Obrázek 4: Histogram naměřených hodnot špičkové energie pulsu  $E$  dopadající na detektor v rozsahu zhruba 4 minut,  $n$  je počet výskytů dané hodnoty.

velice snadno kombinací zobrazovací rovnice

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{a'} = \frac{1}{f},$$

kde  $a$  je vzdálenost od čočky ke vzoru,  $a'$  vzdálenost od čočky k obrazu a  $f$  ohnisková vzdálenost čočky. V kombinaci se vztahem pro příčné zmenšení  $m$  ze zadání [1]

$$a = ma'$$

snadno při volbě  $m$  a znalosti  $f$  dopočítáme potřebné vzdálenosti obrazu a vzoru. Například pro příčné zmenšení  $m = 3$  a námi odečtenou ohniskovou vzdálenost čočky  $f = 25,4$  cm byla vzdálenost vzoru  $a = 88,9$  cm a vzdálenost obrazu  $a' = 35,6$  cm. Vzdálenosti odpovídající ostatním zmenšením není složité dopočítat analogicky, ale bylo třeba zvážit, jaké hodnoty si můžeme volit, jelikož se na optickou lavici při volbě  $m \geq 3$  již nevešla aparatura. Poté co jsme nastavili čočku, masku i tyčku se záznamovým papírkem už stačilo jen na masce zalepit volná místa, která ještě zasahovala do šířky svazku a například deseti pulzy vyznačkovat do záznamového papírku příslušné písmenko.

### 3 Diskuse a závěr

Zajímavostí u této úlohy byla krátká diskuse nad starší verzí stejného typu laseru, který byl u úlohy vystaven. Během úlohy jsme také diskutovali možnost zafoksování svazku dostatečně na to, abychom tvořili jiskry přímo ve vzduchu bez potřeby cílového terčiku v podobě papírku s vrstvou grafitu.

Při proměřování tvaru pulsů byly hodnoty mezi jednotlivými pulsy téměř neměnné, nevádí tedy, že jsme uvedli z osciloskopu jiné obrázky, než ze kterých jsme měřili šířku v polovině maxima a celkovou délku jednoho pulsu. Doba trvání jednoho pulsu je zhruba s přesností

jednoho dílku, jelikož je těžké posoudit, kdy už se opravdu jednalo o nulovou hodnotu a kdy se k nule jen blížila.

Energeticky byl laser velice stabilní, vzhledem k tomu, že jsme naměřili pouze čtyři hodnoty energie, které od sebe byly pouze minimálně vzdáleny. Tomu odpovídá i střední kvadratická odchylka hodnot, která se pohybuje na sedmé platné cifře naměřeného průměru. Tento fakt připisujeme tomu, že byl laser čerstvě naplněn plynem a měl tedy velice dobré vlastnosti.

Při značkování jsme si vyzkoušeli zapsat několik slov a čísel za několika různých přiblížení. Je vhodné poznamenat, že masku bylo třeba umístit dostatečně daleko (řádově centimetry) od výstupní apertury laseru, aby nedošlo k jejímu znečištění vlivem odpařování materiálu z masky.

## Reference

- [1] *Návod k úloze 4 - Značkování TEA CO<sub>2</sub> laserem a měření jeho charakteristik* [online], [cit. 5. dubna 2015],  
<http://people.fjfi.cvut.cz/blazejos/public/ul4.pdf>