

# Generace a zesilování ultrakrátkých laserových pulsů

Jiří Beran – VOŠ a SPŠE, Olomouc –

[mr.beba@gmail.com](mailto:mr.beba@gmail.com)

Petr Vaněk – Gymnázium Mikuláše Koperníka, Bílovec –

[petrr.vanekk@gamil.com](mailto:petrr.vanekk@gamil.com)

Oldřich Vlašic – Gymnázium tř. Kpt. Jaroše 14, Brno –

[oldrichvlasic@gmail.com](mailto:oldrichvlasic@gmail.com)

Libor Martínek – Gymnázium tř. Kpt. Jaroše 14, Brno –

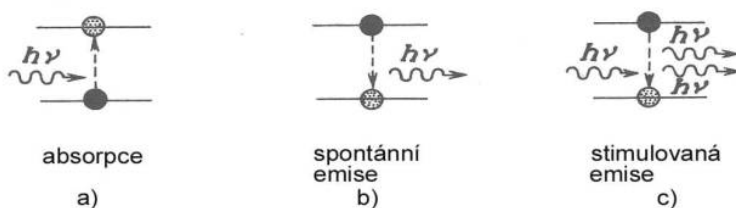
[libas@acco.cz](mailto:libas@acco.cz)

## Abstrakt:

Cílem našeho miniprojektu bylo seznámení se s lasery, s generací laserového záření a zvláště pak s ultrakrátkými pulsy o velké intenzitě. Laboratorní práce spočívala v určení nejkratší doby pulsu na daném zařízení.

## Úvod

Princip fungování laseru:



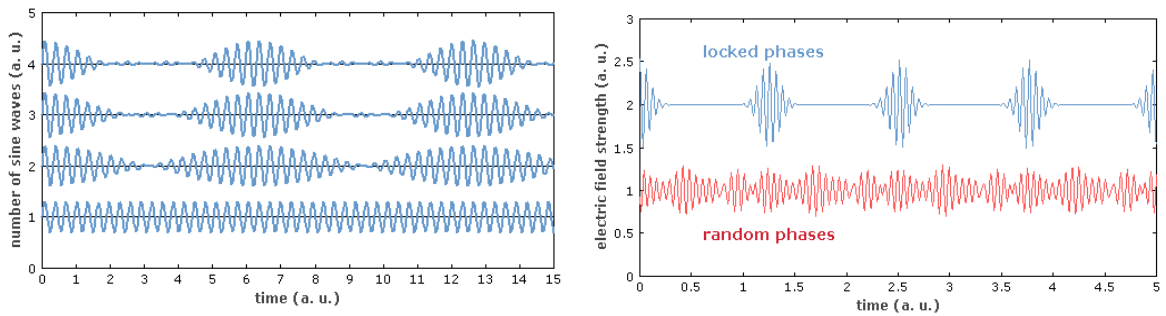
Mějme prostředí vhodné látky. Pouštíme do ní proud fotonů, který interaguje s atomy, přičemž je excituje. Principem laseru je efekt stimulované emise, kdy do již excitovaného atomu narazí foton, čímž vybudí další, který má stejný směr a energii. Foton o vhodném směru se odráží od zrcadel a dochází ke geometrickému nárůstu.

Při generování ultrakrátkých pulsů dojde je potřeba v rezonátoru dosáhnout mode-lockingu, při němž se určité módy rezonátoru dostanou do konstrukce v jeden určitý čas.

Takové lasery pracují s širokým spektrálním pásmem (mnoha módy) a díky tomu lze získat velmi krátký puls s vysokým špičkovým výkonem. Hlavní výhodou je možnost při zřetření získat extrémní intenzitu:

$$I = P / S \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2}]$$

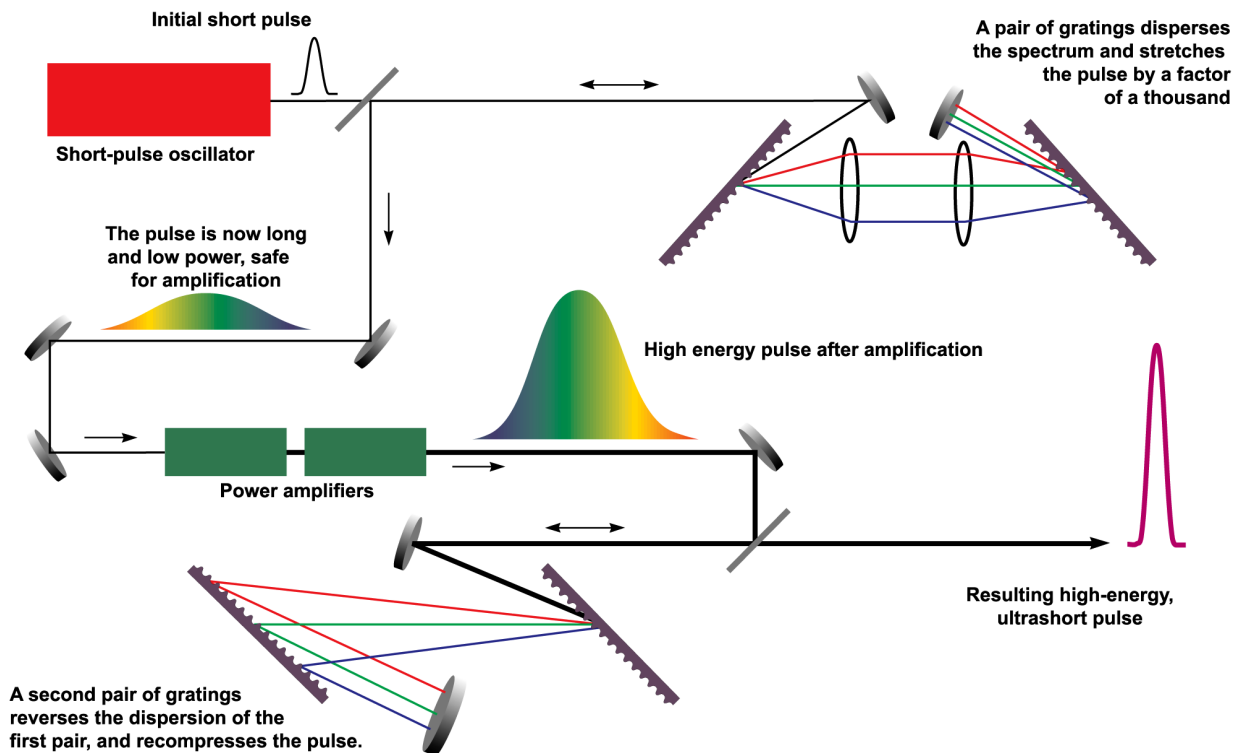
### Princip skládání ultrakrátkého pulsu metodou mode-locking



## Metoda CPA (Chirped-pulse amplification)

Základní problém při zesilování ultrakrátkých pulsů je vysoká intenzita, díky které dochází v zesilovacích médiích či na ostatních optických prvcích nelineárním jevům nebo dokonce k jejich poškození. Kvůli tomu se musí krátký puls roztáhnout za účelem snížení intenzity, díky čemuž je možné ho bezpečně zesílit.

Schéma laseru

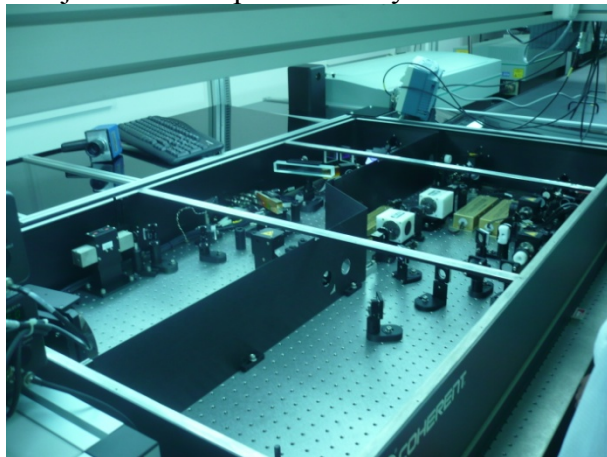


CPA používá difrakční element, například mřížku, díky níž jsou různé spektrální čáry nuceny urazit různou vzdálenost, a tím je paprsek prodloužen v čase, takové zařízení se nazývá *stretcher*. Po zesílení takto prodlouženého pulsu je použit optický *kompresor*, jenž je reciproční člen ke *stretcheru*. Čímž zkrátí puls na optimálně stejnou délku jako před roztážením.

## Použitý laserový systém

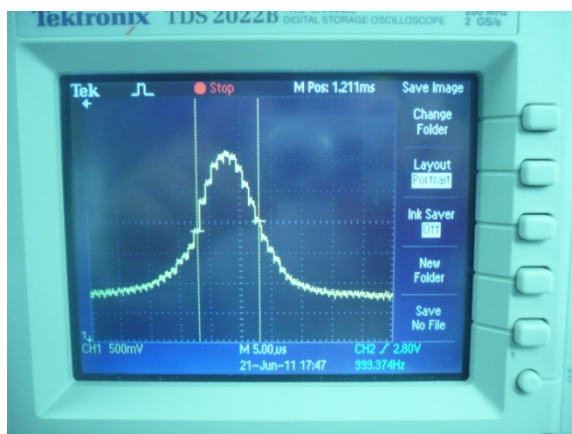
Pulsy se generují v mode-locked Ti:Safírovém oscilátoru, s délkou 30 fs s šířkou spektra 50 nm a opakovací frekvencí 76,5 MHz. Puls je dále zaveden do stretcheru, kde je frekvenčně rozmítnut (roztažen) na 250 ps. Tento prodloužený puls je injektován do regenerativního zesilovače a je zesílen z cca. 4 nJ na 1,8 mJ s opakovací frekvencí 1 kHz. Poté je puls ve čtyřprůchodovém zesilovači zesílen až na energii 1,2 J. Ten je zaveden do vakuového kompresoru, kde se puls zkrátí na 40 fs s energií 900 mJ.

Tím je dosaženo špičkového výkonu 25 TW.



## Měření délky Pulsu

Praktickou částí naší práce, bylo měření délky pulsu pomocí hodnot zjištěných z autokorelátoru zobrazeného na osciloskopu a FROGu.



Osciloskop

Provedli jsme kalibraci autokorelátoru pomocí vzájemného zpoždění pulsů. Na osciloskopu jsme změřili, že:  $150\mu\text{s} \approx 2.125\mu\text{m}$

**Znamé a naměřené hodnoty:**

$$c = 3.10^8 \text{ ms}^{-1}$$

$$t = \frac{2s}{v} = \frac{2.125 \cdot 10^{-6}}{3.10^8} = 833 \text{ fs}$$

Tedy  $250\mu\text{m}$  odpovídá dráze, kterou světlo urazí za 833 fs. Z čehož vyplývá:

$$150 \mu\text{s} \approx 833 \text{ fs}$$

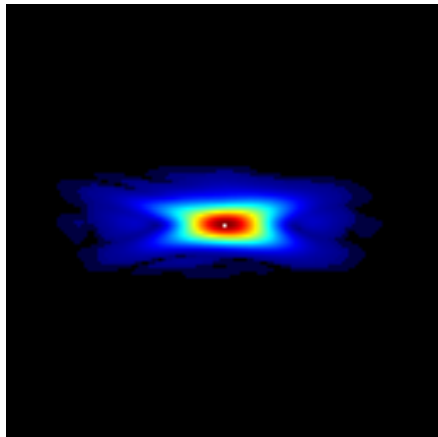
$$1 \mu\text{s} \approx 5,5 \text{ fs}$$

Nejkratší puls, který jsme změřili na single shot autokorelátoru na osciloskopu byl  $10,6 \mu\text{s}$ , což odpovídá  $10,6 \cdot 5,5 = 58,3 \text{ fs}$  a pro Gaussovský průběh pulsu je potřeba vydělit výsledek dekonvolučním faktorem  $\sqrt{2}$ , puls má tedy  $41,22 \text{ fs}$ .

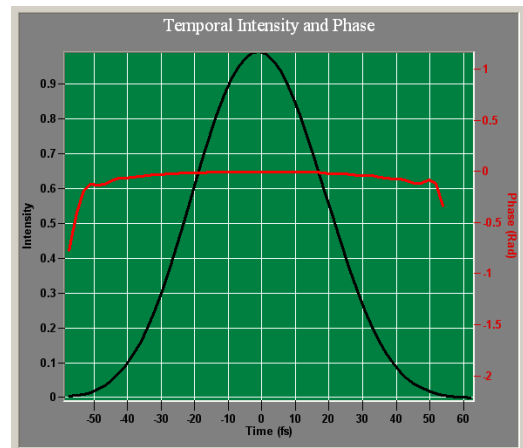
## **FROG** (Frequency Resolved Optical Gating = frekvenčně rozlišené optické klíčování)

Funguje podobně jako autokorelátor, jen dokáže změřit spektrum generované nelineárním prvkem pro dané zpoždění pulsů. Výsledek měření je tedy 2D mapa, kde na jedné ose je zpoždění  $t$  a na druhé frekvence (popř. vlnová délka) – iterativním algoritmem pak nalezneme nejpravděpodobnější puls (amplitudu i fázi všech frekvenčních složek), který takový obrazec vytvoří.

Výsledek jsme ověřili metodou FROG.



*Výstup diagnostiky FROG*



*Výsledek časový průběh průběh intenzity a fáze.*

Naměřená hodnota délky pulsu byla 45 fs. Jak je vidět z výsledného grafu, fáze je poměrně přímá, tudíž je rekonstrukce frekvenčně rozmítnutého (chirp) pulsu poměrně kvalitní a neprojevují se v ní výraznější disperze vyšších řádů.

## **Závěr**

Naši práci jsme vykonávali na vědeckém pracovišti PALS, kde jsme se důkladně seznámili s fungováním laserů, generováním ultrakrátkých laserových pulsů a jejich zesilování pomocí metody CPA. Dále seznámili se způsobem měření takto krátkých pulsů pomocí autokorelací a FROG metody. Díky takovým laserům je možné generovat vysoké harmonické nebo měkké rentgenové lasery (viz skupina 17), urychlovat částice iontů a elektronů (viz skupina 18) a dále zkoumat astrofyzikální jevy. V budoucnu se můžeme těšit na nejintenzivnější systémy (10 PW), které budou ve středisku ELI poblíž Prahy.

## **Poděkování**

Rádi bychom zde poděkovali hlavně FZÚ AV ČR a badatelskému pracovišti PALS. Zvláště pak Janu Hřebíčkoví, který plnil roli našeho supervizora. Dále pak našim sponzorům, kteří neexistují, škoda.

## **Reference:**

- [1] JAN HŘEBÍČEK: *Femtosecond Lasers*
- [2] JAROSLAV NEJDL: *Určení délky pulsu*
- [3] JAN HŘEBÍČEK: *TiSapphire Lab*