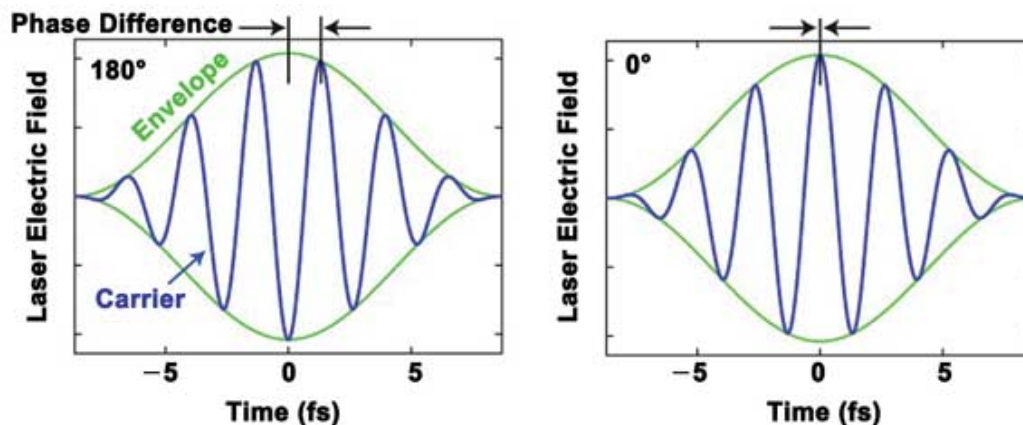


# Stavba f-2f interferometru pro detekci fáze ultrakrátkých optických pulzů

Vedoucí: Martin Kozák ([kozak@karlov.mff.cuni.cz](mailto:kozak@karlov.mff.cuni.cz)), KCHFO MFF UK

Rozvoj laserové technologie v posledních letech umožnil generaci ultrakrátkých laserových pulzů, které obsahují pouze několik kmitů optického pole. Takové pulzy se používají zejména pro výzkum ultrarychlých procesů v atomech, molekulách a pevných látkách, pro generaci attosekundových pulzů ve vzdálené ultrafialové spektrální oblasti, a díky enormní šířce spektra také jako femtosekundové frekvenční hřebeny v metrologii. Pro většinu těchto aplikací je nutné kontrolovat nejen obálku (intenzitu světla), ale také fázi elektromagnetického pole jednotlivých pulzů.

Tento studentský projekt je zaměřen na stavbu experimentálního uspořádání tzv. f-2f interferometru, který bude sloužit k detekci fáze ultrakrátkých laserových pulzů. V tomto interferometru se podobně jako v klasickém interferometru skládají dvě optické vlny. Díky šířce spektra ultrakrátkých pulzů, které bude ještě dále rozšířeno pomocí nelineárně-optických jevů, je možné detekovat interferenci mezi krátkovlnnou částí spektra původního pulzu a dlouhovlnnou částí spektra pulzu na druhé harmonické frekvenci generovaného v nelineárním krystalu. V rámci projektu bude f-2f interferometr navržen, postaven a otestován v laboratoři.



## Literatura:

1. R. Boyd, Nonlinear Optics, Academic Press 2003.
2. F. X. Kärtner: Few-Cycle Laser Pulse Generation and Its Applications, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2004.
3. Vybraná časopisecké literatura.

# Modulární laserový systém pro širokou spektrální laditelnost

Vedoucí: prof. RNDr. Petr Němec, Ph.D. ([nemec@karlov.mff.cuni.cz](mailto:nemec@karlov.mff.cuni.cz)), KCHFO MFF UK  
Konzultant: Mgr. Miloš Surýnek, KCHFO MFF UK

Široká spektrální laditelnost zdroje světla je nezbytným parametrem v mnoha oblastech optiky. Pro běžná spektroskopická měření lze využít jednoduché lampy v kombinaci s monochromátorem. Tento typ osvětlení je však nevhodný pro složitější aplikace (jako např. Kerrovská mikroskopie, magnetooptické měření či interferometrie) vzhledem k nízké intenzitě i stupni koherence. Pro tyto účely je nutné mít k dispozici intenzivní zdroj světla na bázi laseru, laditelný v širokém spektrálním oboru. Jednoduchým a účelným řešením tohoto problému je modulární diodový systém studovaný v tomto projektu, který umožňuje pokrýt velkou škálu vlnových délek (v rozmezí 400 – 1600 nm) pomocí diskretní sady laserových diod [1].

Používané laserové diody jsou prakticky monochromatickými zdroji světla. Jsou vysoce stabilní z hlediska intenzity díky sofistikované zpětnovazební kontrole pomocí fotodiód a teplotní stabilizaci ve speciálním modulu. Jelikož však každá z diód funguje na odlišném principu (materiál, typ rezonátoru apod.), liší se i parametry generovaných svazků. Cílem tohoto projektu je uvedení do provozu, charakterizace a prvotní využití modulárního diodového systému od firmy Thorlabs. Projekt bude zaměřen zejména na tvarování a charakterizaci laserových svazků generovaných různými diodami pomocí speciální sady optiky (asférických čoček a kompenzačních hranolů) [2]. Získané výsledky budou tvořit základ pro využití tohoto systému v nově budované magneto-optické laboratoři. V případě zájmu budou možné v rámci projektu otestovat jeho funkcionalitu v prvních magneto-optických měřeních [3].



## Literatura:

1. manuály k modulárnímu systému a internetové tutoriály  
[https://www.thorlabs.de/NewGroupPage9.cfm?ObjectGroup\\_ID=2437](https://www.thorlabs.de/NewGroupPage9.cfm?ObjectGroup_ID=2437)
2. E. Hecht: „Optics“, Addison Wesley, San Francisco (2002)
3. A. K. Zvezdin, V. A. Kotov, „Modern Magnetooptics and Magneto-optical Materials“, Institute of Physics Publishing, Bristol/Philadelphia (1997).

# Měření ultrakrátkých laserových pulzů metodou SPIDER

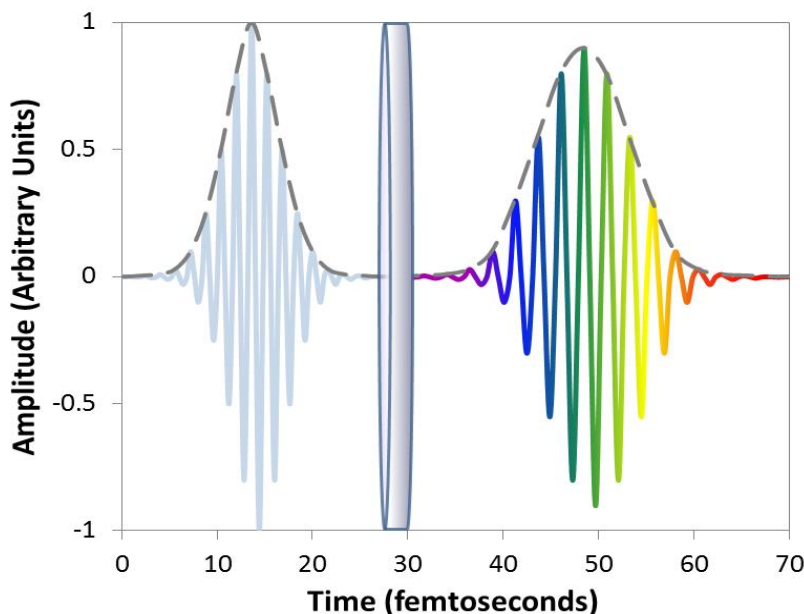
Vedoucí: Doc. RNDr. František Trojánek, Ph.D., KCHFO MFF UK

Konzultant: Mgr. Martin Zuckerstein ([martinzuckerstein@seznam.cz](mailto:martinzuckerstein@seznam.cz)), KCHFO MFF UK

Nejkratší pulzy na optických frekvencích, které lze generovat lasery, dosahují hodnot přibližně  $4,5 \text{ fs}$  ( $1 \text{ fs} = 10^{-15} \text{ s}$ ), což představuje pouze necelé dva optické cykly. K prolomení této rekordní hranice je již zapotřebí zcela jiných metod, jako je například generace vysokých harmonik, díky které je možné získat pulzy až o 2 řády kratší. Laboratoř KCHFO je vybavena zcela novým laserovým systémem Rainbow CEP4 Pro, který dokáže generovat optické pulsy o délce  $< 7 \text{ fs}$  na centrální vlnové délce  $800 \text{ nm}$ . Světlo za tuto dobu urazí pouze  $2 \mu\text{m}$ .

Takto krátké pulzy pokrývají velmi širokou spektrální oblast ( $> 300 \text{ nm}$ ), což kvůli disperzi prakticky znemožňuje použití klasických optických elementů. Pouhým průchodem skla o tloušťce  $10 \text{ mm}$  se pulz roztáhne na více než  $100 \text{ fs}$ .

Cílem projektu bude charakterizace vybraných optických elementů (disperzní zrcadla, polarizátory, děliče svazku, fázové destičky apod.) pomocí analýzy spektrální fáze měřené před a po průchodu pulzu optickým elementem technikou SPIDER (*spectral phase interferometry for direct electric-field reconstruction*). Spolu s délkou pulzu a průběhu spektrální fáze toto zařízení umožňuje měřit disperzi nejenom druhého řádu, ale i vyšších řádů. Bez dokonalé kompenzace vyšších řádů disperze délky pulzů v oblasti několika optických cyklů nelze dosáhnout.



## Literatura:

1. [https://en.wikipedia.org/wiki/Spectral\\_phase\\_interferometry\\_for\\_direct\\_electric-field\\_reconstruction](https://en.wikipedia.org/wiki/Spectral_phase_interferometry_for_direct_electric-field_reconstruction)
2. [http://www.spectra-physics.com/assets/client\\_files/files/documents/datasheets/Rainbow2%20Datasheet.pdf](http://www.spectra-physics.com/assets/client_files/files/documents/datasheets/Rainbow2%20Datasheet.pdf)
3. P. Malý: Optika, Karolinum, 2008.

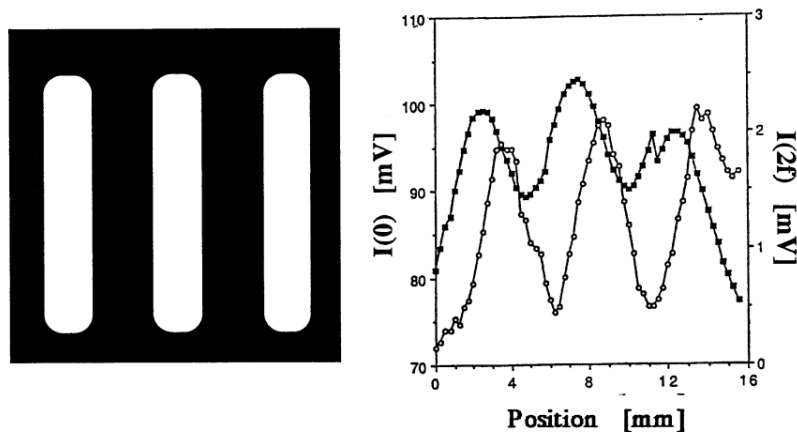
# Jak vidět skrz neprůhledné médium pomocí fotoelastického modulátoru

Vedoucí: prof. RNDr. Petr Němec, Ph.D., KCHFO MFF UK

Konzultant: Mgr. Miloslav Surýnek ([surynek@karlov.mff.cuni.cz](mailto:surynek@karlov.mff.cuni.cz)), KCHFO MFF UK

Fotoelastický modulátor (Photo-Elastic Modulator PEM), je optické zařízení umožňující dynamicky modulovat polarizační stav světla. Toto zařízení je díky svým unikátním vlastnostem používáno v mnoha různorodých vědeckých experimentálních uspořádání (např. pro studium nových datových médií pomocí magnetooptických metod, pro biofyzikální výzkum apod.) a také v technicky pokročilých průmyslových odvětvích včetně armádních a kosmických aplikací [1]. Princip fungování PEM je založen na fotoelastickém efektu, což je dvojlom vyvolaný mechanickým namáháním vhodného materiálu úměrný míře tohoto namáhání.

K tomu, aby mohl pozorovatel pozorovat nějaký předmět, musí světelné paprsky procházet přímo od sledovaného předmětu do pozorovatelových očí. Pokud však příslušný předmět sledujete přes nějaké zakalené prostředí (mlha, mořská voda, mléko apod.), na částicích tohoto prostředí dochází k mnohonásobnému rozptylu a pozorovatel přestává předmět vidět, neboť ztrácí informaci, odkud světelné paprsky přicházejí. Přes zakalené médium je však možné vidět a to právě za použití PEM. To bylo ukázáno v článku [2], kde autoři byly schopni rozlišit štěrbinu na mřížce pozorováním změny stupně polarizace rozptýleného světla (viz. obr). Cílem tohoto projektu je experimentální realizace podobného experimentu, avšak modifikovaného o možnost 2-dimenzionálního skenování. Díky tomu tak bude možné pozorovat příslušné kontrastní mapy různých objektů a v různých prostředích.



Obr.: Pozorovaný předmět v neprůhledném prostředí a naměřený kontrast.

## Literatura:

1. Webová prezentace Hinds Instruments.

<http://www.hindsinstruments.com/knowledge-center/technology-primer/>

2. Seeing Through Foggy Media with Phase-Modulated Light (M. Silverman, 1998).

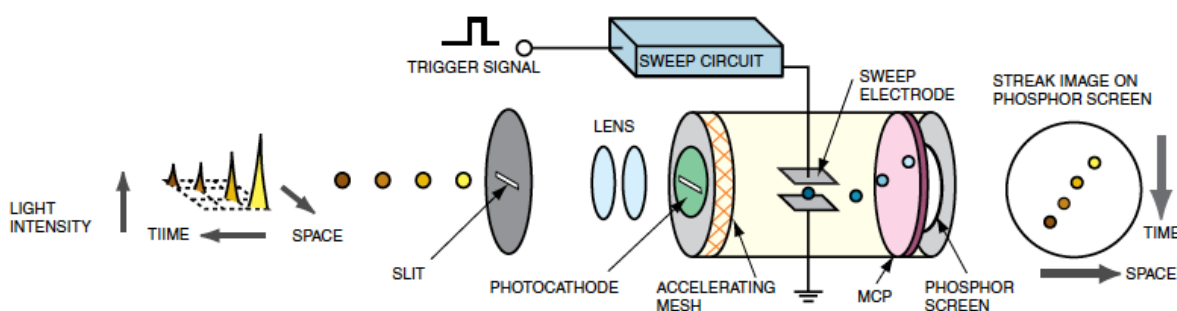
# Měření doznívání luminiscence se Streak kamerou a hradlovanou emICCD kamerou

Vedoucí: Doc. RNDr. František Trojánek, Ph.D., KCHFO MFF UK

Konzultant: RNDr. Tomáš Chlouba ([Tomas.Chlouba@mff.cuni.cz](mailto:Tomas.Chlouba@mff.cuni.cz)), KCHFO MFF UK

PI-MAX 4 je nejmodernější emICCD kamera, jejíž citlivost je na úrovni jednotlivých fotonů. Kamera je k dispozici v laserových laboratořích na Katedře chemické fyziky a optiky. Jedná se o CCD kameru s dvojnásobným zesílením (hradlovaný zesilovač světla & násobení elektronů na CCD čipu). Kamera je zároveň hradlovaná, to znamená, že disponuje schopností časového rozlišení na úrovni nanosekund. Streak kamera od Hamamatsu je naproti tomu standardní nástroj na měření časově rozlišené luminiscence. Princip fungování časového rozlišení u streak kamery a emICCD kamery je odlišný.

Cílem projektu je porovnat schopnosti časového rozlišení obou těchto přístrojů na modelovém vzorku.



## Literatura:

1. [https://en.wikipedia.org/wiki/Charge-coupled\\_device](https://en.wikipedia.org/wiki/Charge-coupled_device)
2. [https://en.wikipedia.org/wiki/Streak\\_camera](https://en.wikipedia.org/wiki/Streak_camera)
3. <http://www.princetoninstruments.com/products/PI-MAX4-emICCD+>
4. P. Malý: Optika, Karolinum, Praha 2008

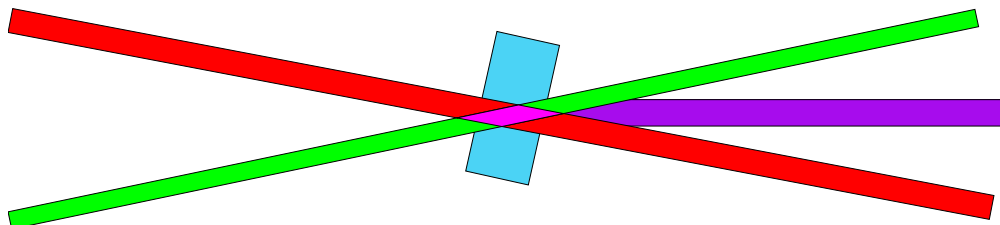
# Využití nelineárních jevů k laditelnosti vlnové délky laserového záření

Vedoucí: Martin Kozák, KCHFO MFF UK

Konzultant: Mgr. Miroslav Martínek (martinekmirek@seznam.cz), KCHFO MFF UK

S objevem nelineárních optických jevů se ukázalo, že při vyšších světelných intenzitách lze pozorovat nové jevy při průchodu světla prostředím. Mimo jiné tyto jevy umožňují přímo ovlivňovat jeden světelný svazek jiným. Hlavní využití nachází nelineární optika v laserové technologii, zejména se používá pro ladění frekvence femtosekundových laserových pulzů pomocí generace součtové, rozdílové či druhé harmonické frekvence. Nelineární optické jevy umožňují také generovat velice krátké laserové pulzy obsahující pouze několik kmitů elektromagnetického pole.

V rámci tohoto projektu se student nejprve teoreticky seznámí s nelineárními jevy druhého řádu se zvláštním zaměřením na nekolineární optickou parametrickou generaci. Pomocí tohoto jevu bude nejprve teoreticky a poté experimentálně studovat možnosti generace ultrakrátkých laserových pulzů pomocí laserů dostupných na Katedře chemické fyziky a optiky. Hlavním cílem bude určit možná schémata dovolující generovat široké spektrum frekvencí, které umožní stlačení pulzu na několik femtosekund.



Obr: Schématické znázornění jak ze dvou laserových paprsků (zeleného a červeného) vzniká fialový

## Literatura:

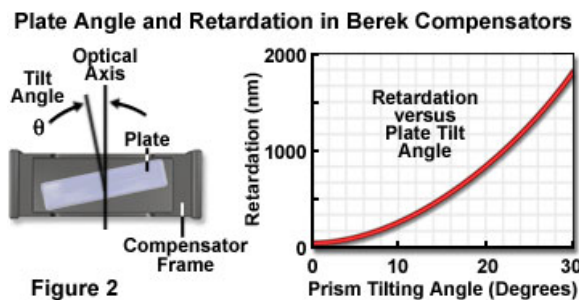
1. P. Malý: Optika, Karolinum, Praha 2008
2. B. E. A. Saleh, M. C. Teich: Základy fotoniky 3, Matfyzpress, Praha 1991
3. B. E. A. Saleh, M. C. Teich: Základy fotoniky 4, Matfyzpress, Praha 1994

# Charakterizace Berekova polarizačního kompenzátoru

Vedoucí: prof. RNDr. Petr Němec, Ph.D., KCHFO MFF UK

Konzultant: Mgr. Vít Saidl ([saidl@karlov.mff.cuni.cz](mailto:saidl@karlov.mff.cuni.cz)), KCHFO MFF UK

Jedním ze základních vlastností světla jakožto elektromagnetického záření je jeho polarizace. Přestože k polarizaci světla je lidské oko necitlivé, s jejími projevy se setkáváme v každodenním životě (např. při použití polarizačních brýlí k potlačení odrazů, v LCD displejích, 3D technologiích v kině a mnoho jiných). Ve vědeckých aplikacích nám změna polarizace světla po průchodu či odrazu od materiálu může poskytnout cenné informace o jeho mikroskopické struktuře. Měření takových změn, které mohou být v realitě velmi malé, je však velmi obtížný úkol, který vyžaduje přesné definování polarizačního stavu vstupního a výstupního světelného svazku. Jedním z optických prvků, který umožňuje vytvořit libovolný polarizační stav (kruhovou, lineární i obecnou eliptickou polarizaci) v široké spektrální oblasti, je Berekův kompenzátor.



*Berekův kompenzátor funguje na principu natáčení osy dvojlomného krystalu vůči směru šíření světla, čímž lze ladit vzájemné fázové zpoždění jednotlivých složek vektoru elektrického pole, a tedy měnit polarizaci světla.*

V tomto projektu se student nejprve detailně seznámí s teoretickým popisem a principy určení polarizačního stavu světla. Ty budou poté aplikovány na charakterizaci Berekova kompenzátoru, zejména vzhledem ke kvalitě získané lineární a kruhové polarizace, která určuje použitelnost této komponenty v experimentech probíhajících v naší laboratoři. Zaměříme se především na charakterizaci pro viditelné vlnové délky světla, kde v současné době chybí jiné kvalitní širokospektrální polarizační fázové destičky pro manipulaci s polarizací. Jako zdroj světla pro charakterizaci bude použit optický parametrický oscilátor *Inspire*, a student tak bude mít možnost seznámit se také s fungováním tohoto moderního laserového systému určeného ke generaci ultrakrátkých pulsů v extrémně široké spektrální oblasti.

Projekt bude řešen v Laboratoři OptoSpintroniky, a tématicky navazuje na studentskou práci „Kouzlo polarizace“, řešenou úspěšně na též pracovišti v minulém období.

## Literatura:

1. E. Hecht: „*Optics*“, Addison Wesley, San Francisco (2002).
2. manuál k Berekovu kompenzátoru
3. studentský projekt, J. Schusser: „*Skryté kouzlo polarizace*“, MFF UK (2014).

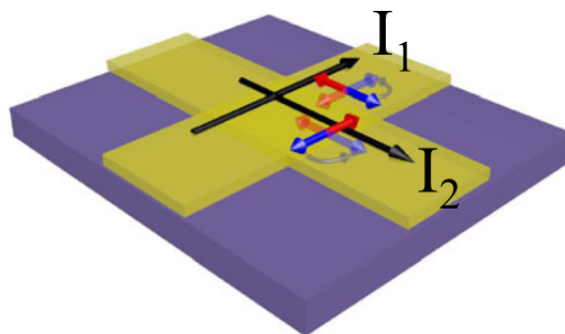
# Vliv žíhání na vlastnosti antiferomagnetických spintronických pamětí

Vedoucí: prof. RNDr. Petr Němec, Ph.D., KCHFO MFF UK  
Konzultant: Mgr. Kamil Olejník, PhD. ([olejnik@fzu.cz](mailto:olejnik@fzu.cz)), FZÚ AV ČR

Spintronika je obor využívající spinu elektronů ke zpracování, přenosu a záznamu informace. Naprostá většina výzkumu tohoto oboru se doposud soustředila na využití feromagnetů, jejichž moment je možné ovládat vnějším magnetickým polem. Novinkou je loňský objev možnosti použití antiferomagnetického materiálu pro elektricky ovládané paměti [1]. Tento posun nastal díky využití kvantově mechanického jevu spin-orbitální interakce, která umožňuje efektivně ovládat zdánlivě nedotknutelné vykompenzované magnetické momenty antiferomagnetu s vhodnou krystalovou strukturou, jakou má např. tetragonální CuMnAs.

Přestože celkový magnetický moment antiferomagnetu je nulový, orientaci vykompenzovaných momentů lze využít k uložení informace. Paměťová buňka je v tomto případě tvořena litografickou strukturou, ve které silné elektrické pulsy zapisují informaci – tj. otáčejí orientaci momentů antiferomagnetu (viz. Obr., kde červené a modré šipky znázorňují magnetizaci magnetických podmříží antiferomagnetu). Tuto informaci lze následně přečíst pomocí anizotropní magnetorezistence, což je změna elektrického odporu v závislosti na tom, zda jsou magnetizace podmříží kolmo, nebo podél směru slabého čtecího elektrického proudu. Antiferomagnetické paměti oproti tradičním feromagnetickým slibují několik výhod, jako je lepší stabilita nebo vyšší rychlost zápisu informace [2].

Cílem projektu je studium účinků žíhání na transportní vlastnosti epitaxních vrstev antiferomagnetu CuMnAs a na spintronicou funkci paměťových struktur vyrobených z těchto vrstev. Řešení tohoto projektu bude probíhat v rámci aktivit Laboratoře OptoSpintroniky, což je společné pracoviště MFF UK a FZÚ AV ČR.



## Literatura:

1. P. Wadley a kol., Science 351, 587-590 (2016)
2. K. Olejník a kol., Nature Communications (2017), DOI: 10.1038/ncomms15434