

Rámcové téma práce č. 1:

Spektroskopie a laserové vlastnosti holmiem dopovaných krystalů

Typ práce: VÚ, BP

Vedoucí práce: Ing. J. Šulc, Ph.D.¹

Konzultant(i): prof. Ing. H. Jelínková, DrSc.², Ing. J. Kratochvíl³

Student(ka):

Abstrakt: Ionty holmia Ho^{3+} mohou sloužit jako aktivní prostředí laditelných pevnolátkových laserů generujících v oblasti vlnových délek kolem $2,1 \mu\text{m}$. Tato spektrální oblast spadá do jednoho z významných atmosférických oken, a přitom vzhledem k velké absorpci tohoto záření ve vodě nehrozí přímé poškození sítnice. Z toho důvodu mají lasery generující v této oblasti mnoho zajímavých aplikací, ke kterým patří například dálkový průzkum atmosféry, měření rychlosti větru, měření vzdálenosti a podobně. V rámci zadaného tématu se student podrobně seznámí se spektroskopii několika Ho-dopovaných materiálů (Ho:YAG, Ho:YAP, Ho:GGAG) a s konstrukcí laserů využívajících tyto materiály. Jedním z cílů práce bude takový laser sestavit a charakterizovat.

¹<mailto:jan.sulc@jfifi.cvut.cz>

²<mailto:helena.jelinkova@jfifi.cvut.cz>

³<mailto:kratoj21@jfifi.cvut.cz>

Rámcové téma práce č. 2:

Aplikace mikročipových laserů na bázi Nd:YAG/Cr:YAG pro měření prahu poškození

Typ práce: VÚ, BP

Vedoucí práce: Ing. J. Šulc, Ph.D.⁴

Konzultant(i): Ing. M. Němec, Ph.D.⁵

Student(ka):

Abstrakt: Při interakci intenzivního laserového záření s optickým prvkem může dojít k poškození tohoto optického prvku vlivem průrazu intenzivním eklektickým polem laserového záření. Efekt má prahový charakter. Hodnota intenzity záření, při které nastává, se označuje jako LIDT (laser-induced damage threshold). Znalost tohoto parametru je nezbytná při návrhu vysokovýkonových laserových systémů. Její stanovení vyžaduje zdroj laserového záření, který dosahuje hodnot LIDT a jehož parametry jsou reprodukovatelné v čase. Zdrojem takového záření může být kompaktní mikročipový laser. Cílem práce bude jak seznámení s tímto typem laserů, tak s problematikou měření LIDT, a také experimentální ověření měření LIDT s pomocí záření mikročipového laseru.

⁴<mailto:jan.sulc@fjfi.cvut.cz>

⁵<mailto:michal.nemec@fjfi.cvut.cz>

Rámcové téma práce č. 3:
Diodově buzený Tm,Gd:SrF₂ laser

Typ práce: BP, VÚ

Vedoucí práce: Ing. K. Veselský⁶

Konzultant(i): Ing. J. Šulc, Ph.D.⁷, prof. Ing. H. Jelínková, DrSc.⁸

Student(ka):

Abstrakt: Pevnolátkové lasery s materiály dopovanými aktivními ionty thulia Tm³⁺ jsou používány ke generaci záření v okolí vlnové délky 2 μm. Laserové záření z této spektrální oblasti lze využít v koherentní radarové a lidarové technice pro aplikace jako je měření vzdálenosti, určování složení atmosféry nebo měření rychlosti pohybu vzdušných mas, dále ve spektroskopii s vysokým rozlišením, a v medicíně například v chirurgii. Fluoridové matrice (například SrF₂) jsou pro použití s ionty Tm³⁺ zajímavé pro možnost širokého přeladění vlnové délky, generace krátkých pulsů, a také díky nízkým fononovým frekvencím i pro dosažení vysoké kvantové účinnosti ve střední infračervené oblasti. Přidáním opticky neaktivního iontu (například Gd) do matrice je možné měnit spektrální a laserové vlastnosti aktivního prostředí.

Cílem práce je seznámení se s pevnolátkovými lasery s ionty thulia a dále experimentální prozkoumání základních spektroskopických vlastností aktivního materiálu Tm,Gd:SrF₂ a následné sestavení diodově čerpaného laseru s tímto materiálem a změření základních výstupních parametrů tohoto laseru.

⁶<mailto:karel.veselsky@fjfi.cvut.cz>

⁷<mailto:jan.sulc@fjfi.cvut.cz>

⁸<mailto:helena.jelinkova@fjfi.cvut.cz>

TÉMATA STUDENTSKÝCH PRACÍ PRO ŠKOLNÍ ROK 2021–22

Rámcové téma práce č. 4:

Mikročipové a kompaktní lasery pro generaci ve střední infračervené oblasti

Typ práce: RP, BP, VÚ, DP

Vedoucí práce: Ing. R. Švejkar⁹

Konzultant(i): Ing. J. Šulc, Ph.D.¹⁰, prof. Ing. H. Jelínková, DrSc.¹¹

Student(ka):

Abstrakt: V posledních letech jsou pro oblast aplikací (spektroskopie, detekci molekul plynů, medicína, opracování plastů a vojenské aplikace) velmi zajímavé vlnové délky $2.5 - 8\mu\text{m}$ (střední infračervená oblast). Pro tyto účely jsou vhodné laserové systémy, které jsou kompaktní a málo náchylné k rozladění. Toho může být dosaženo například kompaktním nebo ještě lépe mikročipovým laserem, kde jsou zrcadla deponovaná přímo na čelech aktivního prostředí laseru. Takové uspořádání velmi zjednodušuje celý laserový systém a zároveň umožňuje generovat impulsy s délkou v oblasti stovek – desítek nanosekund pomocí metody spínání ziskem. Cílem práce bude vypracovat rešerši na téma pevnolátkových laserů generujících ve střední infračervené oblasti spektra, seznámit se s laserovými rezonátory a možnostmi generace krátkých pulsů v režimu spínání ziskem. Podle možností, času a zvoleného typu práce (RP, BP, VÚ, DP) pak případně navrhnout využití a možnou implementaci do aplikace.

⁹<mailto:richard.svejkar@fjfi.cvut.cz>

¹⁰<mailto:jan.sulc@fjfi.cvut.cz>

¹¹<mailto:helena.jelinkova@fjfi.cvut.cz>

Rámcové téma práce č. 5:

Spektroskopie aktivních laserových prostředí v rozsahu teplot 3.5 – 300 K

Typ práce: RP, BP, VÚ, DP

Vedoucí práce: Ing. R. Švejkar¹²

Konzultant(i): Ing. J. Šulc, Ph.D.¹³, prof. Ing. H. Jelínková, DrSc.¹⁴

Student(ka):

Abstrakt: Aktivní prostředí je nedílnou součástí laserového systému a bez znalosti jeho struktury a spektroskopických vlastností není možné vyvíjet moderní laserové systémy. Při extrémně nízkých teplotách kolem 3.5 K je v podstatě možné pozorovat jednotlivé spektrální čáry, které odpovídají energetickým hladinám zkoumaných iontů. Takto jemné rozdělení spektrálních čar není možné pozorovat například při pokojové teplotě (300 K) ani při teplotě kapalného dusíku (77 K). Teplotou jsou silně ovlivněny nejen pozice a šířka spektrálních čar, ale i doby života na jednotlivých energetických hladinách, které jsou důležité například pro matematické modely. Cílem této práce bude seznámit se s pevnolátkovými iontovými lasery, metodami dosažení extrémně nízkých teplot a měřením spektroskopických vlastností aktivních prostředí. V rámci experimentální práce se student nejprve seznámí s heliovým kryostatem a způsobem přípravy měření. Dále budou měřeny spektroskopické vlastnosti dostupných aktivních prostředí v rozsahu teplot od 3.5 K do 300 K. V neposlední řadě student provede porovnání spekter s energetickou strukturou materiálu.

¹²<mailto:richard.svejkar@fjfi.cvut.cz>

¹³<mailto:jan.sulc@fjfi.cvut.cz>

¹⁴<mailto:helena.jelinkova@fjfi.cvut.cz>

Rámcové téma práce č. 6:

**Diodově čerpané erbiové lasery a generace Q-spínaných impulsů
v oblasti $3\mu\text{m}$**

Typ práce: BP

Vedoucí práce: Ing. R. Švejkar¹⁵

Konzultant(i): Ing. J. Šulc, Ph.D.¹⁶, prof. Ing. H. Jelínková, DrSc.¹⁷

Student(ka):

Abstrakt: Metoda Q-spínání umožňuje generaci nanosekundových pulsů s vysokým špičkovým výkonem, který může dosahovat až stovek kW. Pokud je tato metoda využita pro erbiový laser, pak je možné generovat krátké pulsy v oblasti vlnových délek $2.7 - 3\mu\text{m}$. Tyto vlnové délky jsou velmi zajímavé pro medicínské aplikace (stomatologie, chirurgie, oftalmologie, aj.), spektroskopii nebo v průmyslových aplikacích (sváření nebo řezání plastů). Cílem této práce bude vypracovat rešerši na téma diodově čerpaných erbiem dopovaných pevnolátkových laserů a zároveň aktivních i pasivních Q-spínačů. V rámci experimentální práce budou měřeny základní charakteristiky sestavených laserů ve volně běžícím režimu. Dále student provede návrh a sestavení laserového rezonátoru pro generaci krátkých pulsů v režimu Q-spínání a charakterizaci výstupního laserového záření.

¹⁵<mailto:richard.svejkar@fjfi.cvut.cz>

¹⁶<mailto:jan.sulc@fjfi.cvut.cz>

¹⁷<mailto:helena.jelinkova@fjfi.cvut.cz>

Rámcové téma práce č. 7:

Výstupní charakteristiky oku-bezpečného laserového systému

Typ práce: BP

Vedoucí práce: Ing. M. Němec, Ph.D.¹⁸

Konzultant(i): prof. Ing. H. Jelínková, DrSc.¹⁹

Student(ka):

Abstrakt: Oku-bezpečné laserové systémy mají již podle svého označení širokou škálu využití. Generace záření v této oblasti elektromagnetického spektra může být dosaženo různými metodami. V této práci se zaměříme na diodově čerpané pevnolátkové lasery na bázi iontu erbia (např. krystal Er:YAG) při využití rezonančního čerpání, které minimalizuje tepelné ztráty v aktivním prostředí. Cílem práce bude seznámit se jak s čerpací diodou a aktivním prostředím, tak především provést charakteristiku výstupních parametrů záření při optimalizaci laserového rezonátoru

¹⁸<mailto:michal.nemec@fjfi.cvut.cz>

¹⁹<mailto:helena.jelinkova@fjfi.cvut.cz>

Rámcové téma práce č. 8:

Tm:YAG mikročipový laser diodově čerpaný na 1.7 μm

Typ práce: BP, VÚ

Vedoucí práce: Ing. J. Kratochvíl²⁰

Konzultant(i): Ing. J. Šulc, Ph.D.²¹, prof. Ing. H. Jelínková, DrSc.²²

Student(ka):

Abstrakt: Thuliové pevnolátkové lasery jsou dostupným zdrojem koherentního záření na vlnových délkách kolem 2 μm . V této části infračerveného spektra se nacházejí absorpční maxima vody, charakteristické čáry atmosférických plynů (např. CO_2), nebo transmisní okna atmosféry. Mezi zajímavé aplikace těchto laserů patří tedy měření vzdáleností (LIDAR), detekce atmosférických plynů, případně lékařské úkony. Mikročipové lasery jsou jednoduché a kompaktní, proto by mohly být vhodnou součástí zařízení pro zmíněné aplikace. Práce by se skládala ze základní spektroskopické charakterizace iontů thulia Tm^{3+} v granátové matici $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ (YAG) jako aktivního prostředí pevnolátkového laseru a měření výstupních vlastností mikročipového laseru založeném na tomto prostředí. K jeho čerpání bude použita vysokovýkonná laserová dioda vyzařující na vlnové délce kolem 1.7 μm jako nový zdroj pro čerpání thuliových laserů.

²⁰<mailto:kratoj21@jfifi.cvut.cz>

²¹<mailto:jan.sulc@jfifi.cvut.cz>

²²<mailto:helena.jelinkova@jfifi.cvut.cz>

Rámcové téma práce č. 9:

Automatizace měření kvality laserového svazku

Typ práce: RP, BP

Vedoucí práce: Ing. M. Frank, Ph.D.²³

Konzultant(i): Ing. David Vyhliďal, Ph.D.²⁴

Student(ka):

Abstrakt: Kvalita a prostorové rozložení laserového svazku jsou jedním ze základních charakteristik laserového zdroje a pro mnoho aplikací mají stěžejní význam. Oba parametry mohou taktéž ovlivňovat samotný výsledek interakce. Kvalita svazku se udává pomocí M^2 parametru a vyjadřuje míru, jak se měřený svazek přibližuje tzv. Gaussovu svazku, jakožto k řešení s difrakčním limitem. Jedna z metod měření kvality svazku je založena na měření pomocí ostré hrany (Knife-edge method), kdy je snímána prošlá intenzita záření v závislosti na definovaném zakrytí svazku. Cílem práce je návrh a vývoj automatického měřiče kvality svazku pomocí výše zmíněné metody. Student se nejprve seznámí s popisem hlavních parametrů svazku, s teorií šíření laserového svazku volným prostorem a měřením parametru kvality svazku. Dále navrhne a realizuje měřicí zařízení spolu s ovládacím programem. Vyrobený automatizovaný měřič bude dále využíván v běžné laboratorní činnosti.

²³<mailto:frankmil@jfji.cvut.cz>

²⁴<mailto:david.vyhliďal@jfji.cvut.cz>

Rámcové téma práce č. 10:

Numerické modelování průběhu svazku v otevřeném rezonátoru

Typ práce: RP, BP

Vedoucí práce: Ing. M. Frank, Ph.D.²⁵

Konzultant(i): Ing. David Vyhliďal, Ph.D.²⁶, prof. Ing. V. Kubeček, DrSc.²⁷

Student(ka):

Abstrakt: Nezbytnou součástí při návrhu a vývoji pevnolátkových laserů a laserů obecně je stanovení průběhu základního módu laserového záření uvnitř otevřeného rezonátoru. Existuje mnoho metod, jak nalézt základní parametry příčného rozložení záření, jenž osciluje v laserovém rezonátoru. Nejčastěji se jedná o metody založené na principu ABCD optiky, která je velmi jednoduchá a intuitivní. Cílem práce je vývoj programu pro nalezení rozložení základního módu a módu vyšších řádu uvnitř rezonátoru se specifickými podmínkami. Práce je plně teoretického charakteru. Požaduje se znalost programování v jazyce MATLAB, C++ nebo Python.

²⁵<mailto:frankmil@jfji.cvut.cz>

²⁶<mailto:david.vyhliďal@jfji.cvut.cz>

²⁷<mailto:vaclav.kubecek@jfji.cvut.cz>

TÉMATA STUDENTSKÝCH PRACÍ PRO ŠKOLNÍ ROK 2021–22

Rámcové téma práce č. 11:

Kompaktní, diodově buzený Nd:YVO₄ laser generující v kontinuální synchronizaci módů

Typ práce: RP, BP

Vedoucí práce: Ing. M. Frank, Ph.D.²⁸

Konzultant(i): prof. Ing. V. Kubeček, DrSc.²⁹

Student(ka):

Abstrakt: Pevnolátkové lasery s aktivním iontem neodymu Nd³⁺ jsou široce využívány pro laboratorní i průmyslové aplikace. Díky možnostem účinného čerpání pomocí laserových diod jsou tyto lasery velmi vhodné pro generaci laserového záření na vlnových délkách v okolí 1060 nm. Mezi nejvýznamnější představitele této skupiny laserů patří i Nd:YVO₄, které vyniká vysokým ziskem nad nejznámějším Nd:YAG laserem. Cílem této práce je návrh, realizace a optimalizace kompaktního, diodově buzeného laserového systému generujícího laserové impulsy v pikosekundové oblasti pomocí satureovatelného absorbéru. Hlavní důraz bude kladen na dosažení časově stabilního laserového záření v základním příčném módu. Tento nízko-výkonový oscilátor by byl následně použit jako hlavním oscilátor pro zesilovače v systému MOPA (master oscillator – power amplifier) pro dosažení vyššího špičkového výkonu.

²⁸<mailto:frankmil@jfji.cvut.cz>

²⁹<mailto:vaclav.kubecek@jfji.cvut.cz>

Rámcové téma práce č. 12:
Diodově buzený Tm:CaF₂ laser

Typ práce: BP, VÚ, DP

Vedoucí práce: Ing. M. Jelínek, Ph.D.³⁰

Konzultant(i): prof. Ing. V. Kubeček, DrSc.³¹

Student(ka):

Abstrakt: Lasery s aktivním iontem thulia Tm₃₊ nabízí možnost generace záření v infračervené spektrální oblasti okolo 2 mikrometrů, která má potenciální uplatnění v medicíně i dalších oborech. V posledních letech jsou zkoumány fluoridové matrice (například CaF₂), které nabízí možnost ladění vlnové délky laseru v širokém rozsahu a dále generaci ultrakrátkých pulsů. Cílem práce je seznámení se s měřením a vyhodnocením základních spektroskopických vlastností (např. absorpčního a fluorescenčního spektra) daného materiálu a dále potom návrh, konstrukce, optimalizace a měření výstupních parametrů laseru s aktivním materiálem Tm:CaF₂.

³⁰<mailto:michal.jelinek@jfji.cvut.cz>

³¹<mailto:vaclav.kubecek@jfji.cvut.cz>

TÉMATA STUDENTSKÝCH PRACÍ PRO ŠKOLNÍ ROK 2021–22

Rámcové téma práce č. 13:

Laser s nelineárním zrcadlem pro pasivní synchronizaci módů

Typ práce: BP, VÚ, DP

Vedoucí práce: Ing. M. Jelínek, Ph.D.³²

Konzultant(i): prof. Ing. V. Kubeček, DrSc.³³

Student(ka):

Abstrakt: Nelineární zrcadla představují zajímavou možnost dosažení režimu generace ultrakrátkých impulsů u pevnolátkových laserů, například Nd:YVO₄. Cílem práce je seznámení se s principem nelineárního zrcadla založeného na periodicky pólovaném lithium niobátu (PPLN). Dále v rámci práce provedete návrh, konstrukci a měření výstupních parametrů laseru s nelineárním zrcadlem.

³²<mailto:michal.jelinek@jfifi.cvut.cz>

³³<mailto:vaclav.kubecek@jfifi.cvut.cz>

Rámcové téma práce: Módové nestability vláknových laserů a zesilovačů

Typ práce: BP, VÚ, DP

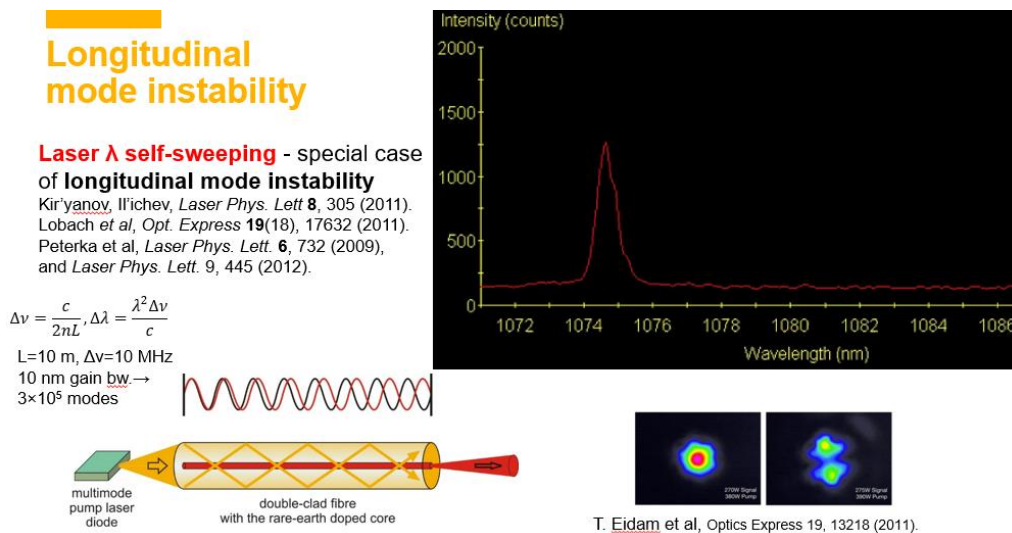
Vedoucí práce: doc. Ing. Pavel Peterka, Ph.D., Ústav fotoniky a elektroniky AV ČR (ÚFE), peterka@ufe.cz

Školitel-specialista: Ing. Michal Jelínek, Ph.D., KFE

Anotace: Nestability vláknových laserových zařízení jsou nyní aktuálním tématem výzkumu, zejména s ohledem na rostoucí výkony a nové vlnové délky těchto typů laserů a celospolečensky rychle rostoucí význam vláknových laserů. Teoretický výzkum bude zaměřen na studium podélných módových nestabilit ve vláknových laserech a příčných módových nestabilit ve vláknových zesilovačích. Experimentální výzkum bude zaměřen jev samovolného rozmítání vlnové délky, speciálního případu podélné módové nestability, jako spouštěcího mechanismu samovolného Q-spínání laseru. Pro vybraný typ práce (BP, VÚ, DP) bude po dohodě se studentem/studentkou specifikován dílčí úkol z rámcového tématu.

Literatura:

1. J. Aubrecht, P. Peterka, P. Koska, P. Honzatko, M. Jelinek, M. Kamradek, M. Frank, V. Kubecek, and I. Kasik, "Spontaneous laser-line sweeping in Ho-doped fiber laser," in Proc. SPIE **10083**, *SPIE Photonics West: Fiber Lasers XIV*, San Francisco, USA, 28 January–2 February 2017, p. 100831V. <https://doi.org/10.1117/12.2249486>
2. P. Peterka, P. Koška, and J. Čtyroký, "Reflectivity of superimposed Bragg gratings induced by longitudinal mode instabilities in fiber lasers," *IEEE J. Sel. Topics Quantum Electron.* **24**(3), 0902608 (2018). <http://doi.org/10.1109/jstqe.2018.2806084>
3. P. Peterka, "[Double-clad fibers for high-power fiber lasers](#)," in Proc. *9th EPS-QEOD Europhoton Conf.*, Prague, 30 Aug - 4 Sept 2020, Summer School Tutorial p. SS2.1.
Obrázek z přednášky a [link na začátek příslušného místa videozáznamu \(téma je na čtyřech snímcích za sebou\)](#): <https://youtu.be/h17GjmLTjw4?t=3664>



Rámcové téma práce: Spektroskopická charakterizace thuliem a holmiem dopovaných optických vláken pro vláknové lasery

Anglicky: Spectroscopic characterization of thulium and holmium doped optical fibers for fiber lasers

Typ práce: BP, VÚ, DP

Vedoucí práce: doc. Ing. Pavel Peterka, Ph.D., Ústav fotoniky a elektroniky AV ČR (UFE), peterka@ufe.cz

Školitel-specialista: Ing. Jan Šulc, Ph.D., KFE

Anotace: Cílem práce je spektroskopická charakterizace nových typů optických vláken pro výkonové vláknové lasery. Zejména půjde o vlákna dopovaná thuliem a holmiem. Pozornost bude soustředěna na měření spektrálního průběhu absorpčního a emisního účinného průřezu a závislosti účinného průřezu na teplotě. Práce zahrnuje sestavení experimentální aparatury a experimentální charakterizaci vláken dopovaných prvky vzácných zemin připravených v naší laboratoři nebo na spolupracujících pracovištích v zahraničí.

Reference:

1. M. Kamrádek, I. Kašík, J. Aubrecht, J. Mrázek, O. Podrazký, J. Cajzl, P. Vařák, V. Kubeček, P. Peterka, and P. Honzátko, "Nanoparticle and solution doping for efficient holmium fiber lasers [Invited paper]," *IEEE Photonics J.* **11**(5), 7103610 (2019). <http://doi.org/10.1109/jphot.2019.2940747>
2. J. Cajzl, P. Peterka, M. Kowalczyk, J. Tarka, G. Sobon, J. Sotor, J. Aubrecht, P. Honzátko, and I. Kašík, "Thulium-doped silica fibers with enhanced fluorescence lifetime and their application in ultrafast fiber lasers," *Fibers* **6**(3), 66 (2018). <http://doi.org/10.3390/fib6030066>
3. P. Peterka, "Double-clad fibers for high-power fiber lasers," in Proc. 9th EPS-QEOD Europhoton Conf., Prague, 30 Aug - 4 Sept 2020, Summer School Tutorial p. SS2.1.
Obrázek z přednášky a link na příslušné místo videozáznamu: <https://youtu.be/h17GjmlTjw4?t=5264>

Absorption & emission

Cut-back method for **core** absorption (**cladding** abs. discussed before)

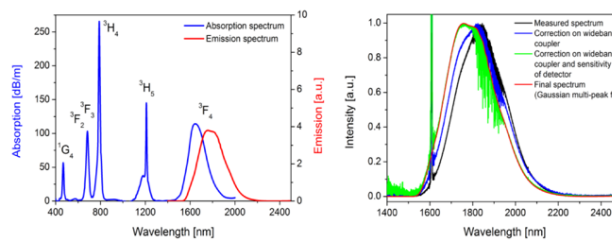
$$\frac{P_{out}}{P_{in}} = \exp(-\alpha L) = \exp(-\sigma_e \Gamma N_{e,eff} L)$$

$$Attenuation [dB] = -10 \log \frac{P_{out}}{P_{in}} = 4.34 \sigma_e \Gamma N_{e,eff} L$$

High concentration problems: long lengths, high power broadband sources, low resolution OSA, traditional cut-back method is not often suitable

Y. Feng, B. M. Zhang, J. Zhao, S. Zhu, J. H. V. Price, and J. Nilsson, "Absorption measurement errors in single-mode fibers resulting from re-emission of radiation," *IEEE J. Quantum Electron.* **53**, 6800611 (2017).

Emission spectral shape from fully inverted, very short (0.2 dB small-signal loss) fiber
Absolute value: gain in fully inverted fiber. **Estimation:** Judd-Ofelt theory & Fuchtbauer-Ladenburg formula
C.R. Giles et al., *IEEE Photonics Technol. Lett.* **3**, 363 (1991).



J. Cajzl, et al., *Fibers* **6**, 66 (2018).

Rámcové téma práce: **Automatizovaný skenovací detektor pro měření kvality svazku ve střední infračervené oblasti spektra**

Typ práce: BP, VÚ, DP

Vedoucí práce: Ing. Ondřej Novák, Ph.D. (Centrum HiLASE, Fyzikální ústav AV ČR, novakon@fzu.cz)

Konzultant: Ing. Michal Jelínek Ph.D. (KFE FJFI ČVUT)

Student(ka):

Abstrakt:

Důležitou charakteristikou laserového svazku je jeho kvalita, která se vyjadřuje parametrem M^2 . Její stanovení vyžaduje určení průměru svazku v několika pozicích podél směru šíření svazku. Pro měření průměru svazku se používají vícebodové detektory (kamery) nebo jednobodové detektory. Před jednobodové detektory je umístěna ostrá hrana nebo štěrbina, která postupně zakrývá (skenuje) měřený svazek. Ze změřené závislosti výkonu na pozici hrany či štěrby se pak určí průměr svazku. Uvedené detektory se též označují jako skenovací detektory.

V poslední době nabývají na významu laserové svazky o vlnových délkách spadajících do střední infračervené oblasti spektra (2-8 μm). Pro oblast středního infračerveného záření ovšem nejsou dostupné kamery s dostatečným rozlišením. Proto se pro měření profilů těchto svazků používají skenovací detektory. Cílem práce je vyvinout automatizovaný systém pro měření kvality svazku M^2 , který bude založen na skenovacím detektoru a motorizovaném posuvu.

Téma práce zahrnuje návrh opto-mechanické soustavy, řízení pohyblivých částí, vyčítání signálu a jeho vyhodnocení a zpracování.

Práce bude probíhat v laboratoři laserového centra HiLASE.

Rámcové téma práce: Spektrální komprese pikosekundových laserových impulzů

Vedoucí práce: Ing. Ondřej Novák, Ph.D (Centrum HiLASE, Fyzikální ústav AV ČR, novakon@fzu.cz)

Konzultanti: Ing. Michal Jelínek Ph.D. (KFE FJFI ČVUT), Ing. Martin Duda (HiLASE FZÚ)

Student(ka):

Abstrakt:

Lasery založené na aktivním prostředí z ytterbium dopovaného yttrito-hlinitého granátu (Yb:YAG) umožňují efektivní generování pikosekundových impulzů. Obvyklá délka transformačně omezených impulzů těchto systémů je okolo 1 ps. Některé aplikace, jako např. vibrační spektroskopie, vyžadují použití řádově delších transformačně omezených impulzů. Účinnou metodou získání delších pulzů je generování součtové (popř. harmonické) frekvence dvou impulzů s opačným znaménkem frekvenční modulace (čerpu). Cílem práce je experimentální realizace tohoto principu spektrálního zúžení impulzů pro svazek vysokovýkonného laseru.

- Seznamte se s metodami zúžení spekter při generování součtové či harmonické frekvence. Proveďte rešerši vědecké literatury.
- Navrhněte experimentální uspořádání pro generování impulzu se zúženým spektrem.
- Proveďte experimentální realizaci návrhu. Proměřte charakteristiky výstupního svazku.
- Rešerši a dosažené výsledky zpracujte do absolventské práce.

Práce bude probíhat v laboratoři laserového centra HiLASE.

Doporučená literatura:

1. Michał Nejbauer, Tomasz M. Kardaś, Yuriy Stepanenko, and Czesław Radzewicz, "Spectral compression of femtosecond pulses using chirped volume Bragg gratings," *Opt. Lett.* 41, 2394-2397 (2016)
2. Zsuzsanna Heiner, Valentin Petrov, and Mark Mero, "Compact, high-repetition-rate source for broadband sum-frequency generation spectroscopy", *APL Photonics* 2, 066102 (2017)
3. K. E. Thorn, N. R. Monahan, S. K. K. Prasad, K. Chen, and J. M. Hodgkiss, "Efficient and tunable spectral compression using frequency-domain nonlinear optics," *Opt. Express* 26, 28140-28149 (2018)

Rámcové Téma (BP, VÚ, DP)

Generace vysokých harmonických frekvencí mícháním laserového IR a THz pole

Generace vysokých harmonických frekvencí (HHG) je silně nelineární jev, kdy interakci vysoce intenzivního laserového záření (intensity až 10^{15} W.cm⁻²) dochází ke generaci koherentních attosekundových impulzů ($\tau \approx 10^{-18}$ s) v oblasti XUV až RTG vlnových délek. Tento jev se dá popsat modelem, kdy působením laserového záření na atomy plynu dochází k ionizaci, tj. uvolnění elektronů, jejich následnému urychlování a zpětné rekombinaci s původním iontem vedoucí k emitování vysokoenergetického fotonu. Takovéto záření je vhodné pro mnoho nových metod studování ultrarychlých fyzikálních i chemických jevů.

Nevýhodou HHG je ovšem slabá účinnost tohoto jevu. Jedna z cest pro vylepšení této generace je použití multibarevného laserového pole. Takovéto laserové záření je obvykle složeno z původního laseru a z jeho druhé harmonické (poloviční vlnová délka). Ukazuje se, že jedna z možností vylepšení je použití širokospektrálního pole v THz oblasti vlnových délek (vlnové délky v daleké IR oblasti v rozmezí 10 μ -100 μ m).

Náhled možných úkolů/cílů (BP, VÚ, DP):

Jedná se jen o náhled možných úkolů v rámci dané práce s tím, že dle preference studenta by se na základě konzultace vybraly/doplňily konkrétnější úkoly jako výsledné cíle dané práce.

- Experiment generace THz záření v plynném prostředí pomocí tzv. dvoubarevného laserového pole. Jedná se o nové principy, s velkou možností vlastního tvůrčího příspěvku.
- Zjednodušená simulace (klasická mechanika) pohybu volného elektronu v elektromagnetickém poli laseru vedoucí jak ke generaci vysokých harmonických frekvencí (XUV) tak ke komplementární generaci THz záření.
- Experiment simultánní generace THz záření během generace vysokých harmonických frekvencí v plazmatu.
- Seznámení se s parametrickými jevy vysokých řádů a jejich principy (na základě optické parametrické generace), vznikající při generaci vysokých harmonických frekvencí multibarevným polem složeným z IR a THz záření

Vedoucí práce:

Ondřej Hort, Ph. D. Ondrej.Hort@eli-beams.eu

Konzultanti:

doc. Ing. Ondřej Klimo, Ph.D. ondrej.klimo@fjfi.cvut.cz

Ing. Matej Jurkovič matej.jurkovic@eli-beams.eu



Student's work theme (diploma, PhD)

Post-compression of high power femtosecond laser pulses for high-order harmonic generation

The world of femtosecond laser pulses is fascinating. Especially when the pulses are very short and very energetic, focusing such pulses into a small spot on a matter causes a very rich ensemble of nonlinear processes to appear, including high harmonic generation (HHG).

A post-compression technique is a common way to obtain few-cycle or even shorter pulses. The technique is based on a broadening of the initial pulse spectrum by means of nonlinear interaction of the pulse with medium and subsequent compression of the pulse typically by using chirped mirrors. However, to post-compress pulses of high energy is very challenging.

General and specific aims

The aim of the thesis is to identify a suitable scheme of post-compression of a 100 mJ-class 1 kHz laser with femtosecond pulses. The student will get familiar with methods of generation and amplification of femtosecond pulses, as well as with diagnostic tools available for their characterization. He/She will make a review of state-of-the-art post-compression methods and evaluate those to select the most suitable one. He will design the experimental setups for post-compression of laser with various pulse energies: 5 mJ, 10 mJ, 30 mJ, and 100 mJ. He/She will first theoretically predict and then experimentally study the effect of pulse duration on high-order harmonic generation (HHG) in noble gases.

Expected results:

Review of post-compression methods from literature, design of the post-compression scheme for 1 kHz laser system scaled from low to high pulse energy (5-100 mJ). Study of HHG in dependence on the pulse duration.

Supervisor

Ondřej Hort, Ph.D. Ondrej.Hort@eli-beams.eu

Consultants

Ing. Michal Jelínek, Ph.D. michal.jelinek@fjfi.cvut.cz
Ing. Matej Jurkovič matej.jurkovic@eli-beams.eu

Rámcové téma práce č. 20:
Polarimetrie Muellerových matic pro složité laserové systémy

Typ práce: DP

Vedoucí práce: Ing. O. Slezák, Ph.D. (FzÚ AV ČR, HiLASE)³⁴

Konzultant(i): doc. Ing. M. Čech, CSc.³⁵

Student(ka):

Abstrakt: Polarimetrie Muellerových matic je diagnostická metoda pro kompletní analýzu polarizačních vlastností optických systémů. V centru HiLASE je tato metoda využívána k měření tepelně indukovaných polarizačních jevů, jako je tepelně indukovaný lineární dvojlom a dvojitlumen, v optických systémech od jednotlivých optických prvků až po složité laserové systémy. Součástí práce bude provádění polarimetrických měření, vylepšování v současnosti používané metody měření např. zvyšováním přesnosti a spolehlivosti měření, optimalizace procesu měření, práce na zlepšování numerických kódů pro analýzu naměřených dat apod. Cílem práce bude kompletní proměření polarizačních vlastností jednotlivých tepelně zatížených částí laserových systémů provozovaných v centru HiLASE. Naměřená data budou následně využita pro optimalizaci provozu laseru a k experimentálnímu ověřování výsledků numerických simulací tepelně-optických jevů.

³⁴<mailto:slezako@fzu.cz>

³⁵<mailto:miroslav.cech@fjfi.cvut.cz>

TÉMATA STUDENTSKÝCH PRACÍ PRO ŠKOLNÍ ROK 2021–22

Rámcové téma práce č. 21:

Víceprůchodový zesilovač s Yb:YAG tenkým diskem

Typ práce: VÚ, DP

Vedoucí práce: Ing. M. Smrž, Ph.D. (FzÚ AV ČR, HiLASE)³⁶

Konzultant(i): Ing. M. Jelínek, Ph.D.³⁷

Student(ka):

Abstrakt: Tématem práce je seznámení s víceprůchodovými zesilovači na bázi Yb-tenkého disku spojený s rozvinutím stávajícího systému v centru Hilase a návrhem jeho dalších úprav. Cílem je zesílení jednotlivých prodloužených pikosekundových pulsů (CPA), popř. hřebenu deseti pulsů, z předchozího zesilovací stupně s energií 1–10 mJ. Student ověří parametry a stabilitu zesilovače, výstupní parametry a optimalizuje systém s cílem maximalizace výstupní energie.

³⁶<mailto:smrz@fzu.cz>

³⁷<mailto:michal.jelinek@fjfi.cvut.cz>

Rámcové téma práce č. 22:

Cryogenic microchip nanosecond laser based on Ytterbium or Thulium doped laser materials

Typ práce: BP, VÚ, DP

Vedoucí práce: V. Jambunathan, Ph.D. (FzÚ AV ČR, HiLASE)

Konzultant(i): Ing. M. Jelínek, Ph.D.³⁸, Ing. M. Smrž, Ph.D. (FzÚ AV ČR, HiLASE)³⁹

Student(ka):

Abstrakt: The goal of this work is cryogenic microchip laser operation of Yb-doped and Tm doped solid-state materials at liquid nitrogen temperature. Laser materials such as Yb:YAG, Yb:Lu₂O₃, Yb:CALGO, Tm:YAP, Tm:Y₂O₃ etc. will be characterized at cryogenic temperatures with the different transmission of output coupling for CW laser operation. Nano second pulses will be generated using Saturable absorbers such as Cr:YAG, Cr:ZnS and Cr:ZnSe. The student who is involved will build and test the microchip cryogenic laser resonators by implementing and exploring the capabilities of the above materials. This study will lead to a deeper understanding of the fundamental physical processes of pulsed cryogenic lasers and eventually for real-world applications.

³⁸<mailto:michal.jelinek@jfifi.cvut.cz>

³⁹<mailto:smrz@fzu.cz>

TÉMATA STUDENTSKÝCH PRACÍ PRO ŠKOLNÍ ROK 2021–22

Rámcové téma práce č. 23:

Passively Q-switched cryogenic Tm: Y2O3 oscillator

Typ práce: BP, VÚ, DP

Vedoucí práce: V. Jambunathan, Ph.D. (FzÚ AV ČR, HiLASE)

Konzultant(i): Ing. M. Frank, Ph.D.⁴⁰, Ing. M. Smrž, Ph.D. (FzÚ AV ČR, HiLASE)⁴¹

Student(ka):

Abstrakt: The goal of this work is to generate nano second pulses from diode pumped Tm: Y2O3 laser using Cr:ZnS and Cr:ZnSe saturable absorbers. The student who is involved will build and characterize the pulsed Tm: Y2O3 cryogenic laser oscillator. This study will lead to a deeper understanding of the fundamental physical processes of pulsed cryogenic Tm: Tm: Y2O3 oscillator.

⁴⁰<mailto:frankmil@jfji.cvut.cz>

⁴¹<mailto:smrz@fzu.cz>

Rámcové téma práce č. 24:

Cryogenic Yb:CALGO laser in the continuous wave and pulsed regime

Typ práce: BP, VÚ, DP

Vedoucí práce: V. Jambunathan, Ph.D. (FzÚ AV ČR, HiLASE)

Konzultant(i): Ing. M. Frank, Ph.D.⁴², Ing. M. Smrž, Ph.D. (FzÚ AV ČR, HiLASE)⁴³

Student(ka):

Abstrakt: The goal of this work is to study this Yb-doped CALGO at cryogenic temperatures (80 K – 200 K). The student who is involved will build and test this cryogenic Yb:CALGO laser in the continuous wave and pulsed regime. This study will lead to a deeper understanding of the fundamental physical processes of this material.

⁴²<mailto:frankmil@jfji.cvut.cz>

⁴³<mailto:smrz@fzu.cz>

Rámcové téma práce č. 25:

Generation of Raman wavelength from fundamental wavelength using different Raman medium

Typ práce: VÚ, DP

Vedoucí práce: V. Jambunathan, Ph.D. (FzÚ AV ČR, HiLASE)

Konzultant(i): Ing. M. Frank, Ph.D.⁴⁴, Ing. M. Smrž, Ph.D. (FzÚ AV ČR, HiLASE)⁴⁵

Student(ka):

Abstrakt: The goal of this work is to study to generate Raman wavelength from fundamental wavelength (1030 nm and/or 1932 nm) using various Raman medium such as KGd(WO₄)₂, Ba(NO₃)₂ etc. The student who is involved will build the Raman resonator and test the above-mentioned Raman medium. This study will lead to a deeper understanding of the fundamental physical processes of the Raman medium.

⁴⁴<mailto:frankmil@jfifi.cvut.cz>

⁴⁵<mailto:smrz@fzu.cz>

Vliv šířky spektra a koherence záření na interakci s plazmatem pro výzkum inerciální fúze

Abstrakt: Nestability v laserovém plazmatu omezují absorpci laserové energie a snižují stlačitelnost paliva v experimentech inerciální termojaderné fúze (ICF). Dochází zde k rozptylu světla od ablujícího materiálu a vzniku velmi horkých elektronů. Infračervené světelné zdroje s velkou šířkou spektra mají velký potenciál potlačit růst těchto nestabilit, což by mohlo vyústit v převratu ve výzkumu ICF. Díky velké šířce spektra se naruší rezonanční podmínky interakci mezi vlnami, nebo vznikají nestability jen omezeně a lokálně místo jediné koherentní nestability [1]. Prototypy nízkokoherentních vysoce výkonných laserů jsou v současné době již ve vývoji [2]. V této práci se budeme zabývat interakcí laserových impulsů s nízkou koherencí (včetně jejich generace např. podle [3]) s plazmatem, absorpcí těchto impulsů a zpomalením nebo utlumením vzniku parametrických nestabilit. V úvodní části práce bude třeba implementovat model nekoherentního záření do Particle-in-Cell simulačního kódu, např. kódu EPOCH nebo Smilei, dále budou prováděny výpočetně náročné částicové simulace na výkonných výpočetních clusterech. Tento výzkum má velký potenciál, neboť se jedná o velmi aktuální a dosud neprobádanou oblast, jejíž výsledky mohou mít přímý vliv na budoucí experimenty a celkový vývoj v oblasti výzkumu inerciální termojaderné fúze. Na tomto výzkumu budeme spolupracovat výzkumným centrem s ELI Beamlines a dalšími zahraničními týmy v rámci projektu Eurofusion.

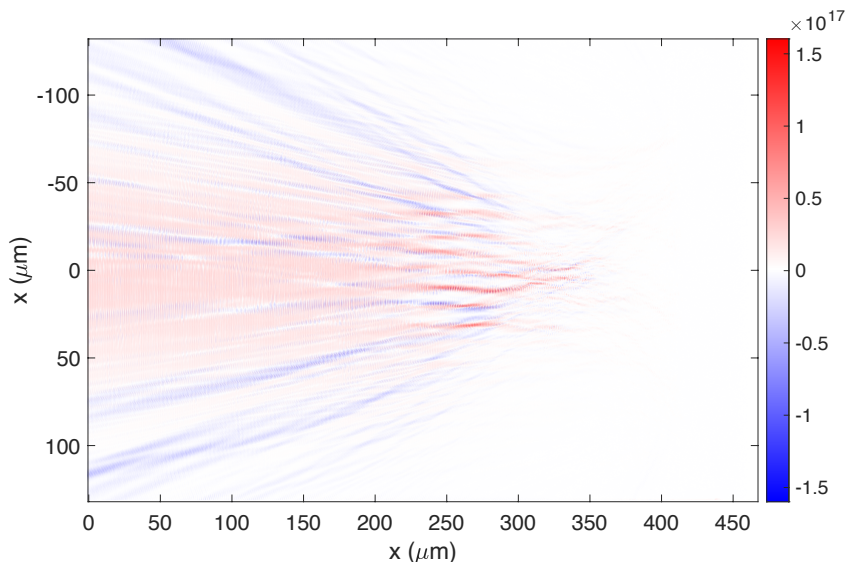
[1] <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.120.135005>

[2] <https://doi.org/10.1063/5.0009319>

[3] <https://doi.org/10.1038/ncomms11893>

Typ práce: BP, VÚ, PhD

Vedoucí práce: doc. Ing. Ondřej Klíma, Ph.D.



Obrázek 1: Laserový svazek interagující s plazmatem silně ovlivněný parametrickými nestabilitami – vidíme zde filamentaci svazku (dopředu se šířící svazek - červená) i zpětný rozptyl (modrá barva).

Atomové procesy v kinetických simulacích laserového plazmatu

Abstrakt: Přímá numerické simulace interakce intenzivního laserového záření s terčem z pevného materiálu je stále velmi obtížným úkolem, a to kvůli mnoha současně probíhajícím procesům zahrnujícím oblasti atomové i plazmové fyziky jako je dynamika ionizace, srážky mezi nabitými částicemi a vznik a vývoj kolektivních elektromagnetických polí. Některé tyto procesy jsou již implementovány v současných simulačních nástrojích [1]. V rámci této práce se soustředí na implementaci těchto a některých dalších atomových procesů do kinetického simulačního kódu EPOCH nebo Smilei. S pomocí modifikovaných kódů budeme studovat, jaký vliv mají atomové procesy a srážky na interakci laserového záření s plazmatem a soustředíme se zejména na úvodní část interakce, při níž plazma na povrchu terče teprve vzniká a postupně z terče expanduje směrem do vakua. Výzkum bude probíhat pomocí částicové simulace na výkonných výpočetních clusterech. Tento výzkum se týká i současných experimentů na laserech PALS a ELI Beamlines. Další možné aplikace jsou např. v oblasti výzkumu rentgenových laserů [2-3].

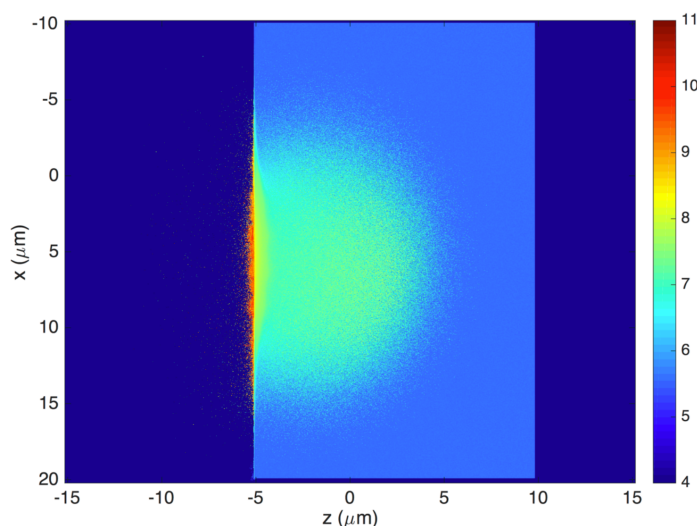
[1] <https://doi.org/10.1017/hpl.2018.41>

[2] <https://doi.org/10.1364/OPTICA.4.001344>

[3] <https://doi.org/10.1103/PhysRevE.95.063203>

Typ práce: BP, VÚ

Vedoucí práce: doc. Ing. Ondřej Klimo, Ph.D.



Obrázek 1: Logaritmus elektronové teploty v terči v jednotkách Kelvin v průběhu laserové interakce. Jedná se o měděný terč a jsou uvažovány i srážkové a ionizační procesy.

Vliv silného externího magnetického pole na interakci laserového záření s plazmatem

Abstrakt: V posledních letech je velký zájem o generaci extrémně silných magnetických polí. Magnetická pole o síle 100 Tesla lze nyní snadno vytvořit běžnými technikami. V současné době je již také možné vytvořit mnohem silnější pole, která trvají většinou velmi krátkou dobu. Například interakce velmi intenzivního laserového záření s hustým plazmatem umožňuje vytvořit kvazi-statická magnetická pole o síle 100 kT např. [1]. Velmi silná pole na úrovni kT lze rovněž vytvořit pomocí terče typu kondenzátor-cívka opracovaného výkonným kJ laserem, což je zajímavé především pro inerciální termojadernou fúzi [2]. V této práci budeme zkoumat interakci mezi intenzivními laserovými pulsy a silně magnetizovaným plazmatem v režimu sub-relativistické i relativistické interakce. Budeme se zabývat např. režimem silné magnetizace, kdy je elektronová cyklotronová frekvence srovnatelná a frekvencí laseru. V tomto případě má magnetické pole dramatický vliv na procesy probíhající při interakci laserového záření s plazmatem např. [3]. Zároveň se budeme snažit najít takovou konfiguraci a sílu pole, která by měla na interakci vliv i při mnohem nižší intenzitě pole. Studium bude probíhat pomocí výpočetně náročných částicových simulací na výkonných výpočetních clusterech pomocí kinetických simulací s Particle-in-Cell kódem EPOCH. Tento výzkum se týká i současných experimentů na laseru PALS v ČR a dalších laserech v zahraničí a výzkum probíhá ve spolupráci s ELI Beamlines.

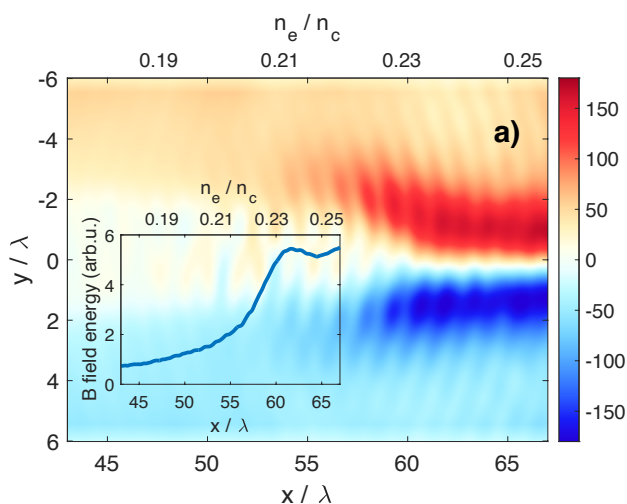
[1] <https://arxiv.org/abs/2006.03326>

[2] <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1367-2630/17/8/083051>

[3] <https://escholarship.org/uc/item/36f419k8>

Typ práce: BP, VÚ, PhD

Vedoucí práce: doc. Ing. Ondřej Klimo, Ph.D.



Obrázek 1: Silné magnetické pole vznikající při interakci svazku laseru PALS s plazmatem v oblasti kritické hustoty – výsledek z 3D PIC simulace.

Plazmová optika pro ultraintenzivní lasery, speciální terče a struktury

Abstrakt: Přes obrovský potenciál, který nabízí výzkum hmoty při vysoké intenzitě laserového záření, je maximální dosažitelná intenzita současných laserů omezena hranicí pro poškození drahé zaostřující optiky. Rovněž další zařízení, která by umožnila ovlivnit časový a prostorový profil laserového svazku, jeho spektrum nebo i například úhlový moment jsou do značné míry omezeny vysokou intenzitou záření. Optika založená na použití plazmatu nabízí cestu, jak posunout tuto bariéru téměř o jeden řád a zachovat kompaktnost celého optického systému, neboť plazma je schopno snést mnohem vyšší intenzity záření. V tomto výzkumu budeme pracovat s různými optickými prvky založenými na použití plazmatu – např. štěrbin, čočka, zaostřující zrcadlo s různým reliéfem, pěna atd. Výzkum bude probíhat pomocí výpočetně náročných částicových simulací na výkonných výpočetních clusterech s použitím Particle-in-Cell kódů EPOCH nebo Smilei. Tento výzkum se týká i současných a budoucích experimentů na laserových zařízeních v ČR i v zahraničí a výzkum probíhá ve spolupráci s ELI Beamlines. Téma je velmi perspektivní o čemž svědčí množství významných a zajímavých publikací z posledních let, např. [1-4].

[1] <https://doi.org/10.1063/5.0038023>

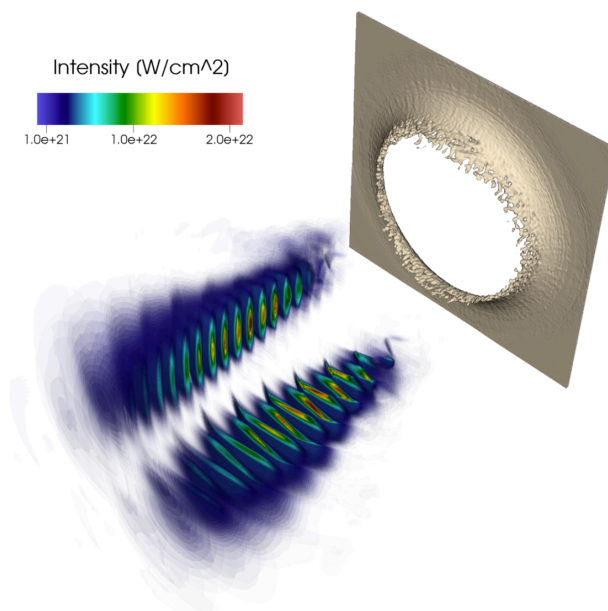
[2] <https://doi.org/10.1038/nphoton.2012.284>

[3] <https://doi.org/10.1063/PT.3.4234>

[4] <https://doi.org/10.1038/srep23256>

Typ práce: BP, VÚ, PhD

Vedoucí práce: doc. Ing. Ondřej Klimo, Ph.D.



Obrázek 1: Rozložení intenzity laseru v horizontálním a vertikálním řezu laserového pulzu po interakci s velmi tenkou fólií, která po proděravění funguje podobně jako úzká štěrbinou - 3D simulace, bude brzy publikována (Ing. M. Jirka, Ph.D).

Rámcové téma práce č. 30:

Charakteristika tenkého kapalného terče pomocí optického sondovacího svazku

Typ práce: BP, VÚ

Vedoucí práce: T. Chagovets, Ph.D. (FzÚ AV ČR, ELI-Beamlines)⁴⁶

Konzultant(i): doc. Ing. J. Pšikal, Ph.D.⁴⁷, Ing. F. Grepl (FzÚ AV ČR, ELI-Beamlines)

Student(ka):

Abstrakt: Současný vývoj laserových systémů s vysokou opakovací frekvencí (1–10 Hz) a s vysokým špičkovým výkonem až do několika PW umožňuje zkoumání nových mechanismů urychlování iontů z laserem ionizovaných terčů. Aktuálním problémem je vývoj vhodných terčových systémů pro urychlování iontů se schopností obnovit cíl při 10 Hz provozu. Cílem práce bude seznámení se s různými typy vodních a kryogenních terčů (vznikajících přes trysku) vhodných pro vysokorepetiční laserové urychlování iontů, návrh a realizace optické sestavy pro monitorování terčových parametrů (např. pomocí interferometrie) jako je jejich tloušťka, poloha, úhel natočení apod. a experimentální zkoumání terčových parametrů v závislosti na nastavení terčového systému.

⁴⁶timofej.chagovets@eli-beams.eu

⁴⁷<mailto:jan.psikal@fjfi.cvut.cz>

Rámcové téma práce č. 31:

Diagnostika iontů urychlených z plazmatu petawattovým laserem

Typ práce: BP, VÚ, DP

Vedoucí práce: Dr. L. Giuffrida (FzÚ AV ČR, ELI-Beamlines)⁴⁸

Konzultant(i): doc. Ing. J. Pšikal, Ph.D.⁴⁹

Student(ka):

Abstrakt: Rozličné teoreticky popsané mechanismy by měly být schopné urychlit ionty z plazmatu interagujícího s extrémně intenzivním laserovým svazkem. Tyto ionty je pro ověření těchto teoretických konceptů třeba experimentálně spolehlivě detektovat. Tato práce se bude zabývat experimentální diagnostikou urychlených iontů, jejím testováním a současně vyhodnocováním naměřených dat (detektory měření doby průletu, radiochromické filmy, stopové detektory CR39). Vzhledem k zahraničnímu vedoucímu práce se předpokládá psaní práce v angličtině.

⁴⁸Lorenzo.Giuffrida@eli-beams.eu

⁴⁹<mailto:jan.psikal@fjfi.cvut.cz>

Rámcové téma práce č. 32:

Kinetické modelování laserového plazmatu pomocí Vlasov-Maxwellova kódu

Typ práce: BP, VÚ

Vedoucí práce: RNDr. Martin Mašek, Ph.D. (FzÚ AV ČR)⁵⁰

Konzultant(i): doc. Ing. J. Pšikal, Ph.D.⁵¹

Student(ka):

Abstrakt: Vzhledem k rostoucí kapacitě stávajících i nově budovaných výpočetních systémů představují Vlasovovské simulace dobrou alternativu k populární metodě Particle-in-Cell (PIC). Jejich hlavní výhodou oproti metodě PIC je, že neobsahují šum, který může zakrýt drobné detaily rozdělovací funkce. Tyto detaily však na druhou stranu mohou hrát významnou roli pro celkový vývoj pozorovaného fyzikálního systému. Cílem práce by bylo podílet se na vývoji již existujícího Vlasovovského kódu a aplikovat jej na studium interakce intenzivního laserového impulsu s terčem. Vzhledem k bezšumovosti použité metody lze velmi dobře modelovat například vývoj parametrických nestabilit v koróně laserového plazmatu a na něj navázané další fyzikální efekty.

⁵⁰<mailto:masekm@fzu.cz>

⁵¹<mailto:jan.psikal@fjfi.cvut.cz>

Rámcové téma práce č. 33:

Simulace laserového urychlování protonů

Typ práce: BP, VÚ

Vedoucí práce: doc. Ing. J. Pšikal, Ph.D.⁵²

Konzultant(i):

Student(ka):

Abstrakt: Během interakce intenzivních laserových svazků s ionizovanými terči dochází ke generaci velmi silných kvazistatických elektrických polí uvnitř nebo na okrajích ionizovaných terčů. Tato pole mohou urychlovat nabitě částice na velmi vysoké energie. Ačkoliv bylo provedeno již mnoho simulací tohoto laserového urychlování protonů, téma stále není vyčerpáno. Zajímavou otázkou je například urychlování v případě různých hustotních profilů plazmatu (ionizovaných terčů) nebo částicové simulace urychlování protonů v případě laserových impulzů o časové délce nad 1 ps.

⁵²<mailto:jan.psikal@jfji.cvut.cz>

Rámcové téma práce č. 34:

Vyhlazování multi-materiálových výpočetních sítí

Typ práce: BP, VÚ

Vedoucí práce: doc. Ing. M. Kuchařík, Ph.D.⁵³

Konzultant(i):

Student(ka):

Abstrakt: Vylepšování kvality výpočetních sítí je podstatnou součástí numerických metod, které dovolují jejich pohyb. Náplní práce bude studium známých metod pro vylepšování geometrické kvality výpočetních sítí. Hlavním tématem pak bude vyhlazování sítě v blízkosti vnějších a vnitřních hranic (materiálových rozhraní). Cílem práce je vývoj metod způsobujících co nejmenší míchání materiálů na opačných stranách rozhraní.

⁵³<mailto:kucharik@newton.fjfi.cvut.cz>

Rámcové téma práce č. 35:

Konzistence kinetické energie při interpolaci stavových veličin

Typ práce: BP, VÚ

Vedoucí práce: doc. Ing. M. Kuchařík, Ph.D.⁵⁴

Konzultant(i):

Student(ka):

Abstrakt: Při hydrodynamických simulacích pomocí Lagrangeovsko-Eulerovských (ALE) metod dochází k nekonzistenci při interpolaci kinetické energie kvůli podmínce na zachování hybnosti, což se typicky řeší pomocí opravy vnitřní energie. Tento přístup však může vést k jejímu poškození. Cílem práce bude implementace, otestování a vylepšení několika možných přístupů pro opravu vnitřní energie a jejich porovnání v případě multimateriálových stavových veličin ve střídané (staggered) diskretizaci.

⁵⁴<mailto:kucharik@newton.fjfi.cvut.cz>

Rámcové téma práce č. 36:

Studium konvergence Lagrangeovsko-Eulerovských (ALE) metod

Typ práce: BP, VÚ

Vedoucí práce: doc. Ing. M. Kuchařík, Ph.D.⁵⁵

Konzultant(i):

Student(ka):

Abstrakt: Pro simulace hydrodynamiky tekutin lze používat několik typů metod z hlediska chování výpočetní sítě. ALE metody jsou založeny na kombinaci metod Lagrangeovského a Eulerovského typu, přičemž podíl Eulerovské složky se často liší v různých simulacích a pro různá rozlišení výpočetní sítě. Cílem práce bude studie konvergence pro čistě Lagrangeovské metody, Eulerovské metody a ALE metody s různými parametry ve střídané (staggered) diskretizaci.

⁵⁵<mailto:kucharik@newton.fjfi.cvut.cz>

Rámcové téma práce č. 37:

Vysoce přesné algoritmy pro interpolace funkcí v Lagrangeovsko-Eulerovských (ALE) metodách

Typ práce: BP, VÚ, DP

Vedoucí práce: doc. Ing. M. Kuchařík, Ph.D.⁵⁶

Konzultant(i):

Student(ka):

Abstrakt: Při změně (vyhlazení) výpočetní sítě v průběhu ALE simulace musí nevyhnutelně následovat interpolace dat (remapování) z Lagrangeovské sítě na vyhlazenou. U tradičních metod lze ukázat jejich druhý řád přesnosti v případě hladkých profilů remapovaných veličin, v případě nespojitých dat však chyba významně roste. Cílem práce je prozkoumat možnosti nelineárních (a nepolynomiálních) interpolací dat v rámci kombinované metody používající různé aproximace v jednotlivých buňkách výpočetní sítě.

⁵⁶<mailto:kucharik@newton.fjfi.cvut.cz>

Rámcové téma práce č. 38:

Robustní výpočet průniků mnohostěnů

Typ práce: BP, VÚ)

Vedoucí práce: Ing. M. Klíma, Ph.D.⁵⁷

Konzultant(i):

Student(ka):

Abstrakt: Náročné numerické simulace komplexních problémů hydrodynamiky se často realizují Lagrangeovsko-Eulerovskými metodami (ALE), jejichž součástí je vyhlazování zdeformovaných výpočetních sítí. Po vyhlazení je nutné použít tzv. remapping - konzervativní interpolaci fyzikálních veličin na novou výpočetní síť. Tyto interpolační metody často závisí na rychlých a robustních výpočtech průniků sousedních buněk sítě.

Náplní práce studenta bude rešerše a srovnání algoritmů a dostupných softwarových nástrojů pro výpočet průniku dvou mnohostěnů. Student implementuje vybrané metody ve vlastním kódu na vhodných testovacích geometrických případech (čtyřstěny/kvádry) a provede porovnání jejich robustnosti, výpočetní náročnosti a přesnosti v případě výpočtu objemu a geometrického středu průniku. Zvláštní zřetel bude kladen na přesnost výsledku v případě velmi malých průniků (případy těsně se překrývajících stěn/hran/rohů).

⁵⁷<mailto:matej.klima@fjfi.cvut.cz>

Laser diagnostics for a laser-plasma electron accelerator

Bachelor/Master thesis

Abstract:

Laser-plasma accelerators are the new frontier for compact particle accelerators. By using ultrashort (fs) and high-power lasers (TW-PW level) it is possible to accelerate electrons up to GeV energies in few cm distances. However, to fully exploit this potential, the laser parameters at the point of interaction must be fully measured in space and time, and hence optimized to have the highest intensity possible.

The candidate will be integrated and participate in the experimental activities of the Electron Acceleration Group at ELI-Beamlines, where he/she will get both the possibilities to study state of the art laser operation and have a feeling of the researcher life in this field.

He/she will learn how to describe a laser pulse mathematically, have practical experience with laser system, alignment and diagnostics and, in particular, specialize in one aspect of diagnosis characterization. He/she is expected to give a contribution to the implementation of measurement techniques in a real laboratory setup.

Exact work depends on the candidate interest, level of preparation, and on the current experiment running at the time of practice.

Possible topics are:

- Short pulse duration measurement by spectral interferometry
- Spatial profile imaging and focal spot
- Alignment beam installation
- Big optics installation and testing in clean-room environment
- High-resolution imaging of plasma-interaction

No particular software skill is required, except basics software for data analysis and data presentation.

External supervisor:

Carlo M. Lazzarini, Msc. (FzÚ, AVČR, ELI-Beamlines project)

CarloMaria.Lazzarini@eli-beams.eu

Consultant:

Ing. Michal Nevrkla, PhD. (KFE, FJFI)

TÉMATA STUDENTSKÝCH PRACÍ PRO ŠKOLNÍ ROK 2021–22

Rámcové téma práce č. 40:

Kvantové vlastnosti plazmonických nanostruktur: analýza a simulace

Typ práce: BP (VÚ)

Vedoucí práce: doc. Dr. Ing. I. Richter⁵⁸

Konzultant(i): doc. Ing. L. Kalvoda, CSc.⁵⁹

Student(ka):

Abstrakt:

⁵⁸<mailto:ivan.richter@fjfi.cvut.cz>

⁵⁹<mailto:ladislav.kalvoda@fjfi.cvut.cz>

TÉMATA STUDENTSKÝCH PRACÍ PRO ŠKOLNÍ ROK 2021–22

Rámcové téma práce č. 41:

Interakce kvantovaného optického pole s vybranými kvantovými systémy

Typ práce: BP (VÚ)

Vedoucí práce: doc. Dr. Ing. I. Richter⁶⁰

Konzultant(i):

Student(ka):

Abstrakt:

⁶⁰<mailto:ivan.richter@fjfi.cvut.cz>

TÉMATA STUDENTSKÝCH PRACÍ PRO ŠKOLNÍ ROK 2021–22

Rámcové téma práce č. 42:

Nelokální a kvantové efekty v plazmonických nanostrukturách

Typ práce: BP (VÚ)

Vedoucí práce: doc. Dr. Ing. I. Richter⁶¹

Konzultant(i): Ing. P. Kwiecien, Ph.D.⁶²

Student(ka):

Abstrakt:

⁶¹<mailto:ivan.richter@fjfi.cvut.cz>

⁶²<mailto:pavel.kwiecien@fjfi.cvut.cz>

TÉMATA STUDENTSKÝCH PRACÍ PRO ŠKOLNÍ ROK 2021–22

Rámcové téma práce č. 43:

Neklasické stavy světla: základní vlastnosti a možnosti jejich realizace

Typ práce: BP (VÚ)

Vedoucí práce: Ing. M. Dvořák, Ph.D.⁶³

Konzultant(i): doc. Dr. Ing. I. Richter⁶⁴

Student(ka):

Abstrakt:

⁶³<mailto:miroslav.dvorak@fjfi.cvut.cz>

⁶⁴<mailto:ivan.richter@fjfi.cvut.cz>

Návrh zadání diplomové práce / výzkumného úkolu 1

Název tématu: *Plasmonické nanostruktury pro miniaturní optické biosenzory*

Zásady pro vypracování:

Tématem diplomové práce je výzkum optických nanostruktur s povrchovými plasmony a jejich využití pro konstrukci nových optických biosenzorů schopných vysoce lokalizované detekce biomolekul. Teoretická část práce bude zaměřena na modelování optických vlastností metalických nanostruktur numerickými metodami, např. metodou konečných diferencí v časové doméně (FDTD). V experimentální části práce se student bude věnovat přípravě nanostruktur metodami elektronové a koloidní litografie a vývoji optického systému pro spektroskopii povrchových plasmonů na těchto nanostrukturách. Diplomant se bude rovněž podílet na experimentech, v nichž budou realizované nanostruktury a optický systém využity pro citlivou detekci vybraných biomolekul.

Předpokládané znalosti:

Vlnové jevy na rozhraní prostředí, povrchový plasmon, optické vlnovodné a difrakční struktury, optika kovů, optické senzory a biosenzory.

Seznam odborné literatury:

1. S. Enoch, N. Bonod (editors): Plasmonics: from basics to advanced topics, Springer, 2012.
2. J. Homola (editor): Surface plasmon resonance based sensors, Springer, 2006.
3. S. A. Maier: Plasmonics: fundamentals and applications, Springer, 2007.

Školící pracoviště: Ústav fotoniky a elektroniky AV ČR, v. v. i. (ÚFE)
Chaberská 57, 182 57 Praha 8

Školitel: Prof. Ing. Jiří Homola, CSc., DSc., ÚFE AV ČR
Konzultant: Doc. Ing. Ivan Richter, Dr., KFE FJFI

Návrh zadání diplomové práce / výzkumného úkolu 3

Název tématu: *Plasmonické nanostruktury s extraordinární transmisí pro optické biosenzory*

Zásady pro vypracování:

Tématem diplomové práce je výzkum plasmonických nanostruktur s extraordinární transmisí a jejich využití pro konstrukci optických biosenzorů pro vysoce citlivou detekci biomolekul. Teoretická část práce bude zaměřena na modelování optických vlastností plasmonických nanostruktur založených na uspořádaném poli děr nanoskopických rozměrů v tenké kovové vrstvě a studium vlivu parametrů nanostruktury na citlivost k lokalizovaným molekulárním procesům v různých oblastech nanostruktury. Experimentální část práce bude věnována přípravě a charakterizaci nanostruktur metodami elektronové litografie a rastrovací elektronové mikroskopie a realizaci optického systému pro měření (spektrální) transmisie na těchto nanostrukturách. Student se bude rovněž podílet na experimentech, v nichž budou realizované nanostruktury a optický systém využity pro citlivou detekci vybraných biomolekul.

Předpokládané znalosti:

Vlnové jevy na rozhraní prostředí, povrchový plasmon, difrakční struktury, optika kovů, optické senzory a biosenzory.

Seznam odborné literatury:

1. S. C. Genet and T. W. Ebbesen: Light in tiny holes, *Nature* 445, 39-46, 2007.
2. J. Homola (editor): Surface plasmon resonance based sensors, Springer, 2006.
3. J. A. Jackman, A. R. Ferhanab and N.-J. Cho: Nanoplasmonic sensors for biointerfacial science, *Chem. Soc. Rev.*, 46, 3615-3660 (2017).

Školící pracoviště: Ústav fotoniky a elektroniky AV ČR, v. v. i. (ÚFE)
Chaberská 57, 182 57 Praha 8

Školitel: Prof. Ing. Jiří Homola, CSc., DSc., ÚFE AV ČR
Konzultant: Doc. Ing. Ivan Richter, Dr., KFE FJFI

Rámcové téma práce: Příprava polovodičových nanostruktur

Typ práce: BP, VÚ, DP

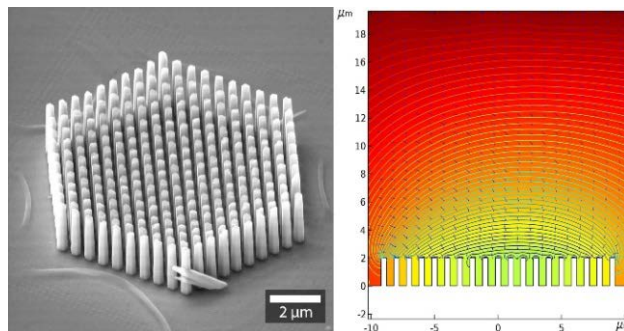
Školící pracoviště: Ústav fotoniky a elektroniky AV ČR, v. v. i. (ÚFE)

Vedoucí práce: Jan Grym, Ph. D., grym@ufe.cz

Konzultant: doc. Dr. Ing. Ivan Richter, České vysoké učení technické v Praze, Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská, Katedra fyzikální elektroniky.

Abstrakt:

Polovodičové nanostruktury jsou základními stavebními kameny moderních elektronických a optoelektronických součástek. Cílem práce je popsat mechanismy růstu jednodimenzionálních polovodičových nanostruktur (nanotyček) z roztoků. S využitím litografických technik budou nanotyčky připravovány v hexagonálních periodických polích, která umožňují studovat rychlosti růstu jednotlivých krystalografických ploch a ovlivňovat ji parametry procesu a řízeným dopováním. Práci je možno zaměřit teoreticky i experimentálně.



Rámcové téma práce: Elektrická charakterizace jednotlivých polovodičových nanotyček

Typ práce: BP, VÚ, DP

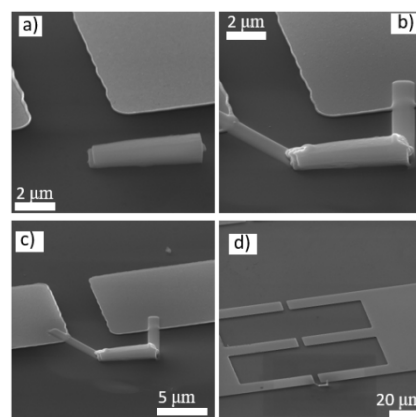
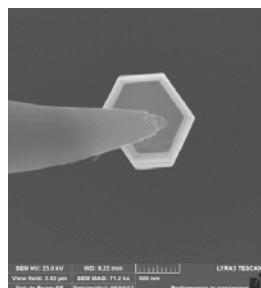
Školící pracoviště: Ústav fotoniky a elektroniky AV ČR, v. v. i. (ÚFE)

Vedoucí práce: Jan Grym, Ph. D., grym@ufe.cz

Konzultant: doc. Dr. Ing. Ivan Richter, České vysoké učení technické v Praze, Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská, Katedra fyzikální elektroniky.

Abstrakt:

Pro širší využití polovodičových nanostruktur v elektronice je nutné vyvinout metody pro charakterizaci jejich fyzikálních vlastností. Práce bude směřována do oblasti elektrické charakterizace jednotlivých nanotyček a jejich heterostruktur. Cílem je vyvinout metody, které umožní elektricky charakterizovat jednotlivou kolmo stojící nanotyčku s využitím vodivého hrotu mikroskopu atomárních sil nebo hrotu nanomanipulátoru v elektronovém mikroskopu a následně nanotyčku přenést



pomocí nanomanipulátoru na nevodivý substrát a deponovat kontakty s využitím injekčního systému plynů nebo elektronové litografie.

Rámcové téma práce: Využití elektronových a iontových svazků pro přípravu a charakterizaci polovodičových nanostruktur

Typ práce: BP, VÚ, DP

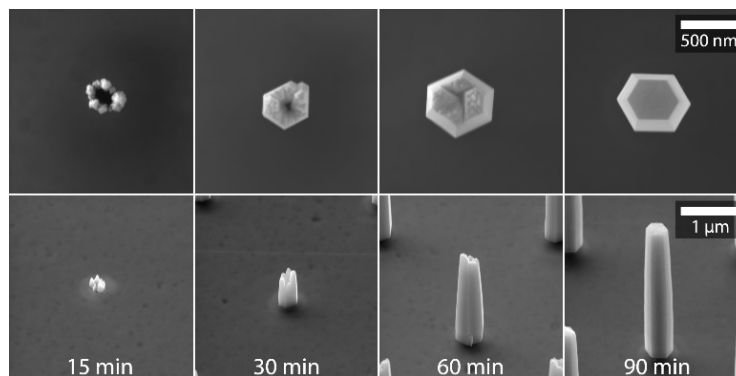
Školící pracoviště: Ústav fotoniky a elektroniky AV ČR, v. v. i. (ÚFE)

Vedoucí práce: Jan Grym, Ph. D., grym@ufe.cz

Konzultant: doc. Dr. Ing. Ivan Richter, České vysoké učení technické v Praze, Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská, Katedra fyzikální elektroniky.

Abstrakt:

Polovodičové nanostruktury jsou intenzivně studovány pro budoucí elektronické a fotonické aplikace. Fokusevané elektronové a iontové svazky umožňují modifikovat podložku v oblastech o velikosti desítek nanometrů a ovlivňovat tak umístění nanostruktur na podložce. Ve spojení s injekčním systémem plynů a s nanomanipulátorem pak lze připravovat



elektrické kontakty na jednotlivých nanotyčkách přímo v elektronovém mikroskopu. Cílem práce je studovat interakci fokusovaných elektronových a iontových svazků s podložkou, využít elektronové a iontové litografie pro řízenou nukleaci a růst polovodičových nanostruktur a studovat jejich fyzikálních vlastností s ohledem na aplikační potenciál ve zdrojích zelené energie, v senzorech chemických látek a ve zdrojích a detektorech světla.

Témata studentských prací ve výzkumném týmu Nano-optika

Rámcové téma práce: Mikroskopie s vysokou snímkovací frekvencí

Typ práce: BP (Bakalářská práce)

Školící pracoviště: Ústav fotoniky a elektroniky AV ČR, v. v. i. (ÚFE)
Chaberská 57, 182 57 Praha 8

Vedoucí práce: Marek Piliarik, Ph. D.
Piliarik@ufe.cz

Konzultant: doc. Dr. Ing. Ivan Richter
České vysoké učení technické v Praze, Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská,
Katedra fyzikální elektroniky

Abstrakt:

Světelná mikroskopie zůstává klíčovou metodou pozorování biologických a biomolekulárních vzorků pro pochopení jejich funkce a dynamiky. V nano-optice jsme dokonce posunuli hranice citlivosti zobrazení až na úroveň jednotlivých molekul a dokážeme studovat dynamiku molekulárních soustav hluboko pod rozlišovací schopností světla. Moderní zobrazovací metody založené na rozptylu světla umožnily zkrátit expoziční doby pro mikroskopické snímky na úroveň mikrosekund a získat detailní záznam pohybu nano-objektů s přesností jednotek nanometrů. S tímto posunem mikroskopických technik ale souvisí řada nových technologických výzev jednak na straně řízení experimentu, sběru a zpracování obrazových dat, jednak na straně interpretace a pochopení pozorovaných jevů.

Cílem bakalářské práce bude sestavení experimentální aparatury mikroskopu s interferenčním kontrastem se snímkovací frekvencí přesahující 100 tis snímků za sekundu a její využití pro velmi přesné trasování nanočástic v reálných systémech interagujících biomolekul.

Zásady pro vypracování:

Práce se zabývá metodou interferometrické detekce a zobrazení rozptýleného světla. V rámci teoretické části se bude student zabývat limity detekce rozptýleného světla a nároky na zobrazovací a detekční systém mikroskopu. Pozornost bude věnována difuzním vlastnostem zkoumaných objektů svázaných molekulární kotvou s pozorovanými molekulami. Realizovaný systém bude využit ke studiu fyzikální a biomolekulární dynamiky na nanoskopické úrovni.

Seznam odborné literatury:

1. S. Spindler et al., Visualization of lipids and proteins at high spatial and temporal resolution via interferometric scattering (iSCAT) microscopy *J. Phys. D: Appl. Phys.* **49** (2016) 274002.
2. M. Piliarik, V. Sandoghdar, Direct optical sensing of single unlabelled proteins and super-resolution imaging of their binding sites, *Nature Communications* **5** (2014) 4495.
3. L. Novotny, B. Hecht, Principles of Nano-Optics, Cambridge University Press 2006.
4. J. Ortega Arroyo, Investigation of Nanoscopic Dynamics and Potentials by Interferometric Scattering Microscopy, Springer Theses 2018.

Další časopisecká literatura.

Témata studentských prací ve výzkumném týmu Nano-optika

Rámcové téma práce: Nanoskopie rozptýleného světla na molekulách

Typ práce: BP, DP (Bakalářská práce, Diplomová práce)

Školící pracoviště: Ústav fotoniky a elektroniky AV ČR, v. v. i. (ÚFE)
Chaberská 57, 182 57 Praha 8

Vedoucí práce: Marek Piliarik, Ph. D.
Piliarik@ufe.cz

Konzultant: doc. Dr. Ing. Ivan Richter
České vysoké učení technické v Praze, Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská,
Katedra fyzikální elektroniky

Abstrakt:

Rozptyl je nejzákladnější interakcí světla s hmotou. To, jakou část světla daný, konečně malý objekt rozptýlí je určeno jeho účinným průřezem na použité vlnové délce. Tento rozptyl lze detekovat přímým optickým měřením odraženého nebo prošlého světla s citlivostí, která dokáže i ve viditelné oblasti světla rozeznat fluktuace odpovídající změnám na úrovni až jednotlivých molekul. Takové metody byly nedávno vyvinuty na několika předních světových pracovištích. Interferometrická detekce rozptýleného světla (iSCAT) využívaná v naší laboratoři je dosud jediná, která dokáže zaznamenat jednoznačnou informaci o změnách odpovídajících jediné molekule nebo velmi malé nanočástici kdekoli v zorném poli mikroskopu.

Cílem bakalářské práce je (s využitím unikátního know-how ve skupině nano-optiky) sestavení a experimentální charakterizace iSCAT interferenčního mikroskopu s optimalizovanou referenční vlnou a jeho využití k detekci extrémně malých nanočástic a nezačtených proteinů.

Zásady pro vypracování:

Práce se zabývá metodou interferometrické detekce a zobrazení rozptýleného světla rozšířenou o možnost úpravy referenčního svazku v zadní ohniskové rovině mikroskopu. Student se bude zabývat optimalizací poměru signálu k šumu při detekci rozptýleného světla v interferometrické konfiguraci. Optimalizace bude zaměřena na detekci co nejmenších objektů až na úroveň atomárních klastrů a jednotlivých biomolekul a bude optimalizovaná jak citlivost tak co nejmenší expoziční doba pro zobrazení jednotlivých objektů.

Seznam odborné literatury:

1. K. Lindfors, T. Kalkbrenner, P. Stoller, V. Sandoghdar, Detection and spectroscopy of gold nanoparticle using supercontinuum white light confocal microscopy. *Phys. Rev. Lett.* **93** (2004) 037401
2. M. Piliarik, V. Sandoghdar, Direct optical sensing of single unlabelled proteins and super-resolution imaging of their binding sites, *Nature Communications* **5** (2014) 4495.
3. M. Liebel, J. T. Hugall, and N. F. van Hulst, Ultrasensitive Label-Free Nanosensing and High-Speed Tracking of Single Proteins, *Nano Lett.* **17** (2017), 1277
4. G. Young et al., Quantitative mass imaging of single biological macromolecules, *Science* **360** (2018) 423

Další časopisecká literatura.

Témata studentských prací ve výzkumném týmu Nano-optika

Rámcové téma práce: Korelativní mikroskopie rozptylových značek

Typ práce: DP (Diplomová práce)

Školící pracoviště: Ústav fotoniky a elektroniky AV ČR, v. v. i. (ÚFE)
Chaberská 57, 182 57 Praha 8

Vedoucí práce: Marek Piliarik, Ph. D.
Piliarik@ufe.cz

Konzultant: doc. Dr. Ing. Ivan Richter
České vysoké učení technické v Praze, Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská,
Katedra fyzikální elektroniky

Abstrakt:

Světelná mikroskopie zůstává klíčovou metodou pozorování biologických a biomolekulárních vzorků pro pochopení jejich funkce a dynamiky. V nano-optice jsme dokonce posunuli hranice citlivosti zobrazení až na úroveň jednotlivých molekul a dokážeme studovat dynamiku molekulárních soustav hluboko pod rozlišovací schopností světla. Kombinace optického zobrazení dynamiky a korelovaného zobrazení s vysokým rozlišením, například pomocí rastrovací sondy, je mimořádně efektivní přístup například v buněčné biologii.

Cílem diplomové práce bude rozšíření možností korelativní mikroskopie z úrovně jednotlivých buněk na úroveň jednotlivých molekul. Pro optické zobrazování bude využito unikátní know-how výzkumného týmu Nano-optiky. Pro zobrazování s vysokým rozlišením bude využita převážně mikroskopie atomárních sil dostupná na pracovišti, kterou je možné s optickým mikroskopem kombinovat.

Zásady pro vypracování:

1. Seznámení se s interferenční mikroskopií rozptýleného světla (iSCAT) a sledováním dynamiky na nanometrové úrovni.
2. Seznámení se s obsluhou mikroskopu atomárních sil (AFM).
3. Analýza omezení korelativních měření (iSCAT-AFM).
4. Studium dimerů a klastrů zlatých nanočástic (5 nm – 20 nm) pomocí iSCAT-AFM zobrazování.

Seznam odborné literatury:

1. C. F. Bohren, D. R. Huffman, Absorption and Scattering of Light by Small Particles, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. 2004.
2. L. Novotny, B. Hecht, Principles of Nano-Optics, Cambridge University Press 2006.
3. M. Piliarik, V. Sandoghdar, Direct optical sensing of single unlabelled proteins and super-resolution imaging of their binding sites, Nat. Commun. 5 (2014) 4495
4. S. Weisenburger and V. Sandoghdar, Light Microscopy: An ongoing contemporary revolution, Contemporary Physics 56 (2015) 123
5. B.E.A. Saleh, M.C. Teich, Fundamentals of Photonics, John Wiley & Sons, Inc. 2007.
6. M. McDonald et al., Visualizing single-cell secretion dynamics with single protein sensitivity, Nano Lett. 2017,

Další časopisecká literatura.

TÉMATA STUDENTSKÝCH PRACÍ PRO ŠKOLNÍ ROK 2021–22

Rámcové téma práce č. 52:

Možnosti využití grafenu v fotonických a plazmonických nanostrukturách

Typ práce: BP, VÚ (DP)

Vedoucí práce: doc. Dr. Ing. I. Richter⁶⁵

Konzultant(i):

Student(ka):

Abstrakt: Cílem práce je rozbor základní fyziky a zejména optických vlastností nového perspektivního 2D materiálu, tvořeného monovrstvou uhlíkových atomů s mnoha unikátními a ojedinělými vlastnostmi – grafenu. V této fázi by se jednalo o úvodní rešeršní a teoretickou studii, ovšem s potenciálním významem pro by byla významná pro mnoho aplikací, ve fotonických i plazmonických nanostrukturách. Ukazuje se, že grafen má, kromě materiálových a elektrických i unikátní vlastnosti elektrodynamické a optické, zahrnující např. existenci povrchových vln, plazmonů, apod.

⁶⁵<mailto:ivan.richter@fjfi.cvut.cz>

Rámcové téma práce č. 53:

Subvlnově strukturované vlnovodné struktury

Typ práce: BP, VÚ (DP)

Vedoucí práce: doc. Dr. Ing. I. Richter⁶⁶

Konzultant(i):

Student(ka):

Abstrakt: Cílem práce je rozbor problematiky interakce světla, podpořený numerickými simulacemi, se speciálním typem nových vlnovodných a fotonických struktur na nich založených, které byly nedávno navrženy kolegy v Kanadě. Jsou založeny na myšlence, že světlo se může šířit, kromě standardního vlnovodného způsobu pomocí periodicky se opakujících, prostorově oddělených struktur, s rozměry podstatně menšími než interagující vlnová délka (tzv. subvlnový režim). V takovém případě, jak se ukazuje, i na základě našich předchozích simulací, se světlo může celkovou strukturou šířit až překvapivě efektivně. Tato studie by mohla být významná pro mnoho aplikací.

⁶⁶<mailto:ivan.richter@fjfi.cvut.cz>

Rámcové téma práce č. 54:

Vlnovodné a fotonické struktury s kompenzací zisku a ztrát

Typ práce: BP, VÚ (DP)

Vedoucí práce: doc. Dr. Ing. I. Richter⁶⁷

Konzultant(i):

Student(ka):

Abstrakt: Cílem práce je rozbor problematiky interakce světla, podpořený numerickými simulacemi, se speciálním typem nových vlnovodných a fotonických struktur na nich založených, které obsahují části se ztrátami, kompenzované jinými částmi vykazujícími zisk. Tyto struktury se také v širším kontextu nazývají fotonickými analogy kvantově mechanických struktur s narušenou symetrií parita-čas (PT), respektive nehermitovské systémy (s komplexními potenciály), představují tak jedno z nových perspektivních témat nejen ve fotonice. Příkladem mohou být vzájemně vázané fotonické vlnovody, v nichž některé vykazují ztráty, jiné zisk, vzájemně se kompenzující. Takovéto struktury vykazují prudké změny disperzního chování a přináší tak mnoho nové a překvapivé fyziky. Tato studie by mohla být významná pro mnoho potenciálních aplikací ve fotonice.

⁶⁷<mailto:ivan.richter@fjfi.cvut.cz>

TÉMATA STUDENTSKÝCH PRACÍ PRO ŠKOLNÍ ROK 2021–22

Rámcové téma práce č. 55:

Vybrané problémy šíření elektromagnetického pole ve fotonických a plazmonických strukturách

Typ práce: BP, VÚ (DP)

Vedoucí práce: doc. Dr. Ing. I. Richter⁶⁸

Konzultant(i):

Student(ka):

Abstrakt: Cílem práce je rozbor problematiky interakce světla s fotonickými strukturami, se zaměřením na fyzikální a (kvazi)analytické pohledy, na konkrétních aplikacích, na vybraných strukturách. Tato studie by byla významná pro mnoho aplikací.

⁶⁸<mailto:ivan.richter@fjfi.cvut.cz>

Rámcové téma práce č. 56:

Fyzikální chování vybraných metamateriálů a metapovrchů

Typ práce: BP, VÚ (DP)

Vedoucí práce: doc. Dr. Ing. I. Richter⁶⁹

Konzultant(i):

Student(ka):

Abstrakt: Předmětem zájmu budou nové typy materiálů, tzv. metamateriály, tedy materiály se záporným indexem lomu. Cílem práce je – na základě seznámení se se základy fyziky metamateriálů a možnostmi popisu jejich fungování – diskutovat a rozebrat možnosti jejich aplikací.

⁶⁹<mailto:ivan.richter@jfji.cvut.cz>

Rámcové téma práce č. 57:

Rezonanční efekty ve fotonických a plazmonických nanostrukturách (pro senzorické aplikace)

Typ práce: BP, VÚ (DP)

Vedoucí práce: doc. Dr. Ing. I. Richter⁷⁰

Konzultant(i):

Student(ka):

Abstrakt: Sensory na bázi povrchových plazmonů, ať již šířících se, lokalizovaných či jejich kombinací, představují dnes velmi přesnou a atraktivní variantu sledování velmi malých změn koncentrací sledovaných látek. Základem je jejich rezonanční odezva, tedy dobře sledovatelná prudká výrazná změna určitého výstupního parametru (např. reflexe světla od takovéto struktury) na základě velmi malé změny parametru vstupního (např. vlnová délka či úhel dopadu použitého světla). Pro takovéto aplikace je zapotřebí pochopit a umět využít fyziku těchto rezonančních efektů, vyskytujících se v takovýchto nanostrukturách.

⁷⁰<mailto:ivan.richter@fjfi.cvut.cz>

Rámcové téma práce č. 58:

Povrchové vlny a efekty v nanostrukturách

Typ práce: BP, VÚ (DP)

Vedoucí práce: doc. Dr. Ing. I. Richter⁷¹

Konzultant(i):

Student(ka):

Abstrakt: V současné době nanostruktury představují atraktivní a variantu, často využívané povrchových vln a jevů, s řadou zajímavých efektů, zejména rezonančního charakteru. Takovéto vlny a efekty mohou být založeny jednak na povrchových plazmonech (ať již šířících se, lokalizovaných či jejich kombinací), ale také mohou být jiného (dielektrického, hybridní vlny, apod.), respektive kombinovaného charakteru (např. Tammovy, Dyakonovy, Zenneckovy, aj. vlny). Cílem práce by bylo seznámení s fyzikou povrchových vln a souvisejícími efekty v nanostrukturách, zejména rezonančního charakteru, včetně možností jejich aplikací. Byla by zkoumána potenciální možnost takovýchto rezonancí pro senzorické aplikace.

⁷¹<mailto:ivan.richter@jfji.cvut.cz>

Rámcové téma práce č. 59:

**Nelineární efekty ve fotonických a plazmonických nanostruktu-
rách**

Typ práce: BP, VÚ (DP)

Vedoucí práce: doc. Dr. Ing. I. Richter⁷²

Konzultant(i):

Student(ka):

Abstrakt: V současné době nelineární fotonické a plazmonické nanostruktury, založené na různých nelineárních optických efektech, začínají nabývat na významu, jak pro své možnosti aplikací (opticky řízené funkcionality struktur, zejména ve fotonice, optických komunikacích a zpracování informace, apod.), tak novou a zajímavou fyzikou, která není přítomna v systémech lineárních (samopulzace, optické limitování, generace nových frekvencí, chaotické chování, apod.). Po úvodní rešerši a analýze by se pozornost soustředila na vybranou nelinearitu a třídy struktur, byla by provedena detailnější analýza, vhodnou kombinací přibližných a numerických přístupů. Cílem práce je také seznámení se s vybranými přístupy a metodami a jejich aplikacemi na modelování chování vybraných nelineárních fotonických a plazmonických nanostruktur.

⁷²<mailto:ivan.richter@fjfi.cvut.cz>

Rámcové téma práce č. 60:

Základy fyzikálního chování kvantových nanostruktur

Typ práce: BP, VÚ (DP)

Vedoucí práce: doc. Dr. Ing. I. Richter⁷³

Konzultant(i):

Student(ka):

Abstrakt: Nanotechnologie a nanostruktury jsou dnes velmi módním mezioborovým tématem přinášejícím zcela nové pohledy na fyziku i inženýrské aplikace, v mnoha odvětvích lidské činnosti. Cílem práce je – na základě seznámení se se základy fyziky kvantových nanostruktur a možnostmi popisu jejich fungování – diskutovat a rozebrat možnosti jejich dalších aplikací.

⁷³<mailto:ivan.richter@jfji.cvut.cz>

Rámcové téma práce č. 61:

Fyzika periodických fotonických a plazmonických nanostruktur

Typ práce: BP, VÚ (DP)

Vedoucí práce: doc. Dr. Ing. I. Richter⁷⁴

Konzultant(i):

Student(ka):

Abstrakt: Periodické fotonické a plazmonické nanostruktury (jako např. metalické difrakční mřížky, metalo-dielektrické fotonické krystaly, apod.) nalézají celou řadu nových možností uplatnění v praxi. Jejich využití zasahuje dnes řadu možností, např. ve spektroskopii (např. pro tzv. povrchově zesílený Ramanův rozptyl), sensorice (senzory na bázi povrchových plazmonů), apod. Je přitom snahou využívat a studovat řadu různých forem a druhů takovýchto periodických struktur. Ukazuje se, že pro správnou analýzu a předpověď chování takovýchto struktur v konkrétních aplikacích je třeba využívat elektromagnetických přístupů a počítačového modelování. Cílem práce je také seznámení se s vybranými přístupy a metodami a jejich aplikacemi na modelování chování vybraných plazmonických nanostruktur.

⁷⁴<mailto:ivan.richter@fjfi.cvut.cz>

Rámcové téma práce č. 62:

Metody pro modelování fotonických a plazmonických nanostruktur

Typ práce: BP, VÚ (DP)

Vedoucí práce: Ing. P. Kwiecien, Ph.D.⁷⁵

Konzultant(i): doc. Dr. Ing. I. Richter⁷⁶

Student(ka):

Abstrakt: Předmětem zájmu budou numerické metody (jak ve frekvenční, tak časové doméně) pro simulace chování elektromagnetického záření ve fotonických a plazmonických mikro a nanostrukturách, ve vazbě na jejich aplikační možnosti (senzorické a spektroskopické aplikace), jejich principy fungování, možnosti implementace, včetně rešerše novinek u vybraných metod. Následně budou konkrétní vybrané nástroje podrobně diskutovány a aplikovány na modelových testovacích příkladech.

⁷⁵<mailto:pavel.kwiecien@jfji.cvut.>

⁷⁶<mailto:ivan.richter@jfji.cvut.cz>

Rámcové téma práce č. 63:

Neklasické kvantové stavy světla a možnosti jejich aplikací

Typ práce: BP, VÚ (DP)

Vedoucí práce: doc. Dr. Ing. I. Richter⁷⁷

Konzultant(i):

Student(ka):

Abstrakt: Kvantová optika nabízí nové možnosti nejen z teoretického pohledu, ale i z hlediska aplikací; v současnosti umožňuje provádět řadu experimentů na úrovni jednotlivých fotonů, které mohou mj. testovat samy základy pojmání kvantového pohledu na svět. Cílem práce je – na základě seznámení se se základy popisu kvantového optického záření rozebrat možnosti generace, charakterizace a aplikací kvantových stavů světla, zejména stavů neklasických (stlačené stavy, subpoissonovské stavy, apod.).

⁷⁷<mailto:ivan.richter@fjfi.cvut.cz>

TÉMATA STUDENTSKÝCH PRACÍ PRO ŠKOLNÍ ROK 2021–22

Rámcové téma práce č. 64:

**Numerické metody konečných prvků (FDTD) a elementů (FETD)
pro simulace fotonických a plazmonických nanostruktur**

Typ práce: BP, VÚ (DP)

Vedoucí práce: doc. Ing. M. Šiňor, Dr.⁷⁸

Konzultant(i): doc. Dr. Ing. I. Richter⁷⁹

Student(ka):

Abstrakt: Cílem práce je rozbor problematiky numerické metody konečných diferencí (a konečných elementů) v časové doméně a její aplikace na fotonické a plazmonické nanostruktury. Jedná se o teoretické téma, zaměřující se zejména na numerické aspekty metod a jejich efektivní aplikace. Pro konkrétní simulace vybraných struktur a funkcionalit budou vybrány vhodné nástroje, dostupné veřejně i v rámci pracoviště KFE. Budou též analyzovány a aplikovány, resp. vylepšovány a jednotlivé dílčí algoritmy v rámci metod, řešící specifické aspekty, např. týkající se disperze materiálů, apod.

⁷⁸<mailto:milan.sinor@fjfi.cvut.cz>

⁷⁹<mailto:ivan.richter@fjfi.cvut.cz>

Rámcové téma práce č. 65:

Možnosti paralelních výpočtů pro simulace fotonických a plazmonických struktur

Typ práce: BP, VÚ (DP)

Vedoucí práce: doc. Ing. M. Šiňor, Dr.⁸⁰

Konzultant(i): doc. Dr. Ing. I. Richter⁸¹

Student(ka):

Abstrakt: Cílem práce je rozbor problematiky paralelních numerických výpočtů, s využitím vhodných numerických metod a nástrojů. Jedná se o teoretické téma, zaměřující se zejména na numerické aspekty paralelizace vhodných výpočetních metod a jejich efektivní aplikace. Jak se totiž ukazuje, řada fotonických a plazmonických nanostruktur vyžaduje masivní 3D simulace, které jsou již jak paměťově, tak časově velmi náročné. Pro konkrétní simulace vybraných struktur a funkcionalit budou vybrány vhodné nástroje, dostupné veřejně i v rámci pracoviště KFE. Součástí práce by byly testy paralelních simulací a jejich porovnání, provedené na jednotlivých modelových příkladech struktur.

⁸⁰<mailto:milan.sinor@fjfi.cvut.cz>

⁸¹<mailto:ivan.richter@fjfi.cvut.cz>

Rámcové téma práce č. 66:

Integrální metody hraničních prvků pro aplikace ve fotonice a plazmonice

Typ práce: BP, VÚ (DP)

Vedoucí práce: doc. Ing. M. Šiňor, Dr.⁸²

Konzultant(i): doc. Dr. Ing. I. Richter⁸³

Student(ka):

Abstrakt: Cílem práce je rozbor problematiky specifických numerických metod, založených na integrální formulaci elektrodynamického problému, tedy metod často souhrnně nazývaných metody hraničních prvků, resp. metody Greenových funkcí, metody momentů, apod. Jedná se o teoretické téma, zaměřující se zejména na numerické aspekty integrálních metod hraničních prvků a jejich efektivní aplikace. Tyto metody, jak se ukazuje, jsou zejména vhodné pro numerickou analýzu izolovaných nanostruktur, rezonančního charakteru, kde ostatní běžné numerické metody selhávají, nebo jsou neúčinné. Pro konkrétní simulace vybraných struktur a funkcionalit budou vybrány vhodné nástroje, dostupné veřejně i v rámci pracoviště KFE, alternativně bude snahou vytvořit elementární vlastní nástroj. Budou analyzovány možnosti zahrnutí realistických vlastností struktur (morfologie, disperze, apod.).

⁸²<mailto:milan.sinor@fjfi.cvut.cz>

⁸³<mailto:ivan.richter@fjfi.cvut.cz>

Rámcové téma práce č. 67:

Možnosti numerických simulací nelineárních problémů ve fotonice a plazmonice

Typ práce: BP, VÚ (DP)

Vedoucí práce: doc. Ing. M. Šiňor, Dr.⁸⁴

Konzultant(i): doc. Dr. Ing. I. Richter⁸⁵

Student(ka):

Abstrakt: Cílem práce je rozbor problematiky numerického řešení nelineárních problémů, vyskytujících se v rámci interakce světla ve fotonických a plazmonických nanostrukturách. Byl by vypracován přehled těchto nelinearit a zejména analyzovány numerické možnosti jejich řešení, především z hlediska efektivity a spolehlivé strategie simulací, v rámci daných parametrů a vlastností struktury, apod. Je totiž známo, že i když některé algoritmy řešení “slibují”, ne vždy je jejich řešení spolehlivé, resp. není vůbec fyzikálně použitelné. Bude snahou vytvořit elementární vlastní nástroj, pro simulace vybraných problémů, alternativně s možností rozšíření, modifikace vhodných nástrojů, dostupných veřejně i v rámci pracoviště KFE.

⁸⁴<mailto:milan.sinor@fjfi.cvut.cz>

⁸⁵<mailto:ivan.richter@fjfi.cvut.cz>

Rámcové téma práce č. 68:

Spontánní parametrická sestupná konverze

Typ práce: BP, VÚ, (DP)

Vedoucí práce: Ing. M. Dvořák, Ph.D.⁸⁶

Konzultant(i): doc. Dr. Ing. I. Richter⁸⁷

Student(ka):

Abstrakt: Spontánní parametrická sestupná konverze (SPDC) je nelineární proces důležitý v oblasti kvantové optiky. Je využitelný pro generaci jednotlivých fotonů nebo pro generování párů entanglovaných fotonů. Cílem práce je seznámení se s tímto procesem a jeho případná laboratorní realizace.

⁸⁶<mailto:miroslav.dvorak@fjfi.cvut.cz>

⁸⁷<mailto:ivan.richter@fjfi.cvut.cz>

Rámcové téma práce č. 69:

Měření nelineárního indexu lomu metodou Z-scan

Typ práce: BP, VÚ, DP

Vedoucí práce: Ing. M. Dvořák, Ph.D.⁸⁸

Konzultant(i): RNDr. M. Michl, Ph.D.⁸⁹

Student(ka):

Abstrakt: Hlavním úkolem práce bude seznámení se s metodou Z-scan pro měření nelineárního indexu lomu a návrh (a případná realizace) experimentálního uspořádání využívajícího ns/ps lasery dostupné v laboratoři molekulové spektroskopie na KFE v Tróji.

⁸⁸<mailto:miroslav.dvorak@fjfi.cvut.cz>

⁸⁹<mailto:martin.michl@fjfi.cvut.cz>

Rámcové téma práce č. 70:

Fluorescence buzená dvoufotonovou absorpcí entanglovaných párů fotonů

Typ práce: BP, VÚ, DP

Vedoucí práce: Ing. M. Dvořák, Ph.D.⁹⁰

Konzultant(i): RNDr. M. Michl, Ph.D.⁹¹

Student(ka):

Abstrakt: Využití neklasických stavů světla pro excitaci v technikách kvantové spektroskopie přináší možnost měření s mnohem lepším poměrem signál/šum. Nedávné práce pak ukazují, že je možné detekovat fluorescenci buzenou absorpcí entanglovaných párů fotonů s intenzitou čerpacího signálu až o deset řádů nižší než v případě klasického dvoufotonového čerpání. Seznamte se se současným stavem problematiky a s potenciálními látkami, u kterých by popisovaný jev mohl být pozorován. Navrhněte experimentální uspořádání pro detekci fluorescence buzené dvoufotonovou absorpcí entanglovaných párů fotonů.

⁹⁰<mailto:miroslav.dvorak@jfji.cvut.cz>

⁹¹<mailto:martin.michl@jfji.cvut.cz>

Rámcové téma práce č. 71:

Polaritony v organických materiálech

Typ práce: BP, VÚ, DP

Vedoucí práce: Ing. M. Dvořák, Ph.D.⁹²

Konzultant(i): RNDr. M. Michl, Ph.D.⁹³

Student(ka):

Abstrakt: Polaritony jsou kvazičástice, které mohou vzniknout při silné vazbě mezi excitony a elektromagnetickým polem. Polaritony mohou být vytvořeny např. v organických polovodičích umístěných v optickém mikrozrezonátoru, kde mohou být stabilní i za pokojové teploty. Cílem práce je seznámit se se současnými publikacemi na dané téma a s experimentálními metodami pro studium polaritonů. Student se dále může věnovat teoretickému modelu a simulacím nebo experimentální realizaci polaritonů a jejich studiu v laboratoři.

⁹²<mailto:miroslav.dvorak@fjfi.cvut.cz>

⁹³<mailto:martin.michl@fjfi.cvut.cz>

Rámcové téma práce č. 72:

Spontánní parametrická sestupná konverze

Typ práce: BP, VÚ, (DP)

Vedoucí práce: Ing. M. Dvořák, Ph.D.⁹⁴

Konzultant(i): doc. Dr. Ing. I. Richter⁹⁵

Student(ka):

Abstrakt: Spontánní parametrická sestupná konverze (SPDC) je nelineární proces důležitý v oblasti kvantové optiky. Je využitelný pro generaci jednotlivých fotonů nebo pro generování párů entanglovaných fotonů. Cílem práce je seznámení se s tímto procesem a jeho případná laboratorní realizace.

⁹⁴<mailto:miroslav.dvorak@fjfi.cvut.cz>

⁹⁵<mailto:ivan.richter@fjfi.cvut.cz>

Rámcové téma práce č. 73:

Ovlivňování fotofyzikálních vlastností molekul pomocí plazmonických nanostruktur

Typ práce: RP, BP, VÚ, DP

Vedoucí práce: RNDr. M. Michl, Ph.D.⁹⁶

Konzultant(i): Ing. M. Dvořák, Ph.D.⁹⁷, Dr. P. Kapusta

Student(ka):

Abstrakt: Blízkost (řádově jednotky až desítky nm) plazmonických nanostruktur u molekul dramaticky ovlivňuje jejich fotofyzikální chování. Dochází tak např. k zesílení/zhášení fotoluminescence a zesílení absorpce a rozptylu světla či zvýšení fotostability u molekul používaných v biomedicíně jako luminiscenční sondy nebo značky. Práce může být zaměřena na rešerši v oblasti fyzikální podstaty a možných aplikací těchto jevů a/nebo experimentální studium těchto systémů pomocí stacionárních i časově rozlišených spektroskopických metod, včetně měření map doby dohasínání luminiscence (FLIM) pomocí fluorescenčního mikroskopu.

⁹⁶<mailto:martin.michl@jfji.cvut.cz>

⁹⁷<mailto:miroslav.dvorak@jfji.cvut.cz>

Rámcové téma práce č. 74:

Přenos elektronové excitační energie v organických sloučeninách

Typ práce: RP, BP, VÚ, DP

Vedoucí práce: RNDr. M. Michl, Ph.D.⁹⁸

Konzultant(i): Ing. M. Dvořák, Ph.D.⁹⁹

Student(ka):

Abstrakt: Mezi nejdůležitější aplikace výsledků studia přenosu excitační energie patří mj. pochopení fotosyntetických procesů v přírodě a příprava umělých fotosyntetických systémů, optické zpracování informací, zvyšování účinnosti fotovoltaických zařízení, optická nanometrologie či příprava sofistikovaných sond a značek pro biomedicínský výzkum. Cílem práce je seznámit se s aktuálním stavem poznání mechanismů inter- i intramolekulárního přenosu excitační energie a s vhodnými experimentálními a teoretickými metodami studia tohoto jevu. Dále je možné se zabývat teoretickým modelováním či spektroskopickými měřeními speciálně designovaných sloučenin, v nichž probíhá velmi účinný intramolekulární přenos energie.

⁹⁸<mailto:martin.michl@jfji.cvut.cz>

⁹⁹<mailto:miroslav.dvorak@jfji.cvut.cz>

TÉMATA STUDENTSKÝCH PRACÍ PRO ŠKOLNÍ ROK 2021–22

Rámcové téma práce č. 75:

Látky s dlouhou dobou dohasínání luminescence

Typ práce: RP, BP, VÚ, DP

Vedoucí práce: RNDr. M. Michl, Ph.D.¹⁰⁰

Konzultant(i): Ing. M. Dvořák, Ph.D.¹⁰¹

Student(ka):

Abstrakt: Doba dohasínání luminescence je velmi citlivá na fyzikálně-chemický stav bezprostředního okolí emitující molekuly. Časově rozlišená luminescenční mikroskopie tak umožňuje získávat řadu informací o pozorovaných objektech v biomedicíně či materiálovém inženýrství. Pro tyto účely je výhodné, aby rozdíly způsobené interakcí s prostředím byly co možná největší, tedy aby molekula použitá jako luminescenční sonda měla co nejdelší dobu dohasínání ve volném stavu. K tomu je zapotřebí, aby k emisi záření docházelo zakázaným přechodem. V případě fosforescence jde o spinově zakázaný přechod zpravidla z tripletového excitovaného do základního singletového stavu molekuly. Nevýhodou fosforescenčních sond je však jejich náchylnost k tzv. "photobleachingu", tj. nevratné ztrátě luminescenčních vlastností kvůli jejich zvýšené reaktivitě molekul v tripletovém stavu. Náplní studentské práce je rešerše v oblasti látek emitujících spinově dovoleným fluorescenčním přechodem, který je však zakázán např. z důvodu symetrie molekuly, případně teoretické či experimentální studium perspektivních sloučenin.

¹⁰⁰<mailto:martin.michl@jfji.cvut.cz>

¹⁰¹<mailto:miroslav.dvorak@jfji.cvut.cz>

TÉMATA STUDENTSKÝCH PRACÍ PRO ŠKOLNÍ ROK 2021–22

Rámcové téma práce č. 76:

Nelineární optické vlastnosti molekul

Typ práce: RP, BP, VÚ, DP

Vedoucí práce: RNDr. M. Michl, Ph.D.¹⁰²

Konzultant(i): Ing. M. Dvořák, Ph.D.¹⁰³

Student(ka):

Abstrakt: Práce může být zaměřena na řešení v oblasti aplikací nelineárních vlastností molekul, souvislosti těchto vlastností se strukturou molekul a experimentálních metod pro jejich studium (EFISHG, HRS, NLT, TPEF...) a/nebo teoretické výpočty první a druhé hyperpolarizovatelnosti molekul pomocí metod funkcionálu hustoty.

¹⁰²<mailto:martin.michl@jfji.cvut.cz>

¹⁰³<mailto:miroslav.dvorak@jfji.cvut.cz>

TÉMATA STUDENTSKÝCH PRACÍ PRO ŠKOLNÍ ROK 2021–22

Rámcové téma práce č. 77:

Molekulární krystaly pro terahertzové aplikace

Typ práce: RP, BP, VÚ, DP

Vedoucí práce: RNDr. M. Michl, Ph.D.¹⁰⁴

Konzultant(i): Ing. M. Dvořák, Ph.D.¹⁰⁵

Student(ka):

Abstrakt: Práce je zaměřena na řešení v oblasti generace a detekce terahertzových vln založené na nelineárním jevu optického usměrňování v organických molekulárních krystalech a srovnání s používanými anorganickými materiály. Případně je možná experimentální příprava a charakterizace krystalů z perspektivních materiálů.

¹⁰⁴<mailto:martin.michl@jfji.cvut.cz>

¹⁰⁵<mailto:miroslav.dvorak@jfji.cvut.cz>

TÉMATA STUDENTSKÝCH PRACÍ PRO ŠKOLNÍ ROK 2021–22

Rámcové téma práce č. 78:

Agregací vyvolaná emise v organických sloučeninách

Typ práce: RP, BP, VÚ, DP

Vedoucí práce: RNDr. M. Michl, Ph.D.¹⁰⁶

Konzultant(i): Ing. M. Dvořák, Ph.D.¹⁰⁷

Student(ka):

Abstrakt: Fluorescence molekul pozorovaná v plynné fázi či v roztocích zpravidla vymizí při tvorbě agregátů či krystalů v důsledku koncentračního zhášení. Existuje však i opačný jev nazývaný agregací vyvolaná emise (Aggregation-induced emission, AIE), při kterém dochází k podstatnému zvýšení kvantového výtěžku fluorescence molekul při přechodu do pevné fáze. Sloučeniny s AIE jsou proto považovány za perspektivní materiály pro organickou optoelektroniku. Úkolem studenta bude provést rešerši v oblasti mechanismů AIE a případně teoretické či experimentální studium vybraných molekul.

¹⁰⁶<mailto:martin.michl@jfji.cvut.cz>

¹⁰⁷<mailto:miroslav.dvorak@jfji.cvut.cz>

Rámcové téma práce č. 79:

Termálně aktivovaná zpožděná fluorescence

Typ práce: RP, BP, VÚ, DP

Vedoucí práce: RNDr. M. Michl, Ph.D.¹⁰⁸

Konzultant(i): Ing. M. Dvořák, Ph.D.¹⁰⁹

Student(ka):

Abstrakt: Jev termálně aktivované zpožděné fluorescence (Thermally-activated delayed fluorescence, TADF) spočívá v populování emitujícího singletového excitovaného stavu molekuly termálně aktivovaným zpětným mezisystémovým přechodem z tripletového stavu. To může být například využito pro zvýšení energetické účinnosti OLED, neboť při rekombinaci elektron-děrových párů vzniká statisticky třikrát více tripletových než singletových excitonů. Náplní práce bude rešerše v oblasti vztahu mezi chemickou strukturou a mechanismem TADF a případně teoretické či experimentální studium vhodných sloučenin.

¹⁰⁸<mailto:martin.michl@jfji.cvut.cz>

¹⁰⁹<mailto:miroslav.dvorak@jfji.cvut.cz>

TÉMATA STUDENTSKÝCH PRACÍ PRO ŠKOLNÍ ROK 2021–22

Rámcové téma práce č. 80:

Vývoj nových plastických scintilátorů pro detekci ionizujícího záření

Typ práce: RP, BP, VÚ, DP

Vedoucí práce: RNDr. M. Michl, Ph.D.¹¹⁰

Konzultant(i): Ing. M. Dvořák, Ph.D.¹¹¹

Student(ka):

Abstrakt: Náplní práce bude příprava a experimentální studium vlastností nových scintilačních materiálů na bázi polystyrenu/polyvinyltoluenu s cílem zvýšení účinnosti (počtu emitovaných fotonů vhodné vlnové délky na MeV absorbované energie), optimalizací doby odezvy a schopnosti pulsně-tvarové diskriminace (rozlišení záblesků způsobených neutrony a gamma zářením).

¹¹⁰<mailto:martin.michl@jfji.cvut.cz>

¹¹¹<mailto:miroslav.dvorak@jfji.cvut.cz>

Návrh zadání bakalářské práce / výzkumného úkolu

Název práce: **Hypertermální zdroj atomů**

Vedoucí práce: **Ing. Michaela Martínková, PhD.**

Konzultant(i):

Student(ka):

Anotace:

Zdroje hypertermálních atomů, ideálně o energiích 450 kJ/mol a více, se používají ke studiu vysokorychlostní aerodynamiky a degradace materiálu v podmínkách letu v tzv. LEO (Low Earth Orbit), kde ve výškách 300 až 700 km již převládá kyslík. Zdroje hypertermálních atomů, založených např. na principu laserové detonace, tak spočívají ve vytvoření supersonického oblaku plazmatu, který v zápětí rekombinuje a poskytuje tak zdroj převážně neutrálních atomů, doprovázených ionty (méně než 1%). Podíl rekombinovaných atomů ku iontům, stejně jako podíl atomového ku molekulárnímu kyslíku, závisí na vzdálenosti od zdroje. Lze tedy studovat podmínky interakce s různým podílem atomárního a molekulárního kyslíku.

Tématem práce by bylo seznámit se s problematikou hypertermálních zdrojů atomů, konkrétně pak typu založeného na principu laserové detonace. Tento typ zdroje je vhodný pro studium interakce plazmatického jetu s povrchy a tělesy vystavenými extrémním podmínkám. Součástí práce by tedy bylo seznámit se s procesy plazmatické interakce a chemickou dynamikou v extrémních podmínkách, a seznámit se s diagnostickými metodami používanými pro měření na zařízení tohoto typu. Součástí práce (VÚ) by bylo, na základě existující literatury, i návrh experimentálního zařízení.

Téma práce je vhodné pro bakalářskou práci, či výzkumný úkol. Na téma lze následně navázat a pokračovat ve vyšších ročnících i na diplomovou práci.

Literatura:

- [1] R.A. Dressler, *Chemical Dynamics in Extreme Environments*, World Scientific Publishing (2001).
- [2] J.D. Anderson, *Hypersonic and High Temperature Gas Dynamics*, McGraw-Hill Book Company (1989).
- [3] F.F. Chen, *Introduction to Plasma Physics and Controlled Fusion*, Vol.1 Plasma Physics, Springer (2006).

Dotazy k tématu směřujte na: michaela.martinkova@fffi.cvut.cz

Rámcové téma práce: Interferenční mikroobrábění pro funkcionalizaci povrchů

Typ Práce: BP, VÚ, DP

Školící pracoviště: HiLASE, Fyzikální ústav AV ČR

Vedoucí: Ing. Petr Hauschwitz, Ph.D.

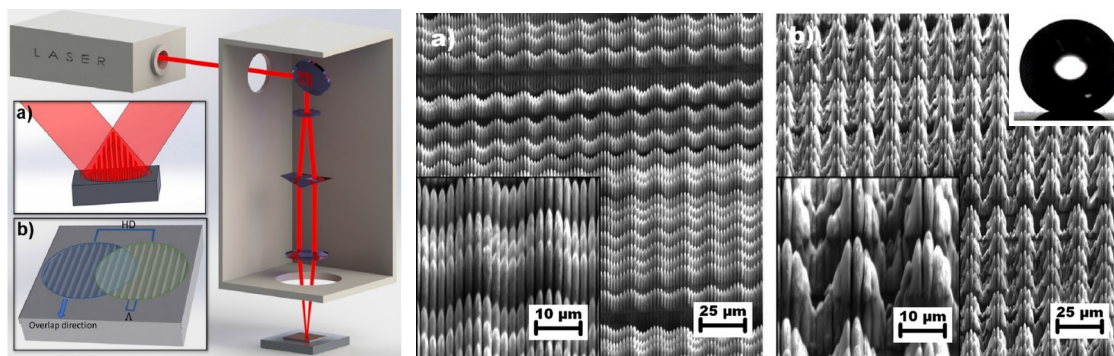
Konzultant: Ing. Alexandr Jančárek, CSc

Abstrakt:

Detailní periodické struktury s rozměry v řádu jednotek mikrometrů dokáží změnit povrchové vlastnosti běžných materiálu – smáčivost povrchu, třecí vlastnosti, biokompatibilitu aj. K dosažení potřebné přesnosti při laserovém mikroobrábění je často potřeba využívat energii jen těsně nad prahovou hodnotou pro ablaci materiálu. V takovém případě se ale výkonné laserové systémy využívají neefektivně, jen na zlomek dostupného výkonu.

Obrábění pomocí interference několika svazků je pokročilou metodou opracování materiálu, kdy je dosahováno vysokého detailu struktur s rozměry srovnatelnými s vlnovou délkou a zároveň na velké ploše umožňující efektivní využití výkonných laserových systémů. Při této metodě je 2 a více svazků navedeno na vzorek za účelem vzniku interferenčního obrazce, který je pak otisknut do materiálu. Další výhodou je možnost manipulace s interferenčním obrazcem změnou počtu svazků, vlnové délky, úhlu dopadu, fáze a polarizace.

Cílem této práce bude seznámit se s problematikou ablace laserovými pulzy, interference více svazky a v dalším kroku navrhnout a sestavit interferenční mikroobráběcí stanici v kombinaci s laserovými systémy HiLASE pro efektivní funkcionalizaci relevantních materiálů (hliník, nerez, dielektrika)



Ilustrace interferenční stanice pro obrábění dvěma svazky a SEM fotografie vytvořených struktur.

Rámcové téma práce: Pokročilé opracování a funkcionalizace skla

Typ Práce: BP, VÚ, DP

Školící pracoviště: HiLASE, Fyzikální ústav AV ČR

Vedoucí: Ing. Petr Hauschwitz, Ph.D.

Konzultant: Ing. Alexandr Jančárek, CSc

Abstrakt:

Opracování skla a vytvoření detailních funkčních struktur na jeho povrchu nachází aplikace v mnoha odvětvích, například antireflexní povrchy (notebooky, chytrá zařízení), difrakční optika, vláknové komponenty, fotonické krystaly, 3D optické paměti. Malá tepelná vodivost a transparentnost skla je ale výzvou pro laserové opracování. K dosažení vysoké přesnosti opracování je potřeba zamezit praskání skla a nežádoucím tepleným jevům. Pro tyto účely se využívají laserové systémy generující ultrakrátké laserové pulzy s délkou pulzu kratší než jednotky pikosekund. V takovém případě je možné materiál odpařit dříve, než dojde k přenosu tepla do materiálu. Zároveň je dosahováno vysokých intenzit umožňující nelineární absorpci i v transparentních materiálech, často s využitím speciálních mikroskopických objektivů.

Cílem této práce bude seznámit se s problematikou ablace ultrakrátkými laserovými pulzy a využití laserové technologie HiLASE v kombinaci s difrakční a mikroskopickou optikou pro opracování a funkcionalizaci skla nanostrukturováním jeho povrchu.

Rámcové téma práce: Samočistící povrchy pomocí laserem vytvořených mikro a nanostruktur

Typ Práce: BP, VÚ, DP

Školící pracoviště: HiLASE, Fyzikální ústav AV ČR

Vedoucí: Ing. Petr Hauschwitz, Ph.D.

Konzultant: Ing. Alexandr Jančárek, CSc

Abstrakt:

Vývoj a příprava samočistících povrchů laserem je Hi-Tech aplikací s širokým uplatněním v průmyslu zahrnující např. energetický průmysl (solární panely), automobilový, polovodičový, potravinářský, aplikace v medicíně nebo při čištění vody. Inspiraci pro výrobu funkčních samočistících povrchů nalezneme v přírodě. Například povrch lotosového listu pokrývá kombinace mikro a nanostruktur způsobující superhydrofóbní a samočistící efekt. S pomocí laserových systémů je pak možné tyto struktury zreplikovat a dále vylepšit.

Cílem této práce bude seznámit se s problematikou ablace laserovými pulzy a využít laserové technologie HiLASE v kombinaci s pokročilými procesními stanicemi a metodami dělení svazku pro efektivní funkcionalizaci relevantních materiálů (hliník, nerez, dielektrika) pro vývoj superhydrofóbních struktur se samočistícími vlastnostmi. Analyzovat vliv struktur, druhu kapaliny a její průtok a znečišťující substance na samočistící vlastnosti. Navrhnout a zkonstruovat měřící aparaturu pro testování samočistících vlastností (rychlá kamera + objektiv + softwarová analýza).

Rámcové téma práce č. 85:

Vývoj pyramidového sensoru vlnoplochy pro aplikaci měření křivosti tenkých disků

Typ práce: BP, VÚ, DP

Vedoucí práce: Ing. J. Pilař, Ph.D.¹¹² (FzÚ AV ČR, HiLASE)

Konzultant(i): prof. Ing. V. Kubeček, DrSc.¹¹³

Student(ka):

Abstrakt: Vývoj tenkodiskového kompozitního ziskového prostředí je složitý proces, který obnáší zejména podrobnou výstupní analýzu. Vhodnou metodou je použití měřicího laserového svazku, jehož vlnoplocha je podrobně zkoumána pomocí interferometru, či sensoru vlnoplochy. Pro tuto aplikaci je důležité velké prostorové rozlišení měření, a proto by bylo výhodné použití pyramidového sensoru vlnoplochy. Cílem práce bude seznámit se s principem funkce pyramidového sensoru vlnoplochy a navrhnout takový sensor, který by byl vhodný pro konkrétní aplikaci měření výstupní kvality tenkých disků. Dle návrhu potom bude sensor sestaven a bude demonstrována jeho funkce.

¹¹²<mailto:pilar@fzu.cz>

¹¹³<mailto:vaclav.kubecek@fjfi.cvut.cz>

Rámcové Téma (BP, VÚ, DP)

Využití pokročilých numerických metod ke studiu HHG

Generace vysokých harmonických frekvencí je silně nelineární proces probíhající při interakci terče s intenzivním laserovým polem. Tento mechanismus umožňuje vytvořit velmi krátké XUV impulzy (v řádu attosekund, 10^{-18} s).

Zaměříme se na multiškálový popis problému: výsledné pole v laboratorních podmínkách je nevyhnutelně silně ovlivněno jak jednoatomovou odezvou, tak makroskopickým přístupem získaném součtem všech generujících bodů v médiu. Naším cílem bude postihnout oba tyto přístupy v komplexním modelu zahrnujícím oba tyto přístupy. Součástí práce bude spolupráce s experimentátory a porovnání teoretických výsledků s experimenty.

Cíle studentské práce:

Následuje přehled možných směrů práce. Finální cíle budou upraveny dle preferencí studenta

- Kvantový model generace vysokých harmonických frekvencí.
- Charakterizace vygenerovaného pole (polarizace, intenzita, časový průběh).

Vedoucí práce:

Ondřej Hort, Ph.D.

Ondrej.Hort@eli-beams.eu

Konzultanti:

prof. Ing. Jiří Limpouch, CSc.

jiri.limpouch@fjfi.cvut.cz

Ing. Jan Vábek

Jan.Vabek@fjfi.cvut.cz

Detaily projektu

V rámci našeho výzkumu se zabýváme generací sekundárního XUV záření při interakce řídicího laserového pulsu s plynným médiem. Z teoretického popisu je nutno obsáhnout 3 vzájemně provázané procesy: 1) změnu řídicího pulsu v důsledku šíření v nelineárním médiu, 2) proces generace sekundárního záření, tj. interakce s polem na atomární úrovni, 3) přechod do laboratorní škály s vygenerovaným zářením.

V tomto projektu se budeme snažit postihnout všechny tyto aspekty. Naší snahou je použít modulární přístup a možnost modelovat jednotlivé body s různou mírou komplexnosti.

Přesné modely interakce vychází z kvantové mechaniky. Ústředním problémem je atom v externím elektromagnetickém poli. V tomto popisu je třeba jít nad rámec klasické poruchové teorie a řešit kvantové pohybové rovnice (Schrödingerova rovnice). Ke studiu tohoto problému máme připraveny modely od semi-fenomenologického přístupu po plné *ab-initio* řešení Schrödingerovy rovnice.

Pro výpočet šíření pole kombinujeme plně numerické řešení pro řídicí pulz se zahrnutím nelinearit média. Šíření vygenerovaného XUV pole řešíme pomocí difrakce v cylindrické symetrii.

Cílem projektu je porovnat a případně rozšířit jednotlivé modely, které máme k dispozici. Součástí je dále spolupráce s experimentátory, která umožňuje porovnat numerické simulace s naměřenými daty.

Úkolem řešitele bude porozumět výše popsané fyzice a aplikovat ji pro konkrétní případ (BP/VÚ). V případě předchozí znalosti problému nebo rychlého postupu bude možné se zapojit do konkrétních projektů HHG skupinky v ELI-Beamlines (BP/VÚ/DP).

Návaznost na předměty

- **základní kurz fyziky + kvantová mechanika¹**
- **úvod do programování/numerických metod**

¹ Pro studenty bakalářského programu je důležitý hlavně úvod, který získají již v zimním semestru 3. ročníku.

Rámcové Téma (BP, VÚ, DP)

Charakterizace defokusace IR-svazku

Abstrakt

V této práci se budeme zabývat charakterizací svazku IR laseru v plynném prostředí. V námi zkoumaných intenzitách jsou pro nás důležité dva nelineární jevy: generace plazmatu a Kerrův jev. Tyto mechanismy mají opačné vlivy na stabilitu svazku: plazma podporuje defokusaci, Kerrův jev vede naopak k fokusaci. Naším cílem je najít vhodné parametry IR svazku, při kterých bude zachována stabilita svazku, která je potřebná pro další aplikace, v našem případě zejména pro generaci vysokých harmonických frekvencí.

Cíle studentské práce:

Následuje přehled možných směrů práce. Finální cíle budou upraveny dle preferencí studenta

- Seznámení se s numerickým modelem používaného pro výpočet propagace IR laseru v plynném médiu.
- Charakterizovat vliv nelineárních efektů (především generace plazmatu a Kerrova jevu) na stabilitu a fokusaci svazku IR laseru.

Vedoucí práce:

Ondřej Hort, Ph.D.

Ondrej.Hort@eli-beams.eu

Konzultanti:

prof. Ing. Jiří Limpouch, CSc.
Ing. Jan Vábek

jiri.limpouch@jfifi.cvut.cz
Jan.Vabek@jfifi.cvut.cz

Detaily projektu

V rámci našeho výzkumu se zabýváme generací sekundárního XUV záření při interakce řídicího laserového pulsu s plynným médiem. Z teoretického popisu je nutno obsáhnout 3 vzájemně provázané procesy: 1) změnu řídicího pulsu v důsledku šíření v nelineárním médiu, 2) proces generace sekundárního záření, tj. interakce s polem na atomární úrovni, 3) přechod do laboratorní škály s vygenerovaným zářením.

V tomto projektu se budeme věnovat především bodu 1). Porozumění vývoji pole je klíčové pro všechny ostatní procesy, protože je to *vstupní parametr* celého procesu. Čím lépe porozumíme tomuto procesu, tím snáze navrheme optimální parametry pro generaci sekundárního pole podle našich představ.

Fyzika, kterou se budete v tomto projektu zabývat rozšiřuje znalosti, které jste získali v kurzech o šíření elektromagnetického záření v látkách. Hlavními rozšířeními jsou, že v závislosti na intenzitě pole se mění samotné šíření, proto je třeba využít nelineární optiku pro výsledný popis. Toto je navíc doplněno tím, že samotné pole může svým průchodem změnit médium, ve kterém se šíří. Díky tomu může část na konci světelného pulsu „vidět“ jiné médium než část na začátku.

Vzhledem ke komplexnosti problému, je vhodné použít numerické metody pro modelaci problému. Stejně cenné je ale i ověřit platnost jednoduchých analytických modelů, které umožní vhléd do problému. Cílem projektu bude aplikovat a případně rozšířit modely, které máme k dispozici.

Úkolem řešitele bude porozumět výše popsané fyzice a aplikovat ji pro konkrétní případ (BP/VÚ). V případě předchozí znalosti problému nebo rychlého postupu bude možné se zapojit do konkrétních projektů HHG skupinky v ELI-Beamlines (BP/VÚ/DP).

Návaznost na předměty

- **základní kurz fyziky + nelineární optika**
- **úvod do programování/numerických metod**

