

## Študijný program / *Study programme:*

### Kvantová elektronika, optika a optická spektroskopia / *Quantum Electronics and Optics and Optical Spectroscopy*

---

#### Témy dizertačných prác

1. Aplikácia nových typov laserov v spektroskopii “malých” molekúl.....	2
2. Biokonjugačné stratégie pre inovatívne 2D materiály vhodné pre fototermálnu terapiu.....	4
3. Detekcia falšovania potravy v potravinárskych výrobkoch metódami laserovej ablácie.....	6
4. Detekcia LIBS a kvantifikácia vzoriek súvisiacich s fúziou pomocou CF-LIBS.....	7
5. Modelovanie a vývoj priestorového heterodynového spektrometra pre aplikáciu LIBS.....	8
6. Modelovanie difúzneho žiarenia na heterogénnom zemskom povrchu v podmienkach potrhanej oblačnosti.....	9
7. Molekulová spektroskopia plazmy indukovanej laserom v atmosfére kyslíka a vodíka.....	11
8. Nelineárna interakcia femtosekundových impulzov s rozdielnymi vlnovými dĺžkami v asymetrických dvojjadrových optických vláknach.....	12
9. Optická diagnostika rozhrania plazma-kvapalina.....	14
10. Optická spektroskopia a vizualizácia výbojov v dutinách materiálov.....	15
11. Optické sledovanie difúzneho procesu nanočastíc vo vzdialenom poli.....	16
12. Prvková stopová analýza a charakterizácia batériových materiálov na báze Li pomocou LIBS.....	18
13. Štúdium fs, ps a ns laserovej ablácie pre kvantitatívnu LIBS analýzu materiálov súvisiacich s termojadrovou syntézou.....	19
14. Vplyv mikrofyziky aerosólu na žiaru okoloslnečnej zóny.....	20

#### Dissertation Thesis Descriptions

1. Application of new laser technologies in the spectroscopic studies of “small” molecules.....	2
2. Bioconjugation study of emerging 2D photothermal nanomaterials.....	4
3. Detection of alimentary adulteration in food products by laser ablation techniques.....	6
4. Element trace analysis and characterization of Li-based battery materials by LIBS.....	18
5. Intense circumsolar brightness due to aerosol microphysics.....	20
6. LIBS detection and quantification of fusion-related samples by CF-LIBS.....	7
7. Modeling diffuse tilted irradiance under broken cloud arrays.....	9
8. Modelling and Development of Spatial Heterodyne Spectrometer for LIBS application.....	8
9. Molecular Spectroscopy of Laser-Induced Plasma in Oxygen and Hydrogen Atmosphere.....	11
10. Nonlinear interaction of femtosecond pulses with different wavelengths in asymmetric dual-core optical fibers.....	12
11. Optical diagnostic of water-plasma interface.....	14
12. Optical monitoring of the diffusion process of nanoparticles in the far field.....	16
13. Optical spectroscopy and imaging of discharges in material cavities.....	15
14. Study of fs, ps and ns laser ablation for quantitative LIBS analysis of materials related to thermonuclear synthesis.....	19

## Študijný program / *Study programme:*

Kvantová elektronika, optika a optická spektroskopia / *Quantum Electronics and Optics and Optical Spectroscopy*

---

### Názov / *Title*

Aplikácia nových typov laserov v spektroskopii “malých” molekúl

*Application of new laser technologies in the spectroscopic studies of “small” molecules*

### Jazyk záverečnej práce / *Language of Thesis*

slovenský / *Slovak*

### Školiteľ / *Tutor*

doc. Mgr. Peter Čermák, PhD.

### Anotácia / *Annotation*

VECSEL predstavuje špičku v polovodičovej technológii laserov pre spektrálnu oblasť 2.3 $\mu$ m. V nedávnej dobe sme dokázali, že VECSEL [1,2] má kvality prevyšujúce bežne používané DFB lasery a taktiež je možné ho použiť v spektrometroch využívajúcich vysoko kvalitné optické rezonátory [2], akým je napríklad CDRS [3]. Kombinácia týchto aspektov zabezpečuje realizovateľnosť projektu ako aj jeho inovatívnosť a originalitu. Cieľom projektu je v prvej časti nadviazať na predchádzajúcu prácu a vybudovať spektrometer schopný merať absorpčné spektrá plynov v spektrálnej oblasti 2.3 $\mu$ m. V nasledujúcej časti sa zameriame na prispôbenie spektrometra meraniam v podmienkach podobným atmosféram planét slnečnej sústavy (Venuša, Mars, mesiace Jupitera, ...). Tieto údaje majú zásadný význam pre astrofyzikálne pozorovania týchto objektov. Dôvodom je, že pri pozorovaní povrchov týchto objektov je svetelný signál prejde celou atmosférou telesa. To znamená že aj relatívne malé množstvo molekúl (napr. CO<sub>2</sub>) dokáže ovplyvniť tento signál. Z tohto dôvodu je potrebné poznať absorpčné spektrá týchto molekúl s veľkou presnosťou. Tieto poznatky je možné získať v laboratórnych podmienkach len ultra cilitivými technikami akou je napríklad CRDS.

*VECSEL represents the state of the art in laser semiconductor technology for the 2.3 $\mu$ m spectral range. Recently, we have proven that VECSEL [1,2] has superior quality to the commonly used DFB lasers and can also be used in spectrometers employing high-quality optical resonators [2], such as CDRS [3]. The combination of these aspects ensures the project's feasibility as well as its innovativeness and originality. The aim of the project is to continue in the previous work and build a spectrometer capable of measuring the absorption spectra of gases in the spectral region of 2.3 $\mu$ m. In the next part we will focus on the spectroscopy in conditions similar to those of the planets of the solar system (Venus, Mars, Jupiter, ...). These data are essential for astrophysical observations of these objects. The reason is that when the surfaces of these objects are observed, the light signal passes through the whole atmosphere of the body. This means that a relatively small number of molecules (eg CO<sub>2</sub>) can influence this signal. For this reason, it is necessary to know the absorption spectra of these compounds with a great precision. This knowledge can only be obtained under laboratory conditions using ultra-sophisticated techniques such as CRDS.*

### Cieľ / *Aim*

I. Konštrukcia spektrometra na báze lasera typu VECSEL pracujúceho v infračervenej oblasti a schopného analyzovať plyny v širokej škále teplôt. II. Aplikácia zostrojeného detektora na meranie absorpčných spektier NH<sub>3</sub> a CH<sub>4</sub> za účelom objasnenia jednotlivých štruktúr v spektrách týchto molekúl.

*I. The construction of a VECSEL-based spectrometer, operating in the infrared range, capable of analyzing gases in a wide temperature range. II. Application of the built detector to measure the absorption spectra of NH<sub>3</sub> and CH<sub>4</sub> in order to investigate the structure of these molecules spectra.*

## Literatúra / Literature

[1] Cacciani P, Čermák P, Pardanaud C, et al. Spectroscopic Measurements of Methane Solid–Gas Equilibrium Clapeyron Curve between 40 and 77 K. *J Phys Chem A* 2019; 123:3518-3534  
[2] Čermák P, Chomet B, Ferrieres L, Vasilchenko S, Mondelain D, Kassi S, et al. CRDS with a VECSEL for broad-band high sensitivity spectroscopy in the 2.3  $\mu\text{m}$  window. *Rev Sci Instrum* 2016;87:83109. doi:10.1063/1.4960769. [3] Čermák P, Vasilchenko S, Mondelain D, Kassi S, Campargue A. First laboratory detection of an absorption line of the first overtone electric quadrupolar band of N<sub>2</sub> by CRDS near 2.2 $\mu\text{m}$ . *Chem Phys Lett* 2017;668:90–4. doi:10.1016/j.cplett.2016.11.002.

*[1] Cacciani P, Čermák P, Pardanaud C, et al. Spectroscopic Measurements of Methane Solid–Gas Equilibrium Clapeyron Curve between 40 and 77 K. J Phys Chem A 2019; 123:3518-3534*  
*[2] Čermák P, Chomet B, Ferrieres L, Vasilchenko S, Mondelain D, Kassi S, et al. CRDS with a VECSEL for broad-band high sensitivity spectroscopy in the 2.3  $\mu\text{m}$  window. Rev Sci Instrum 2016;87:83109. doi:10.1063/1.4960769. [3] Čermák P, Vasilchenko S, Mondelain D, Kassi S, Campargue A. First laboratory detection of an absorption line of the first overtone electric quadrupolar band of N<sub>2</sub> by CRDS near 2.2 $\mu\text{m}$ . Chem Phys Lett 2017;668:90–4. doi:10.1016/j.cplett.2016.11.002.*

## Klíčové slová / Keywords

amoniak, metán, laserová spektroskopia  
*amonia, methane, laser spectroscopy*

## Študijný program / *Study programme:*

Kvantová elektronika, optika a optická spektroskopia / *Quantum Electronics and Optics and Optical Spectroscopy*

---

### Názov / *Title*

Biokonjugáčné stratégie pre inovatívne 2D materiály vhodné pre fototermálnu terapiu.  
*Bioconjugation study of emerging 2D photothermal nanomaterials.*

### Jazyk záverečnej práce / *Language of Thesis*

slovenský / *Slovak*

### Školiteľ / *Tutor*

Dr. rer. nat. Peter Šiffalovič, PhD.

### Anotácia / *Annotation*

Téma bude zameraná na biokonjugáciu 2D materiálov a ich aplikáciu pri fototermálnej liečbe rakoviny. Nedávno sme demonštrovali, že vhodne biokonjugované 2D materiály môžu mať zvýšenú selektivitu voči rakovinovým bunkám, čo je všeobecne dôležitý krok k prekonaniu ťažkostí v súčasnosti používanej liečbe rakoviny. Fototermálna terapia vyvolaná ožarovaním biokonjugovaných 2D materiálov môže ponúknuť prielomové riešenie ku v súčasnosti dostupným terapiám. Práca bude obsahovať - podrobnú charakterizáciu buniek a tkanív pomocou konfokálnej Ramanovej mikrospektroskopie, príspevok k príprave nanomateriálov vykazujúcich fototermálne vlastnosti, výskum a návrh biokonjugácie 2D fototermálnych nanomateriálov (MoOx, MXene), štúdie in vitro a ex ovo s biokonjugovanými nanomateriálmi, lokalizačné štúdie pomocou konfokálnej Ramanovej mikrospektroskopie a doplnkových techník (prietoková cytometria, konfokálna laserová skenovacia mikroskopia) a optimalizácia podmienok merania pre rôzne bunkové línie.. Práca bude realizovaná na Fyzikálnom ústavu a Virologickom ústave SAV. Bližšie informácie na peter.siffalovic@savba.sk, tel. č.: 0949556037.

*The topic will be focused on the bioconjugation of 2D materials and their application in photothermal cancer treatment. We have recently demonstrated that suitably bioconjugated 2D materials can have increased selectivity towards cancer cells, which is generally an important step to overcome the difficulties of currently in use cancer treatments. Photothermal therapy triggered by irradiation of bioconjugated 2D materials can offer a breakthrough solution in the currently available therapies. The work will encompass – detailed characterization of cells and tissues via confocal Raman microspectroscopy, contribution to the preparation of nanostructures exhibiting photothermal properties, research and design of the bioconjugation of 2D photothermal nanomaterials (MoOx, MXene), in vitro and ex ovo studies with bioconjugated nanostructures, localization studies via confocal Raman microspectroscopy and complementary techniques (flow cytometry, confocal laser scanning microscopy) and optimization of the measurement conditions for different cell lines. The work will be realized at the Institute of Physics and Virology Institute SAS. For detailed information, please write an email to: peter.siffalovic@savba.sk or call +421949556037.*

### Cieľ / *Aim*

Príprava, biokonjugácia a optimalizácia 2D materiálov pre účely cielenej fototermálnej terapie rakoviny.

*Preparation, bioconjugation and optimization of 2D materials for targeted photothermal cancer therapy.*

### Literatúra / *Literature*

1. Liu, S et al., Two#Dimensional Nanomaterials for Photothermal Therapy, in *Angewandte Chemie* 132, 5943-5953 (2020) 2. G. Song et al., Hydrophilic Molybdenum Oxide Nanomaterials with

Controlled Morphology and Strong Plasmonic Absorption for Photothermal Ablation of Cancer Cells, in *ACS Appl. Mater. Interfaces* 6, 3915–3922 (2014) 3. Kálosi, A. et al., A bioconjugated MoS<sub>2</sub> based nanoplatform with increased binding efficiency to cancer cells, in *Biomater. Sci.* 8, 1973–1980 (2020)

1. Liu, S et al., *Two#Dimensional Nanomaterials for Photo#thermal Therapy*, in *Angewandte Chemie* 132, 5943-5953 (2020) 2. G. Song et al., *Hydrophilic Molybdenum Oxide Nanomaterials with Controlled Morphology and Strong Plasmonic Absorption for Photothermal Ablation of Cancer Cells*, in *ACS Appl. Mater. Interfaces* 6, 3915–3922 (2014) 3. Kálosi, A. et al., *A bioconjugated MoS<sub>2</sub> based nanoplatform with increased binding efficiency to cancer cells*, in *Biomater. Sci.* 8, 1973–1980 (2020)

**Študijný program / Study programme:**

Kvantová elektronika, optika a optická spektroskopia / *Quantum Electronics and Optics and Optical Spectroscopy*

---

**Názov / Title**

Detekcia falšovania potravy v potravinárskych výrobkoch metódami laserovej ablácie.  
*Detection of alimentary adulteration in food products by laser ablation techniques.*

**Jazyk záverečnej práce / Language of Thesis**

anglický / *English*

**Školiteľ / Tutor**

Dr. Alicia Marín Roldán

**Konzultant / Consultant**

prof. RNDr. Pavel Veis, CSc.

**Anotácia / Annotation**

*Economically motivated food adulteration is a problem around the world, having scandals every other year. Thus, there is a desire for increased quality control over food products. We will focus on developing and applying a new method based on elemental composition differences using Laser-Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS), avoiding time-consuming chemical methods. LIBS provides rapid analysis in solid, liquid, and gas matrices. However, it is known that water and other compounds found in food can decrease the intensities of atomic emissions. To overcome these difficulties, assiste-surface LIBS methodology will be employed when analyzing liquid samples. The work will be realized at the FMFI, UK. For detailed information, please write an email to: roldan2@uniba.sk or call +421 915 742 776.*

**Cieľ / Aim**

*Study of elemental composition by LIBS*

**Literatúra / Literature**

*J. Bocková, et al., Applied Optics. 2018, 57, 28, 8272-8278*

**Študijný program / Study programme:**

Kvantová elektronika, optika a optická spektroskopia / *Quantum Electronics and Optics and Optical Spectroscopy*

---

**Názov / Title**

Detekcia LIBS a kvantifikácia vzoriek súvisiacich s fúziou pomocou CF-LIBS.  
*LIBS detection and quantification of fusion-related samples by CF-LIBS.*

**Jazyk záverečnej práce / Language of Thesis**

anglický / *English*

**Školiteľ / Tutor**

Dr. Alicia Marín Roldán

**Konzultant / Consultant**

prof. RNDr. Pavel Veis, CSc.

**Anotácia / Annotation**

*Laser Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS) provides chemical information from atomic and ionic plasma emissions generated by laser vaporization of a sample. It has already proved to be able to qualitatively and quantitatively determine the chemical composition of impurities deposited on Plasma-Facing Components (PFC). Also, its capability of light elements detection, allows it to determine the fuel (H/D/T) content; being is of great importance in assessing safe conditions to assure the continuous operation in nuclear fusion tokamak. We will use the LIBS technique to analyze both the fusion-related materials and the fuel retention of sample within the Eurofusion project. The work will be realized at the FMFI, UK. For detailed information, please write an email to: roldan2@uniba.sk or call +421 915 742 776.*

**Cieľ / Aim**

*Study of fusion-related materials and fuel retention by LIBS*

**Literatúra / Literature**

*1. A. Marín Roldán, et al., Spectrochimica Acta Part B. 2021, 177, 106055 2. P. Veis, et al., Physica scripta. 2020, T171, 014073 3. P. Veis, et al., Nuclear Materials and Energy. 2020, 25, 100809 4. G. Singh Maurya, et al., Journal of Nuclear Materials. 2020, 541, 152417*

**Študijný program / Study programme:**

Kvantová elektronika, optika a optická spektroskopia / *Quantum Electronics and Optics and Optical Spectroscopy*

---

**Názov / Title**

Modelovanie a vývoj priestorového heterodynového spektrometra pre aplikáciu LIBS  
*Modelling and Development of Spatial Heterodyne Spectrometer for LIBS application*

**Jazyk záverečnej práce / Language of Thesis**

anglický / *English*

**Školiteľ / Tutor**

Dr. Alicia Marín Roldán

**Konzultant / Consultant**

prof. RNDr. Pavel Veis, CSc.

**Anotácia / Annotation**

*In this project we will work on the modellization and development of a spatial heterodyne spectrometer for LIBS applications. The reason for this is the need for more sophisticated chemical measurements to achieve the goals of new, more ambitious projects and recent advances like in-situ and remote spectroscopic analysis. This work will focus on the development and optimization of one such spectrometer that has the potential to meets these needs, a spatial heterodyne LIBS spectrometer, capable of high spectral resolution, large spectral range, very high light throughput, absence of moving parts, among other advantages. As a relatively novel interferometric technique (similar to the Fourier transform spectroscopy), Spatial Heterodyne Spectroscopy will open new research lines for our group, leading further our achievements.*



## Študijný program / *Study programme:*

Kvantová elektronika, optika a optická spektroskopia / *Quantum Electronics and Optics and Optical Spectroscopy*

---

### Názov / *Title*

Modelovanie difúzneho žiarenia na heterogénnom zemskom povrchu v podmienkach potrhanej oblačnosti

*Modeling diffuse tilted irradiance under broken cloud arrays*

### Jazyk záverečnej práce / *Language of Thesis*

slovenský / *Slovak*

### Školiteľ / *Tutor*

Mgr. Miroslav Kocifaj, PhD.

### Anotácia / *Annotation*

Fyzika prenosu krátkovlnného žiarenia v atmosfére je nevyhnutná pre modelovanie radiačnej bilancie, fotosynteticky aktívneho žiarenia na povrchu ako aj dostupnosti žiarivej energie na rôzne orientovaných naklonených povrchoch. Okrem zrejmych konzekvencií v meteorológii je modelovanie poľa difúzneho žiarenia principiálne dôležité pre fotovoltaiiku, predovšetkým za oblačných dní, ale aj pri nižších hodnotách pokrytia oblohy oblakmi v prípade, že výška slnka je relatívne nízka. Potrhaná oblačnosť významne mení priestorovú štruktúru poľa difúzneho žiarenia. Izolované oblaky v okolí slnka znižujú inak intenzívnu žiaru oblohy a preto sa tieto oblaky javia tmavšie, zatiaľčo oblaky v protíľahlom kvadrante oblohy môžu zvyšovať žiaru inak tmavšej oblohy. Z dôvodu viacnázobného rozptylu elektromagnetického žiarenia sa navyše priestorové prerozdelenie žiarivej energie mení. Zohľadnenie uvedených efektov výrazne zvýši presnosť súčasných modelov používaných pri predpovedi dostupnosti viditeľného žiarenia na zemskom povrchu.

### Cieľ / *Aim*

1. Modelovať pole difúzneho žiarenia v závislosti od aerosólovej substancie vzduchovej hmoty. Preveriť dôležitosť optických parametrov aerosólu (ako sú optická hrúbka, parameter asymetrie a albedo jednoduchého rozptylu) na spektrálnu žiaru čiastočne zamračenej oblohy s náhodným priestorovým usporiadaním oblakov. 2. Identifikovať vplyv a) pokrytia oblohy oblačnosťou, b) charakteristického horizontálneho rozmeru oblakov, c) výšky spodnej hranice oblakov a d) odrazivosti oblakov na hustotu toku difúzneho žiarenia na zemskom povrchu 3. Modelovať hustotu toku difúzneho a priameho žiarenia na nehorizontálne orientovanej rovine. 4. Identifikovať píkove hodnoty ožiarenia a interpretovať získané výsledky.

### Literatúra / *Literature*

Doporučená literatúra: • Lenoble J. (1985). Radiative transfer in scattering and absorbing atmospheres: Standard computational procedures. A. Deepak publishing: Hampton. • Van de Hulst, H.C. (1980). Multiple Light Scattering Tables, Formulas and Applications. Academic Press: Cambridge, MA, USA, Volume 1–2. • Bohren C. F., Huffman D. R. (2004): Absorption and Scattering of Light by Small Particles. Wiley-VCH: Weinheim. • Kocifaj M. (2012). Angular distribution of scattered radiation under broken cloud arrays: An approximation of successive orders of scattering. Sol. Energy, 86, 3575–3586. • Kocifaj M. (2015). Unified model of radiance patterns under arbitrary sky conditions. Sol. Energy, 115, 40–51. • Liou K. N. (2002). An Introduction to Atmospheric Radiation. Academic Press: Amsterdam. • McCartney E. J. (1977). Optics of the atmosphere. John Wiley & Sons: Chichester. • Marshak A., Davis A. (2005). 3D Radiative Transfer in Cloudy Atmospheres. Springer: Berlin, Heidelberg, New York. • Thomas G. E., Stamnes K.

(1999). Radiative transfer in the atmosphere and ocean. Cambridge University Press: Cambridge, UK. • Zuev V. E., Titov G. A. (1996). Atmospheric Optics and Climate. Spektr: Tomsk.

**Poznámka / Comment**

Prínosy dizertačnej práce: 1. Vytvorenie pilotného modelu difúzneho žiarenia na zemskom povrchu ako funkcie mikrofyzikálnych parametrov aerosólu a niektorých fyzikálnych parametrov oblakov v podmienkach potrhanej oblačnosti. 2. Pochopenie súvislostí medzi píkovými hodnotami difúzneho žiarenia na rôzne orientovaných povrchoch a základnými parametrami lokálnej atmosféry. 3. Interdisciplinarita: potenciálne aplikovanie výsledkov v iných vedných oblastiach, ako je optika, aerosólová fyzika, fotovoltaika, príspevok k tvorbe globálnych modelov dostupnosti fotosynteticky aktívneho žiarenia v rôznych teritóriách (zapojenie sa do medzinárodných výskumných štruktúr zaoberajúcich sa slnečným žiarením, napr. spolupráca so Solar Consulting Services).

**Kľúčové slová / Keywords**

difúzne žiarenie, potrhaná oblačnosť, rozptyl viditeľného žiarenia, viacnásobný rozptyl, optika aerosólu a oblakov

**Študijný program / Study programme:**

Kvantová elektronika, optika a optická spektroskopia / *Quantum Electronics and Optics and Optical Spectroscopy*

---

**Názov / Title**

Molekulová spektroskopia plazmy indukovanej laserom v atmosfére kyslíka a vodíka.  
*Molecular Spectroscopy of Laser-Induced Plasma in Oxygen and Hydrogen Atmosphere.*

**Jazyk záverečnej práce / Language of Thesis**

anglický / *English*

**Školiteľ / Tutor**

prof. RNDr. Pavel Veis, CSc.

**Konzultant / Consultant**

Dr. Alicia Marín Roldán

**Anotácia / Annotation**

*The aim of this project is to study by laser-induced plasma spectroscopy the molecular spectra of different samples under an oxygen and/or hydrogen atmosphere. Our group is devoted to the Laser Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS). The obtained spectra with this technique are usually atomic, but some molecular bands could be also observable. The aim is to reach information about the molecular bands and improve the capability of this technique to characterize this kind of spectral information. For this, we will use a broad spectral range from vacuum UV (VUV) to NIR.*

**Literatúra / Literature**

S. Trautner, J. Jasik, Ch.G. Parigger, J.D. Pedarnig, W. Spindelhofer, J. Lackner, P. Veis, J. Heitz: "Laser-induced optical breakdown spectroscopy of polymer materials based on evaluation of molecular emission bands", *Spectrochimica Acta Part A* 174 (2017) 331–338

*S. Trautner, J. Jasik, Ch.G. Parigger, J.D. Pedarnig, W. Spindelhofer, J. Lackner, P. Veis, J. Heitz: "Laser-induced optical breakdown spectroscopy of polymer materials based on evaluation of molecular emission bands", Spectrochimica Acta Part A 174 (2017) 331–338*

## Študijný program / *Study programme:*

Kvantová elektronika, optika a optická spektroskopia / *Quantum Electronics and Optics and Optical Spectroscopy*

---

### Názov / *Title*

Nelineárna interakcia femtosekundových impulzov s rozdielnymi vlnovými dĺžkami v asymetrických dvojjadrových optických vláknach

*Nonlinear interaction of femtosecond pulses with different wavelengths in asymmetric dual-core optical fibers*

### Jazyk záverečnej práce / *Language of Thesis*

slovenský / *Slovak*

### Školiteľ / *Tutor*

Mgr. Ignác Bugár, PhD.

### Anotácia / *Annotation*

Multijadrové optické vlákna predstavujú inšpirujúcu oblasť vláknovej optiky aj ako prostredie pre štúdium viac dimenzií nelineárnych interakcií. Okrem multiplexerov a väzbových členov vo vláknovej komunikácii a v oblasti vláknovej sensoriky ponúkajú riešenia aj na ultrarýchle (Tb/s) spracovávanie optických dát. Posledný spomenutý smer výskumu nesie v sebe potenciál ďalšej revolúcie informačných technológií. Naša skupina prispieva do tejto oblasti výskumu originálnym prístupom, riadením šírenia femtosekundových solitónov v asymetrických dvojjadrových optických vláknach (DOV). Zistili sme, že sa dá účinne prepínať infračervený ultrakrátky impulz pri jeho zmiešavaní riadiacim impulzom kratšej vlnovej dĺžky. Dizertačná práca bude zameraná na štúdium inetrakcie medzi spektrálne vzdialenými impulzami v DOV vyrobených z multikomponentných skiel pomocou experimentálneho vyšetrovania a numerického modelovania nelineárneho šírenia. Práca má prevažne experimentálny charakter a bude realizovaná v Laboratóriu femtosekundových štúdií Medzinárodného laserového centra, popri numerických modelovaní rozvoja optického poľa v DOV. Záujemca bude zapojený do medzinárodnej spolupráce, v rámci ktorej sa vyrábajú vzorky vlákien v Inštitúte pre technológiu elektronických materiálov vo Varšave a pokročilé experimenty sa realizujú v Inštitúte pre fotoniku Technickej univerzity vo Viedni.

*Multicore optical fibers represent inspiring area of fiber optics also as media for study higher dimension of nonlinear interactions. Beside multiplexers and coupling components in fiber communication and fiber sensor areas, they offer solutions for ultrafast (Tb/s) optical data processing as well. The latter area bears potential of the next revolution of information technologies. Our group contributes to this research direction with an original approach, by steering of femtosecond solitons in asymmetric dual-core optical fibers (DOF). We have invented, that infrared ultrafast pulses are switchable by they mixing with shorter wavelength control pulses. Dissertation thesis will be focused on interaction study between spectrally distant pulses in DOF made of soft glasses by experimental and numerical methods. The thesis has dominantly experimental character and will be realized in Laboratory of femtosecond studies of International laser centre beside numerical modeling of optical field evolution in DOF. Applicant will be joined to an international cooperatioon in the frame of which the fiber samples are manufactured in Institute of electronics materials technology in Warsaw and the advanced experiments are realized in Photonics institute of TU Wien.*

### Cieľ / *Aim*

1. Numerické a experimentálne štúdium šírenia femtosekundových impulzov v rôznych spektrálnych oblastiach v multikomponentných dvojjadrových optických vláknach. 2. Optimalizácia experimentálnych podmienok cieľom demonštrácie plne optického prepínania impulzov kompatibilného s prenosovými rýchlosťami Tb/s.

*1. Numerical and experimental study of femtosecond pulses propagation in various spectral regions in all-solid dual-core optical fibers. 2. Optimization of experimental conditions with aim to demonstrate all-optical switching of pulses at speeds compatible with Tb/s data rates.*

#### **Literatúra / Literature**

(1) G. P. Agrawal: Application of nonlinear fibre optics (Elsevier, 2008), Chap. 2. (2) P. Stajanca, D. Pysz, G. Andriukaitis, T. Balciunas, G. Fan, A. Baltuska, I. Bugar: Ultrafast multi-wavelength switch based on spectrally-shifted solitons dynamics in a dual-core photonic crystal fiber, *Opt. Express* 22 (2014) 31092–31101 (3) V. H. Nguyen, L. X. The Tai, I. Bugar, M. Longobucco, R. Buczyński, B. A. Malomed, and M. Trippenbach: Reversible ultrafast soliton switching in dual-core highly nonlinear optical fibers, *Opt. Lett.* 45 (2020) 5221-5224

*(1) G. P. Agrawal: Application of nonlinear fibre optics (Elsevier, 2008), Chap. 2. (2) P. Stajanca, D. Pysz, G. Andriukaitis, T. Balciunas, G. Fan, A. Baltuska, I. Bugar: Ultrafast multi-wavelength switch based on spectrally-shifted solitons dynamics in a dual-core photonic crystal fiber, Opt. Express 22 (2014) 31092–31101 (3) V. H. Nguyen, L. X. The Tai, I. Bugar, M. Longobucco, R. Buczyński, B. A. Malomed, and M. Trippenbach: Reversible ultrafast soliton switching in dual-core highly nonlinear optical fibers, Opt. Lett. 45 (2020) 5221-5224*

#### **Kľúčové slová / Keywords**

optické vlákno, nelineárna optika, femtosekundový laser, plne-optické prepínanie, ultrarýchly prenos dát

*optical fiber, nonlinear optics, femtosecond laser, all-optical switching, ultrafast data transfer*

**Študijný program / Study programme:**

Kvantová elektronika, optika a optická spektroskopia / *Quantum Electronics and Optics and Optical Spectroscopy*

---

**Názov / Title**

Optická diagnostika rozhrania plazma-kvapalina  
*Optical diagnostic of water-plasma interface*

**Jazyk záverečnej práce / Language of Thesis**

slovenský / *Slovak*

**Školiteľ / Tutor**

doc. RNDr. Mário Janda, PhD.

**Anotácia / Annotation**

Plánujeme vyvíjať novú diagnostickú metódu na študovania transportu častíc z plazmy do kvapalín. Jedná sa o laserovú diagnostickú metódu využívajúcu totálny odraz.

*We plan to develop new diagnostic method to study transport of species from plasma to liquids. It will be a laser technique based on total reflection from the interface.*

**Cieľ / Aim**

Vývoj novej metódy a preskúmanie rýchlosti transportu častíc z plazmy do kvapaliny.

*New diagnostic tool development and study of mass transfer from plasma to liquids.*

**Kľúčové slová / Keywords**

elektrické výboje, plazma, optická diagnostika, elektrostatické rozprašovanie  
*electrical discharges, plasma, optical diagnostic, electrostatic spray*

**Študijný program / Study programme:**

Kvantová elektronika, optika a optická spektroskopia / *Quantum Electronics and Optics and Optical Spectroscopy*

---

**Názov / Title**

Optická spektroskopia a vizualizácia výbojov v dutinách materiálov  
*Optical spectroscopy and imaging of discharges in material cavities*

**Jazyk záverečnej práce / Language of Thesis**

anglický / *English*

**Školiteľ / Tutor**

doc. RNDr. Karol Hensel, PhD.

**Anotácia / Annotation**

*Optical imaging and optical spectroscopy are non-invasive methods that can bring a lot of knowledge about structure, time development and basic properties of plasmas and discharges.*

**Cieľ / Aim**

*The objective of the thesis will be to investigate discharges generated in cavities of various materials – porous foams, capillary tubes, pellet beds, honeycomb monoliths. Physical properties of the discharges based on optical and electrical measurements will be evaluated with respect to the geometry and type of material, applied voltage, gas composition, etc. Optical diagnostics will include temporally and spatially resolved spectroscopy and imaging the discharge using a photomultiplier system, a high speed camera and emission spectrometer.*

**Študijný program / Study programme:**

Kvantová elektronika, optika a optická spektroskopia / *Quantum Electronics and Optics and Optical Spectroscopy*

---

**Názov / Title**

Optické sledovanie difúzneho procesu nanočastíc vo vzdialenom poli.

*Optical monitoring of the diffusion process of nanoparticles in the far field.*

**Jazyk záverečnej práce / Language of Thesis**

slovenský / *Slovak*

**Školiteľ / Tutor**

RNDr. Milan Držík, CSc.

**Konzultant / Consultant**

prof. RNDr. Pavel Veis, CSc.

**Anotácia / Annotation**

S ohľadom na požiadavky na diagnostické a testovacie metódy v nanotechnológiách, aj v tejto oblasti existuje snaha o využitie optických princípov aj napriek tomu, že vlnové dĺžky svetla sú až stovky nanometrov. Hoci klasické prístupy neumožňujú pomocou optického zobrazenia detekovať detaily rozmerov menších ako je rozlišovacia schopnosť určená difrakčným limitom, možno nájsť spôsoby snímania svetelného poľa, ktoré nie sú týmto limitom obmedzené. Sú to metódy využívajúce fotoelektrickú registráciu a analýzu svetelného poľa v blízkom i vzdialenom poli, analýzu vlastností laserových škvŕn (speckles), meranie rozptylu svetla (skaterometria), meranie rozptylu Mie na nanočasticiach, využitie princípov metódy Dynamic Light Scattering (DLC), využitie pozorovania povrchových evanescentných vln i niektoré ďalšie. V rámci doktorandského štúdia sa budú riešiť predovšetkým problémy s využitím a realizáciou metód a prístupov v oblasti nano-optiky, ktoré umožňujú detekciu optického poľa so sub-difrakčným rozlíšením. Navrhovaná doktorandské štúdium má byť zamerané na spracovanie prehľadu existujúcich možností a analýzu problému na hlbšej experimentálnej a teoretickej úrovni ako aj experimentálnu realizáciu s využitím na diagnostické účely v nanometrológii. Pre úspešné zvládnutie úlohy sa predpokladajú znalosti základných princípov optických javov v koherentnom svetle a základov aplikovanej a numerickej matematiky.

*With regard to the requirements for diagnostic and testing methods in nanotechnologies, there is also an effort in this area to use optical principles, despite the fact that the wavelengths of light are up to hundreds of nanometers. Although classical approaches do not allow optical imaging to detect details of dimensions smaller than the resolution determined by the diffraction limit, methods of sensing the light field can be found that are not limited by this limit. These are methods using photoelectric registration and analysis of the light field in the near and far field, analysis of properties of laser spots, measurement of light scattering (skaterometry), measurement of Mie scattering on nanoparticles, use of Dynamic Light Scattering (DLC) principles, use of surface observations, evanescent waves and some others. The doctoral study will solve problems with the use and implementation of methods and approaches in the field of nano-optics, which allow the detection of the optical field with sub-diffraction resolution. The proposed doctoral study should be focused on the elaboration of an overview of existing possibilities and the analysis of the problem at a deeper experimental and theoretical level as well as the experimental implementation with the use for diagnostic purposes in nanometrology. Knowledge of the basic principles of optical phenomena in coherent light and the basics of applied and numerical mathematics are assumed for successful completion of the task.*

**Literatúra / Literature**



1. Novotny L., Hecht B.: Principles of nano-optics, Cambridge Uni Press, 2006 2. Loewen E.G., Popov E.: Diffraction gratings and applications, Marcel Dekker, 1997 3. Surface and thin film analysis, Bubert H., Jenett H. (Eds.), Wiley-WCH, 2002 4. Poole Ch. P., Owens F.J.: Introduction to nanotechnology, Wiley-WCH, 2003

*1. Novotny L., Hecht B.: Principles of nano-optics, Cambridge Uni Press, 2006 2. Loewen E.G., Popov E.: Diffraction gratings and applications, Marcel Dekker, 1997 3. Surface and thin film analysis, Bubert H., Jenett H. (Eds.), Wiley-WCH, 2002 4. Poole Ch. P., Owens F.J.: Introduction to nanotechnology, Wiley-WCH, 2003*

**Kľúčové slová / Keywords**

nanofotonika, nanometrológia, difrakcia svetla, priestorové frekvencie, spektrálna Fourierova analýza, speckle pole, difrakčný limit, fotoelektrické snímanie

*nanophotonics, nanometrology, light diffraction, spatial frequencies, spectral Fourier analysis, speckle field, diffraction limit, photoelectric sensing*

**Študijný program / Study programme:**

Kvantová elektronika, optika a optická spektroskopia / *Quantum Electronics and Optics and Optical Spectroscopy*

---

**Názov / Title**

Prvková stopová analýza a charakterizácia batériových materiálov na báze Li pomocou LIBS.  
*Element trace analysis and characterization of Li-based battery materials by LIBS.*

**Jazyk záverečnej práce / Language of Thesis**

anglický / *English*

**Školiteľ / Tutor**

Dr. Alicia Marín Roldán

**Konzultant / Consultant**

prof. RNDr. Pavel Veis, CSc.

**Anotácia / Annotation**

*Lithium-ion batteries (LIBs) are currently one of the most important electrochemical energy storage devices, powering electronic mobile devices and electric vehicles alike due to their highest available capacity. Within the VEGA project „Towards lithium-based batteries with improved lifetime“, the disassembled LIBs will be investigated by ex-situ analyses of the elemental compositions of cathodes and anodes after the end of their lifetime. We will performed spatially resolved LIBS (Laser-induced breakdown spectroscopy) locally and globally to track the trace element analysis at low surface concentration. For the analysis, a LIBS-compatible environmental chamber will be used, enable the transfer and direct LIBS measurements of disassembled battery parts in an inert atmosphere. The work will be realized at the FMFI, UK. For detailed information, please write an email to: roldan2@uniba.sk or call +421 915 742 776.*

**Cieľ / Aim**

*Study of trace elements composition of Li-based batteries utilizing LIBS*

**Literatúra / Literature**

*P. Veis, et al., Nucl. Mater. Energy 2020, 25, 100809.*

## Študijný program / *Study programme:*

Kvantová elektronika, optika a optická spektroskopia / *Quantum Electronics and Optics and Optical Spectroscopy*

---

### Názov / *Title*

Štúdium fs, ps a ns laserovej ablácie pre kvantitatívnu LIBS analýzu materiálov súvisiacich s termojadrovou syntézou.

*Study of fs, ps and ns laser ablation for quantitative LIBS analysis of materials related to thermonuclear synthesis.*

### Jazyk záverečnej práce / *Language of Thesis*

slovenský / *Slovak*

### Školiteľ / *Tutor*

Mgr. Milan Držík, CSc.

### Konzultant / *Consultant*

prof. RNDr. Pavel Veis, CSc.

### Anotácia / *Annotation*

Spektroskopia laserom indukovanej iskry (LIBS) umožňuje realizovať prvkovú analýzu ablovaného materiálu. Počas laserovej ablácie realizovanej ns, ps alebo fs laserovými impulzami sa tvorí plazma, ktorá následne expanduje a zhasína. Z časovorozlíšenej emisnej spektroskopie zhasínajúcej laserom indukovanej plazmy sa bude určovať zloženie a hĺbkové profily rôznych materiálov vhodných pre termojadrovú fúziu. Pri analýze sa využije širokopásmový spektrometer na báze schodkovej (echelle) mriežky. Jedným s cieľov je porovnanie rýchlosti ablácie a hĺbkové rozlíšenie prvkovej analýzy pre jednotlivé ns, ps a fs laserové režimy.

*Laser-induced breakdown spectroscopy (LIBS) allows to perform elemental analysis of ablated material. During laser ablation performed by ns, ps or fs laser pulses, a plasma is formed which subsequently expands and decays. The composition and depth profiles of various materials suitable for thermonuclear fusion will be determined from the time-resolved emission spectroscopy of laser-induced plasma. A broadband echelle spectrometer will be used for the analysis. The ablation rates of ns, ps and fs laser regime will be compare. One of the goals is to compare the rate of ablation and depth resolution of elemental analysis for individual ns, ps and fs laser modes.*

### Cieľ / *Aim*

Jedným s cieľov je porovnanie rýchlosti ablácie a hĺbkové rozlíšenie prvkovej analýzy pre jednotlivé ns, ps a fs laserové režimy.

*. One of the goals is to compare the rate of ablation and depth resolution of elemental analysis for individual ns, ps and fs laser modes.*

### Literatúra / *Literature*

1. A. Marín Roldán, et al., Spectrochimica Acta Part B. 2021, 177, 106055 2. P. Veis, et al., Physica scripta. 2020, T171, 014073 3. P. Veis, et al., Nuclear Materials and Energy. 2020, 25, 100809 4. G. Singh Maurya, et al., Journal of Nuclear Materials. 2020, 541, 152417

*1. A. Marín Roldán, et al., Spectrochimica Acta Part B. 2021, 177, 106055 2. P. Veis, et al., Physica scripta. 2020, T171, 014073 3. P. Veis, et al., Nuclear Materials and Energy. 2020, 25, 100809 4. G. Singh Maurya, et al., Journal of Nuclear Materials. 2020, 541, 152417*

### Kľúčové slová / *Keywords*

laserová ablácia, CF-LIBS, termojadrová fúzia  
*laser ablation, CF-LIBS, fusion*

## Študijný program / *Study programme:*

Kvantová elektronika, optika a optická spektroskopia / *Quantum Electronics and Optics and Optical Spectroscopy*

---

### Názov / *Title*

Vplyv mikrofyziky aerosólu na žiaru okoloslnečnej zóny  
*Intense circumsolar brightness due to aerosol microphysics*

### Jazyk záverečnej práce / *Language of Thesis*

slovenský / *Slovak*

### Školiteľ / *Tutor*

Mgr. Miroslav Kocifaj, PhD.

### Anotácia / *Annotation*

Žiarenie okoloslnečnej zóny môže za istých podmienok predstavovať významnú zložku detegovanú senzorom s konečnorozmerným zorným poľom. Mnohé rádiometre alebo slnečné fotometre používané na charakterizáciu atmosférických aerosólov využívajú dáta získané z obdobných senzorov, pričom interpretácia meraní priameho slnečného žiarenia v zmysle Beer–Lambert–Bougerovho zákona môže viesť k chybám stanovenia rozmerovej distribúcie častíc alebo aerosólovej optickej hrúbky ako funkcie vlnovej dĺžky. Neurčitosť stanovenia žiary okoloslnečnej zóny má tiež významný podiel na nepresnosť výpočtu energetického zisku slnečných koncentrátorov. Mnohé regióny sa odlišujú v type prevládajúcich častíc aerosólu, pričom tieto častice pochádzajú z lokálnych zdrojov znečistenia ako je priemysel, stavebná či poľnohospodárska činnosť alebo sú transportované vetrom z väčších vzdialeností a viažu sa skôr na vzduchovú hmotu. Je zrejmé, že v prímorských regiónoch budú prevládať slabo absorbujúce soli a vodný aerosól, ktorý sa svojimi fyzikálnymi vlastnosťami (rozmermi, morfológiou, ...), ale aj chemickým zložením bude výrazne odlišovať od častíc produkovaných spaľovaním fosílnych palív. V takých časticiach pozorujeme vysoké zastúpenie uhlíkatých zložiek, ktoré absorbujú výrazne viac elektromagnetickej energie než iné aerosólové častice. To môže ovplyvniť efektívnosť slnečných koncentrátorov a to aj v prípade, že sa rozmerové distribúcie oboch vyššie uvedených typov častíc veľmi nelíšia. V súčasnosti sa táto problematika intenzívne rieši v USA, kde existuje veľká sieť meracích staníc poskytujúcich informácie o optických a mikrofyzikálnych vlastnostiach aerosólu, ale nové riešenia sú potrebné pre suché (púštne) oblasti s vysokým podielom jasných dní a vyšším zastúpením veľkých nesférických častíc, pre ktoré je typický výrazný dopredný rozptyl.

### Cieľ / *Aim*

Ciele práce: 1. Modelovať uhlové charakteristiky rozptýleného žiarenia pre aerosólové častice odlišujúce sa funkciou rozdelenia počtu podľa veľkosti, tvarom alebo zložením (typické modely: mestský, vidiecky, prímorský, ... aerosól). 2. Zistiť vplyv usporiadania jednotlivých materiálov v objeme častice na rozptyl žiarenia. Motiváciou pre túto prácu je fakt, že procesy podieľajúce sa na vzniku častíc nie nevyhnutne vedú k náhodnému premiešaniu jednotlivých materiálov v objeme častice, ale skôr k agregácii jednotlivých zložiek, čoho výsledkom je, že častice sú tvorené konečnorozmernými zhlukmi materiálov alebo je jeden materiál sústredený skôr v jadre zatiaľ čo iný materiál sa preferovane vyskytuje v povrchových vrstvách častice. Rôzne zoskupenie materiálov pritom zodpovedá rôznemu fázovému posuvu medzi rozptýlenými vlnami a teda inému uhlovému prerozdeleniu žiarenia rozptýleného takými časticami. 3. Objasniť fundamentálne rozdiely medzi žiarou okoloslnečnej zóny v priblížení idealizovaného modelu homogénnych sférických častíc a v prípade reálneho modelu nehomogénnych nesférických častíc. Stanoviť mieru neurčitosti spektrálnej žiary v prípade širokej variability mikrofyzikálnych parametrov častíc v atmosfére. 4. Pokúsiť sa o vytvorenie analytického modelu žiary v aproximácii malých uhlov rozptylu pre účely hromadného modelovania pre rôzne typy častíc. Stanoviť vplyv modálneho

polomeru polydisperzného súboru častíc na uhlovú závislosť a na píkove hodnoty spektrálnej žiary v okolosľnečnej zóne. 5. Vytvoriť databázu potrebnú pre modelovanie žiary okolosľnečnej zóny pre rozmerové distribúcie a chemické zloženie aerosólových častíc podľa klasifikácie na mestský, vidiecky, ale aj kontinentálny, prímorský... aerosól.

### **Literatúra / Literature**

Doporučená literatúra: • Bohren C. F., Huffman D. R. (2004): Absorption and Scattering of Light by Small Particles. Wiley-VCH: Weinheim. • Kahnert M. (2003): Numerical methods in electromagnetic scattering theory, Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer, vol. 79-80, p. 775–824. • Mishchenko M. I., Travis L. D., Lacis A. A. (2002): Scattering, Absorption, and Emission of Light by Small Particles. Cambridge University Press: Cambridge. • Kocifaj M., Gueymard C. A. (2011). Theoretical evaluation of errors in aerosol optical depth retrievals from ground-based direct-sun measurements due to circumsolar and related effects. Atmospheric Environment 45, 1050–1058. • Kocifaj M., Gueymard C. A. (2012). Aerosol size distribution retrievals from sunphotometer measurements: Theoretical evaluation of errors due to circumsolar and related effects. Atmospheric Environment 51, 131–139. • Mishchenko M. I. (2014). Electromagnetic Scattering by Particles and Particle Groups: An Introduction. Cambridge University Press: Cambridge. • Barber P. W., Hill C. S. (1998). Light Scattering by Particles: Computational Methods. World Scientific: Singapore. • Mishchenko M. I. (2009). Electromagnetic scattering by nonspherical particles: A tutorial review. J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer 110, 808-832. • Muñoz O., Hovenier J. W. (2011). Laboratory measurements of single light scattering by ensembles of randomly oriented small irregular particles in air. A review. J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer. 112, 1646-1657. • Hergert W, Wriedt T. (2012). The Mie theory: Basics and Applications. Springer Ser. Opt. Sci. 169.

### **Poznámka / Comment**

Prínosy dizertačnej práce: 1. Vytvorenie pilotného optického modelu žiary okolosľnečnej zóny, ktorý doposiaľ nebol zostavený v kompaktnej a robustnej forme. 2. Kvantifikácia a kvalifikácia účinkov aerosólu na dostupnosť žiarivej energie pre účely sľnečných kolektorov. 3. Overenie existujúcich alebo zostavenie nových analytických modelov vhodných pre hromadné numerické simulácie v rôznych regiónoch s odlišným prevládajúcim typom aerosólov. 4. Bude stanovený vplyv nehomogenity a nesľfericity častíc na žiaru v aproximácii malých uhlov rozptylu, čo umožní po prvý krát komplexné zhodnotenie efektivity sľnečných koncentrátorov v oblastiach s vysokým podielom veľkých nesľferických častíc (púštna oblasť).

### **Kľúčové slová / Keywords**

rozptyl svetla, mikrofyzika aerosólu, sľnečné žiarenie, okolosľnečná zóna, sľnečné koncentrátory.