



FZU

Fyzikální ústav
Akademie věd
České republiky

Výroční zpráva

o činnosti a hospodaření
za rok

2019





Úvodní slovo k výroční zprávě je velmi specifický slohový útvar. Mělo by jít o ohlédnutí za minulým rokem, ovšem vzniká typicky až jako jedna z posledních součástí výroční zprávy v květnu roku aktuálního. Ředitel – pisatel je tak vystaven velkému pokušení zohlednit důležité události, které se udály v posledních měsících. Toto pokušení je obzvláště silné v letošním roce, kdy nedávné události v rámci koronavirové krize a nouzového stavu v České republice byly opravdu mimořádné a historicky jedinečné, ale omezím se nyní na konstatování, že Fyzikálnímu ústavu AV ČR (FZU) se v této zkoušce podařilo obstát mimořádně dobře – zejména díky vynikajícímu nasazení všech zaměstnanců v mnoha různých rolích.

Rok 2019 byl pro rozvoj FZU rokem jistě příznivým. Všechny relevantní statistické ukazatele rostly: Počet zaměstnanců se zvýšil z 1334 na konci roku 2018 na 1357 na konci roku 2019. Jde o růst jen o 1,7%, což je ale v souladu s tím, že obě velká laserová centra ELI Beamlines a HiLASE již jsou plně personálně obsazena a ani v jiných vědeckých sekcích nebyl v loňském roce zahájen žádný projekt spojený se zásadnějším přijímáním nových lidí.

Provozní rozpočet FZU – plánovaný – stoupl z 1,7 miliardy Kč v roce 2018 na 1,9 miliardy Kč v roce 2019. To svědčí o tom, že FZU se zatím daří nalézat financování pro rostoucí počet zaměstnanců i finanční prostředky pro to, aby tito zaměstnanci mohli provádět špičkový výzkum. Tato aritmetika je trochu komplikovaná ze dvou důvodů – účetně se do provozního rozpočtu promítají i odpisy dlouhodobého majetku, takže reálnější hodnotu skutečně provozního rozpočtu bychom dostali, kdybychom odečetli kolem 400 miliónů Kč v obou letech. Druhým důvodem pak je, že skutečné čerpání se od plánovaného rozpočtu může i výrazněji lišit podle toho, jak se FZU daří získávat jak další grantové prostředky v průběhu roku, tak i další institucionální prostředky ve výzvách Akademie věd ČR, dále se může v průběhu roku změnit a zpřesnit i výše zmíněných účetních odpisů investičního majetku.

Jak jsem na tomto místě diskutoval v loňské výroční zprávě, provozní rozpočet FZU narůstá zatím především díky úspěšnému získávání účelových prostředků z nejrůznějších grantů, institucionální rozpočet roste stále jen pomaleji, úměrně tomu, jak roste velikost kapitoly Akademie věd ČR ve státním rozpočtu. V roce 2019 byl růst dlouhodobé podpory rozvoje vědy a výzkumu pouze 1,4%, dalších 1,7% pak bylo FZU poskytnuto pro růst mezd kmenových zaměstnanců. Institucionální financování tak nyní tvoří už jen méně než třetinu celkového rozpočtu, konkrétně šlo v roce 2019 už jen o 30%.

Ještě doplníme dva ukazatele. Počet publikací v mezinárodních recenzovaných impaktovaných časopisech byl v roce 2019 dokonce vůbec nejvyšší v historii FZU, bylo publikováno 770 prací (v roce 2018 to bylo 690). A konečně průměrná hrubá mzda (včetně odměn) na FZU vzrostla z 49 321 Kč v roce 2018 na 51 804 Kč v roce 2019, tedy o více než 5%.

Chápu, že statistika je sice zajímavá a důležitá pro ředitele FZU, ale možná už méně pro běžného čtenáře výroční zprávy vědeckého ústavu. Pojdme se tedy chvíli věnovat vědě a našim výsledkům. Vybraných nejvýznamnějších vědeckých výsledků FZU najdete tentokrát ve zprávě celkem 24 a jsou uspořádány podle vědeckých sekcí, kde vznikly. Věřím, že podobně jako já budete za velmi zajímavou považovat velkou většinu z nich, přesto si dovolím podrobněji upozornit na tři práce.

P. Brázda a L. Palatinus ze sekce fyziky pevných látek ve svém článku v časopise Science představili novou metodu, která umožňuje určit absolutní konfiguraci molekuly s pomocí elektronové difrakce i v systémech, které jsou až o řád méně stabilní, než bylo možné dosud. Toto významné zlepšení je klíčové například pro charakterizaci molekul nových léčiv. L. Heller a kolegové ze sekce fyziky kondenzovaných látek se zaměřili



na vytvoření přehledu tahové deformace komerčních superelastických vláken NiTi. Tato deformace byla studována v termomechanických zkouškách v širokém teplotním oboru s využitím in-situ metod elektrické rezistometrie, synchrotronové difrakce, korelace obrazu a ex-situ TEM. Konečně, velmi zajímavou studii představil Y. J. Gu a kolegové ze sekce ELI Beamlines, kteří se zabývali simulacemi magnetické rekonekce v relativistickém plazmatu. To má úzkou souvislost s konkrétními astrofyzikálními procesy, například s gama vzplanutím v Krabí mlhovině, ale studie zároveň souvisí s přípravou experimentů laboratorní astrofyziky s využitím laserů s velmi vysokým výkonem.

Co se týká velkých projektů FZU, velmi úspěšně pokračoval v roce 2019 projekt SOLID21 z Operačního programu Výzkum, vývoj a vzdělávání (OP VVV), zahájený v roce 2018. Kromě mnoha konkrétních publikačních výsledků probíhá intenzivně též investiční fáze projektu – je pořizována řada špičkových přístrojů pro fyziku pevných látek a v srpnu loňského roku byl položen základní kámen nového pavilonu FZU v sousedství hlavní budovy v areálu na Slovance. Velmi pozitivně se vyvíjejí i obě laserová centra v Dolních Břežanech – ELI Beamlines a HiLASE a jejich projekty. HiLASE mimořádně úspěšně řeší evropský projekt Teaming – HiLASE Centre of Excellence ve spolupráci se špičkovým partnerem Science and Technology Facilities Council z Velké Británie. ELI Beamlines v roce 2019 úspěšně zrealizovalo první výzvy pro externí uživatele, čímž se začíná naplňovat hlavní cíl této evropské infrastruktury, a to nabídnout unikátní lasery i koncové stanice pro špičkový uživatelský výzkum v rámci Evropy i mimo ni. V kontextu dalšího projektu OP VVV – HR AWARD – se podařilo v dubnu 2019 získat ocenění Evropské komise „HR Excellence in Research“, čímž byl potvrzen významný soulad naší praxe při práci s lidskými zdroji s Evropskou chartou pro výzkumné pracovníky.

V závěru svého úvodního textu bych se chtěl pozastavit ještě u jednoho aspektu, který jsme široce diskutovali v loňském roce a kterému budeme jistě věnovat pozornost i nadále. Jde o zastoupení žen v různých rolích na FZU. Fyzika je celosvětově jedním z oborů, kde jsou ženy nejméně zastoupeny. Například ještě před několika lety bylo mezi „plnými“ profesory fyziky v USA jen 6 % žen, anebo mezi absolventy doktorského studia fyzikálních oborů v Německu bylo jen 8 % žen. Na celém světě i v České republice se v posledních letech situace vyvíjí a zájem o fyziku mezi dívkami a následně i podíl žen, které ve fyzice setrvávají, stoupá. Mezi absolventy Matematicko-fyzikální fakulty Univerzity Karlovy ve fyzikálních oborech je nyní asi 25 % žen, před 20 lety byl tento podíl méně než 10 %. Na FZU máme příznivá čísla mezi mladšími vědci a vědkyněmi – mezi doktorandy na FZU je 25 % žen a mezi postdoktorandy dokonce 28 % žen. Ve více seniorních kategoriích je poměr pochopitelně z historických důvodů více polarizovaný, v kategorii vědecký pracovník máme 16 % žen a v kategorii vedoucí vědecký pracovník dokonce pouze 9 % žen. Pro pořádek ještě uvádím, že celkem, napříč všemi kategoriemi, tedy včetně technických a administrativních pracovníků na FZU působí 30 % žen. S potěšením pozoruji, že v posledních letech jsou ženy čím dál výraznějšími hybatelkami vědeckého i organizačního života na FZU. Například z 15 volených členů Akademického sněmu AV ČR máme nyní 4 ženy, důležitou a jistě mimořádně pozitivní roli ženy hrají například ve Volební komisi a Etické komisi FZU. Je zřejmé, že současný stav nemůžeme změnit skokově, ale důležitá je široká podpora žen na FZU a možnost sladění rodinného života s prací. I o to se na FZU snažíme a budeme i nadále hledat cesty, jak se v tomto ohledu zlepšit.

Je příjemné se podepisovat pod úvodní slovo plné pozitivních a zajímavých informací. Rok 2019 byl v tomto ohledu velmi příznivý a poděkování za to patří všem zaměstnancům FZU, kteří tomu svojí prací, pílí, znalostmi a umem napomohli. A – trošku se vracím k úvodu mého textu – pevně věřím, že i přes turbulentní události posledních měsíců budu moci podobně pozitivní úvodní slovo napsat i za rok.

V Praze dne 14. 5. 2020

Michael Prouza



Výroční zpráva o činnosti a hospodaření za rok 2019

■ **Zpracovatel:** Fyzikální ústav AV ČR, v. v. i.
IČO: 68378271

■ **Sídlo:** Na Slovance 1999/2
182 21 Praha 8
tel.: (+420) 266 052 110
fax.: (+420) 286 890 527
e-mail: secretary@fzu.cz
<https://www.fzu.cz/>

■ **Zřizovatel:** Akademie věd ČR



Dozorčí radou pracoviště projednáno dne 9. 6. 2020

Radou pracoviště schváleno dne 17. 6. 2020

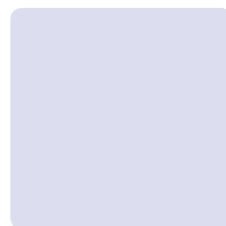
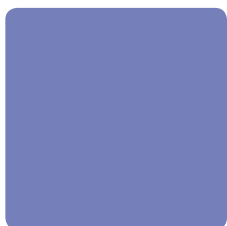
V Praze dne 17. 6. 2020



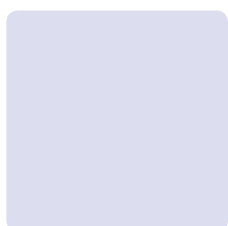
Obsah

| | |
|---|-----|
| 1. Informace o složení orgánů veřejné výzkumné instituce a o jejich činnosti | 9 |
| 1.1 Složení orgánů pracoviště | 10 |
| 1.1.1 Rada pracoviště | 10 |
| 1.1.2 Dozorčí rada pracoviště | 10 |
| 1.1.3 Změny ve složení orgánů | 10 |
| 1.2 Informace o pracovišti | 11 |
| 1.2.1 Rada pracoviště | 11 |
| 1.2.2 Dozorčí rada pracoviště | 12 |
| 1.2.3 Informace o změnách zřizovací listiny | 16 |
| 1.2.4 Domácí a zahraniční ocenění zaměstnanců | 16 |
| 1.2.5 Dvořákova přednáška 2019 | 17 |
| 1.2.6 Základní informace o pracovišti | 18 |
| 1.2.7 Další specifické informace o pracovišti | 19 |
| 1.3 Přehled oddělení a skupin | 21 |
| 1.4 Struktura pracoviště | 22 |
| 1.4.1 Struktura vědeckých sekcí FZÚ v roce 2019 | 23 |
| 1.4.2 Základní personální údaje | 24 |
| 2. Hodnocení hlavní činnosti | 27 |
| 2.1 Sekce fyziky elementárních částic v roce 2019 | 28 |
| 2.2 Sekce fyziky kondenzovaných látek v roce 2019 | 39 |
| 2.3 Sekce fyziky pevných látek v roce 2019 | 54 |
| 2.4 Sekce optiky v roce 2019 | 79 |
| 2.5 Sekce výkonových systémů v roce 2019 | 93 |
| 2.6 Sekce realizace projektu ELI Beamlines v roce 2019 | 113 |

| | | |
|-------------|--|-----|
| 2.7 | Projekty programů EU řešené na pracovišti v roce 2019 | 129 |
| 2.8 | Spolupráce s vysokými školami v roce 2019 | 134 |
| 2.8.1 | Spolupráce s VŠ na uskutečňování bakalářských, magisterských a doktorských studijních programů..... | 134 |
| 2.8.2 | Pedagogická činnost pracovníků ústavu | 134 |
| 2.8.3 | Vzdělávání středoškolské mládeže | 135 |
| 2.8.4 | Spolupráce pracoviště s VŠ ve výzkumu..... | 135 |
| 2.8.5 | Doktorandi a diplomanti, kteří vypracovali doktorskou či diplomovou práci ve Fyzikálním ústavu AV ČR a obhájili ji v roce 2019 | 135 |
| 2.8.6 | Společná pracoviště ústavu s účastí VŠ | 143 |
| 2.8.7 | Akreditované programy | 145 |
| 2.9 | Popularizace, konference, hosté, dohody | 146 |
| 2.9.1 | Nejvýznamnější popularizační aktivity pracoviště | 146 |
| 2.9.2 | Akce s mezinárodní účastí, které pracoviště organizovalo nebo v nich vystupovalo jako spolupořadatel..... | 149 |
| 2.9.3 | Nejvýznamnější zahraniční vědci, kteří navštívili pracoviště | 156 |
| 2.9.4 | Aktuální meziústavní dvoustranné dohody 2019..... | 157 |
| 2.9.5 | Statistika zahraničních styků | 171 |
| 2.10 | Publikace zaměstnanců FZÚ v roce 2019 | 175 |
| 2.10.1 | Přehled | 175 |
| 2.10.2 | Významné výsledky vědecké činnosti v roce 2019 | 176 |
| 2.10.3 | Knihy, monografie | 200 |
| 2.10.4 | Kapitoly v knihách..... | 200 |
| 2.10.5 | Publikace v impaktovaných časopisech..... | 201 |
| 2.10.6 | Patenty | 249 |
| 2.10.7 | Užitné vzory | 252 |
| 3. | Ekonomická část výroční zprávy za rok 2019 | 255 |
| 3.1.1. | Rozvaha..... | 256 |
| 3.1.2. | Výkaz zisku a ztrát..... | 259 |
| 3.1.3. | Příloha k účetní závěrce..... | 261 |
| 3.1.4 | Předpokládaný vývoj pracoviště | 274 |
| 3.1.5 | Aktivity v oblasti pracovněprávních vztahů..... | 274 |
| 3.1.6 | Aktivity v oblasti ochrany životního prostředí..... | 275 |
| 3.1.7 | Zpráva o poskytování informací za období od 1. 1. – 31. 12. 2019 | 275 |
| 3.1.8. | Zpráva nezávislého auditora pro Fyzikální ústav AV ČR, v. v. i. | 276 |



1. Informace o složení orgánů veřejné výzkumné instituce a o jejich činnosti





1.1 Složení orgánů pracoviště

Ředitel pracoviště: RNDr. Michael Prouza, Ph.D.

1.1.1 Rada pracoviště

V roce 2019 nedošlo ve složení Rady FZÚ AV ČR, v. v. i., ke změnám.

| | | |
|------------------|------------------------------------|-------------------------|
| Předseda: | doc. Ing. Martin Nikl, CSc. | FZÚ AV ČR, v. v. i. |
| Místopředseda: | Ing. Tomáš Mocek, Ph.D. | FZÚ AV ČR, v. v. i. |
| Interní členové: | RNDr. Antonín Fejfar, CSc. | FZÚ AV ČR, v. v. i. |
| | Ing. Alexandr Dejneka, Ph.D. | FZÚ AV ČR, v. v. i. |
| | RNDr. Stanislav Kamba, CSc. | FZÚ AV ČR, v. v. i. |
| | prof. Ing. Pavel Lejček, DrSc. | FZÚ AV ČR, v. v. i. |
| | RNDr. Jiří J. Mareš, CSc. | FZÚ AV ČR, v. v. i. |
| | prof. Jan Řídký, DrSc. | FZÚ AV ČR, v. v. i. |
| | Mgr. Jindřich Kolorenč, Ph.D. | FZÚ AV ČR, v. v. i. |
| Externí členové: | RNDr. Michael Prouza, Ph.D. | FZÚ AV ČR, v. v. i. |
| | prof. RNDr. Zdeněk Doležal, Dr. | MFF UK |
| | Mgr. Jindřich Houžvička, Ph.D. | CRYTUR, spol. s r.o. |
| | doc. RNDr. František Chmelík, CSc. | MFF UK |
| | prof. RNDr. Zdeněk Samec, DrSc. | ÚFCH JH AV ČR, v. v. i. |
| Tajemník: | Ing. Oldřich Schneeweiss, DrSc. | ÚFM AV ČR, v. v. i. |
| | RNDr. Jiří Rameš, CSc. | FZÚ AV ČR, v. v. i. |

1.1.2 Dozorčí rada pracoviště

| | | |
|----------------|--|---------------------|
| Předseda: | RNDr. Jan Šafanda, CSc. (<i>do 26. 10. 2019</i>) | GFÚ AV ČR, v. v. i. |
| | doc. Ing. Luboš Náhlík, Ph.D. (<i>od 27. 10. 2019</i>) | ÚFM AV ČR, v. v. i. |
| Místopředseda: | Ing. Ivan Gregora, CSc. | FZÚ AV ČR, v. v. i. |
| Členové: | prof. Ing. Tomáš Čechák, CSc. | FJFI ČVUT v Praze |
| | RNDr. Vladimír Wagner, CSc. | ÚJF AV ČR, v. v. i. |
| | Ing. Jiří Plešek, CSc. | ÚT AV ČR, v. v. i. |
| | prof. RNDr. Ladislav Skrbek, DrSc. | MFF UK |
| | Ing. Miroslav Hořejší | FZÚ AV ČR, v. v. i. |
| Tajemník: | | |

1.1.3 Změny ve složení orgánů

V roce 2019 nedošlo ke změnám ve složení rady pracoviště. Od 27. 10. 2019 byl jmenován nový předseda Dozorčí rady pracoviště doc. Ing. Luboš Náhlík, Ph.D.



1.2 Informace o pracovišti

1.2.1 Rada pracoviště

Data zasedání Rady FZÚ AV ČR, v. v. i.

| | | | |
|--------------|-------------|--------------|-------------|
| 81. zasedání | 19. 3. 2019 | 84. zasedání | 17. 9. 2019 |
| 82. zasedání | 25. 4. 2019 | 85. zasedání | 3. 12. 2019 |
| 83. zasedání | 27. 5. 2019 | | |

Rada dále projednala 17 návrhů formou per rollam.

Zápisy ze všech zasedání Rady FZÚ jsou zveřejněny na webové stránce <http://www.fzu.cz/rada-fzu>

Na zasedání Rady byli zváni:

RNDr. Jan Šafanda, CSc., předseda Dozorčí rady FZÚ do 26. 10. 2019
 doc. Ing. Luboš Náhlík, Ph.D., předseda Dozorčí rady FZÚ od 27. 10. 2019
 Ing. Ivan Gregora, CSc., místopředseda Dozorčí rady FZÚ
 Ing. Jiří Červenka, Ph.D., vědecký tajemník FZÚ

Významné záležitosti projednané Radou FZÚ

- Rada projednala a schválila rozpočet provozních nákladů a výnosů pro rok 2019, jakož i střednědobý výhled provozních nákladů a výnosů pro roky 2020 a 2021, viz zápis z 82. zasedání.
- Rada schválila návrh ředitele na převedení zisku za rok 2018 do rezervního fondu, viz zápis z 85. zasedání.
- Rada schválila Výroční zprávu o činnosti a hospodaření FZÚ za rok 2018, viz zápis z 84. zasedání.
- Rada sledovala vývoj projektu OP VVV SOLID21 po jeho schválení a seznámila se s harmonogramem výstavby budovy na Slovance, viz zápis z 82. a 83. zasedání.
- Rada se zabývala situací v oblasti předběžného hodnocení návrhů projektů pro nové operační programy v období 2021–2027, především projektů charakterizovaných jako strategické, viz zápis z 81., 82., 84. a 85. zasedání.
- Rada schválila změny vnitřních předpisů FZÚ – Organizačního řádu FZÚ, Vnitřního mzdového předpisu FZÚ a Pravidel pro hospodaření se sociálním fondem, viz zápisy z 81., 84., a 85. zasedání.
- Rada projednala návrhy na jmenování dvou pracovníků FZÚ emeritním vědeckým pracovníkem AV ČR a vyslovila souhlas s podáním návrhů Akademické radě AV ČR, viz zápisy z 81. a 85. zasedání.
- Rada projednala návrhy na udělení čestné oborové medaile Ernsta Macha za zásluhy ve fyzikálních vědách a doporučila jejich podání, viz zápisy z 83. a 84. zasedání.
- Rada projednala návrh na udělení Akademické prémie a doporučila jeho podání, viz zápis z 81. zasedání.
- Rada projednala návrhy na udělení Prémie Otto Wichterleho a vyslovila souhlas s jejich podáním, viz zápis z 81. zasedání.
- Rada projednala návrh na udělení Ceny Neuron pro mladé vědce a vyslovila souhlas s jeho podáním, viz zápis z 81. zasedání.

- Rada projednala návrh na udělení čestné medaile Za zásluhy o Akademii věd České republiky a doporučila jeho podání, viz zápis z 84. zasedání.
- Rada projednala návrh na udělení Ceny Františka Běhounka za propagaci a popularizaci české vědy a šíření dobrého jména České republiky v Evropském výzkumném prostoru a doporučila jeho podání, viz zápis z 84. zasedání.
- Rada projednala návrhy na udělení prémie Lumina quaeruntur a vyslovila souhlas s jejich podáním, viz zápis z 81. zasedání.
- Rada projednala návrhy na udělení čestné medaile AV ČR De scientia et humanitate optime meritis a doporučila jejich podání, viz zápis z 81. zasedání.
- Rada projednala a podpořila podání návrhů na mzdovou podporu postdoktorandů na pracovištích AV ČR v rámci v Programu na podporu perspektivních lidských zdrojů, viz zápisy z 82. a 84. zasedání.
- Rada projednala návrh projektu v rámci programu Mezinárodní spolupráce mladých vědeckých pracovníků (MSM) a vyslovila souhlas s podáním žádosti, viz zápis z 84. zasedání.
- Poté, co proběhla formou seminářů veřejná prezentace a obhajoba návrhů na nákup nákladných přístrojů a následně je projednala porada ředitele, projednala Rada jednotlivé návrhy a doporučila řediteli jejich pořadí k podání, viz zápis z 83. zasedání.
- Rada projednala návrhy projektů FZÚ přihlášené do veřejné soutěže GA ČR a projektů podobného charakteru (v rámci programů TA ČR, evropských projektů a dalších), viz zápisy z 82., 83. a 85. zasedání.
- Rada projednala 23 návrhů dohod o spolupráci mezi FZÚ a dalšími institucemi nebo dokumentů podobného charakteru, viz zápisy z 81., 82., 83., 84. a 85. zasedání.

V Praze 1. března 2020

*doc. Ing. Martin Nikl, CSc.
předseda Rady FZÚ*

1.2.2 Dozorčí rada pracoviště

Během roku 2019 byla svolána dvě řádná zasedání Dozorčí rady FZÚ AV ČR, v. v. i., (dále Dozorčí rada), a to 30. 5. a 11. 12. Na zasedání Dozorčí rady byli pravidelně zváni ředitel FZÚ AV ČR, v. v. i., a tajemník Dozorčí rady. Předseda a místopředseda Dozorčí rady byli pravidelně zváni na zasedání Rady FZÚ AV ČR, v. v. i., a těchto zasedání se podle svých možností zúčastňovali. V roce 2019 bylo projednáno 34 bodů agendy, z toho 32 pomocí e-mailové komunikace mezi členy Dozorčí rady (per rollam) a 2 body na 25. řádném zasedání Dozorčí rady (30. 5. 2019).

Akademická rada AV ČR na svém 30. zasedání 8. října 2019 rozhodla o jmenování nového předsedy Dozorčí rady Fyzikálního ústavu AV ČR v. v. i., kterým se od 27. října 2019 stal doc. Ing. Luboš Náhlík, Ph.D. z Ústavu fyziky materiálů AV ČR, člen Akademické rady AV ČR.

Agenda dozorčí rady v roce 2019

| <i>Položka agendy</i> | <i>Téma jednání, způsob projednání, výsledek</i> | <i>Termín</i> |
|-----------------------|--|---------------|
| 1 | Uzavření kupní smlouvy, jejímž předmětem je dodání zařízení „Elektronový mikroanalyzátor“ <i>Projednáno per rollam – udělen předchozí písemný souhlas dle zákona č. 341/2005 Sb., §19, odst. (1), písm. b), bod 2</i> | 4. 2. 2019 |
| 2 | Smlouva o nájmu v bytovém domě v Praze 9 – Střížkov, Bohušovická 14/229 <i>Projednáno per rollam – udělen předchozí písemný souhlas dle zákona č. 341/2005 Sb., §19, odst. (1), písm. b), bod 7</i> | 4. 2. 2019 |

| | | |
|----|---|-------------|
| 3 | Uzavření smlouvy o dílo, jejímž předmětem je projektování, inženýrská činnost, výstavba a provedení zkušebního provozu Nového pavilonu FZÚ <i>Projednáno per rollam – udělen předchozí písemný souhlas dle zákona č. 341/2005 Sb., §19, odst. (1), písm. b), bod 1</i> | 4. 2. 2019 |
| 4 | Aparatura pro Multifrekvenční PFM <i>Projednáno per rollam – udělen předchozí písemný souhlas dle zákona č. 341/2005 Sb., §19, odst. (1), písm. b), bod 2</i> | 4. 2. 2019 |
| 5 | Smlouva na pořízení dvou vakuových ventilů pro distribuci svazku L4. <i>Projednáno per rollam – udělen předchozí písemný souhlas dle zákona č. 341/2005 Sb., §19, odst. (1), písm. b), bod 2</i> | 4. 2. 2019 |
| 6 | Smlouva o nájmu nebytových prostor <i>Projednáno per rollam – udělen předchozí písemný souhlas dle zákona č. 341/2005 Sb., §19, odst. (1), písm. b), bod 7</i> | 28. 2. 2019 |
| 7 | Návrh kupní smlouvy, která má být uzavřena na základě zadávacího řízení s názvem „Scanning Electron Microscope (SEM) and its accessories“ na dodávku vybavení do laserové laboratoře <i>Projednáno per rollam – udělen předchozí písemný souhlas dle zákona č. 341/2005 Sb., §19, odst. (1), písm. b), bod 2</i> | 2. 4. 2019 |
| 8 | Návrh kupní smlouvy, která má být uzavřena na základě zadávacího řízení „Pump diodes for 100 Hz 10 J system“ na dodávku vybavení do laserové laboratoře <i>Projednáno per rollam – udělen předchozí písemný souhlas dle zákona č. 341/2005 Sb., §19, odst. (1), písm. b), bod 2</i> | 2. 4. 2019 |
| 9 | Návrh Dodatku č. 2 ke smlouvě č. S17/178E o zhotovení a dodávce vakuového systému distribuce svazku laseru L3, uzavřené dne 27. 9. 2017. <i>Projednáno per rollam – udělen předchozí písemný souhlas dle zákona č. 341/2005 Sb., §19, odst. (1), písm. b), bod 2</i> | 2. 4. 2019 |
| 10 | Návrh Dodatku č. 1 ke smlouvě č. S18/096E o dodávce integrovaného systému vakuových komor, optomechanických montáží a kontrolního systému pro tzv. Compressor Image Relay System. <i>Projednáno per rollam – udělen předchozí písemný souhlas dle zákona č. 341/2005 Sb., §19, odst. (1), písm. b), bod 2</i> | 2. 4. 2019 |
| 11 | Uzavření kupní smlouvy, jejímž předmětem je dodání zařízení „Víceúčelový texturní difraktometr“ <i>Projednáno per rollam – udělen předchozí písemný souhlas dle zákona č. 341/2005 Sb., §19, odst. (1), písm. b), bod 2</i> | 14. 5. 2019 |
| 12 | Uzavření smlouvy o dílo, jejímž předmětem je „Projektování, inženýrská činnost, výstavba a provedení zkušebního provozu budovy Nového pavilonu FZÚ“ <i>Projednáno per rollam – udělen předchozí písemný souhlas dle zákona č. 341/2005 Sb., §19, odst. (1), písm. b), bod 1</i> | 14. 5. 2019 |
| 13 | Návrh smlouvy o dílo, která má být uzavřena na základě zadávacího řízení s názvem „Zvýšení výpočetní kapacity HPC (Upgrade HPC Cluster“ <i>Projednáno per rollam – udělen předchozí písemný souhlas dle zákona č. 341/2005 Sb., §19, odst. (1), písm. b), bod 2</i> | 14. 5. 2019 |
| 14 | Návrh smlouvy o dílo, která má být uzavřena na základě zadávacího řízení s názvem „Úprava experimentálních hal s napojením na rozvody technologií“ <i>Projednáno per rollam – udělen předchozí písemný souhlas dle zákona č. 341/2005 Sb., §19, odst. (1), písm. b), bod 1</i> | 14. 5. 2019 |

| | | |
|----|--|-------------|
| 15 | Smlouva pro pořízení datového úložiště NAS pro ELI Beamlines <i>Projednáno na 25. zasedání DR – udělen předchozí písemný souhlas dle zákona č. 341/2005 Sb., §19, odst. (1), písm. b), bod 2</i> | 30. 5. 2019 |
| 16 | Smlouva pro pořízení monitorovacího systému ionizujícího záření a plynů pro ELI Beamlines <i>Projednáno na 25. zasedání DR – udělen předchozí písemný souhlas dle zákona č. 341/2005 Sb., §19, odst. (1), písm. b), bod 2</i> | 30. 5. 2019 |
| 17 | Smlouva pro pořízení elektronového skenovacího mikroskopu <i>Projednáno per rollam – udělen předchozí písemný souhlas dle zákona č. 341/2005 Sb., §19, odst. (1), písm. b), bod 2</i> | 26. 6. 2019 |
| 18 | Smlouva o směně pozemků s obcí Dolní Břežany <i>Projednáno per rollam – udělen předchozí písemný souhlas dle zákona č. 341/2005 Sb., §19, odst. (1), písm. b), bod 1</i> | 26. 6. 2019 |
| 19 | Uzavření Implementační a Servisní smlouvy, jejímž předmětem je dodávka Ekonomicko-informačního systému <i>Projednáno per rollam – udělen předchozí písemný souhlas dle zákona č. 341/2005 Sb., §19, odst. (1), písm. b), bod 2</i> | 17. 7. 2019 |
| 20 | Záměr prodat pozemek parc. č. st. 239 o evidované výměře 106 m ² v katastrálním území Skryje nad Berounkou <i>Projednáno per rollam – udělen předchozí písemný souhlas dle zákona č. 341/2005 Sb., §19, odst. (1), písm. b), bod 1</i> | 17. 7. 2019 |
| 21 | Uzavření Kupní smlouvy, jejímž předmětem je dodání zařízení „Microwave plasma CVD deposition system and PVD & PE CVD deposition system“ <i>Projednáno per rollam – udělen předchozí písemný souhlas dle zákona č. 341/2005 Sb., §19, odst. (1), písm. b), bod 2</i> | 14. 8. 2019 |
| 22 | Návrh kupní smlouvy, která má být uzavřena na základě zadávacího řízení „Cryostat for 100 Hz 10 J system“ na dodávku vybavení do laserové laboratoře <i>Projednáno per rollam – udělen předchozí písemný souhlas dle zákona č. 341/2005 Sb., §19, odst. (1), písm. b), bod 2</i> | 14. 8. 2019 |
| 23 | Návrh kupní smlouvy, která má být uzavřena na základě zadávacího řízení s názvem „Large Optomechanical Mirror Mounts & Electronic Controls for L4 10 PW Compressor“ na dodávku vybavení do laserové laboratoře Hilase <i>Projednáno per rollam – udělen předchozí písemný souhlas dle zákona č. 341/2005 Sb., §19, odst. (1), písm. b), bod 2</i> | 14. 8. 2019 |
| 24 | Uzavření kupní smlouvy, jejímž předmětem je dodání zařízení „Atomic Layer Deposition“ (ALD) <i>Projednáno per rollam – udělen předchozí písemný souhlas dle zákona č. 341/2005 Sb., §19, odst. (1), písm. b), bod 2</i> | 2. 10. 2019 |
| 25 | Uzavření kupní smlouvy, jejímž předmětem je dodání zařízení plasmového zdroje (Laser-driven Cu-K Plasma X-ray Source) pro centrum ELI Beamlines <i>Projednáno per rollam – udělen předchozí písemný souhlas dle zákona č. 341/2005 Sb., §19, odst. (1), písm. b), bod 2</i> | 2. 10. 2019 |
| 26 | Rámcová smlouva pro pořízení komponent řídicích systémů laserové technologie <i>Projednáno per rollam – udělen předchozí písemný souhlas dle zákona č. 341/2005 Sb., §19, odst. (1), písm. b), bod 2</i> | 7. 10. 2019 |

| | | |
|----|--|--------------|
| 27 | Rámcové smlouvy pro dodávku optiky a optomechaniky <i>Projednáno per rollam – udělen předchozí písemný souhlas dle zákona č. 341/2005 Sb., §19, odst. (1), písm. b), bod 2</i> | 7. 10. 2019 |
| 28 | Kupní smlouva pro pořízení IT sestavy „Tier zero“ pro centrum ELI Beamlines <i>Projednáno per rollam – udělen předchozí písemný souhlas dle zákona č. 341/2005 Sb., §19, odst. (1), písm. b), bod 2</i> | 26. 10. 2019 |
| 29 | Smlouva o nájmu pozemku o ploše 17 m ² <i>Projednáno per rollam – udělen předchozí písemný souhlas dle zákona č. 341/2005 Sb., §19, odst. (1), písm. b), bod 7</i> | 26. 10. 2019 |
| 30 | Smlouva o nájmu nebytových prostor o ploše 108 m ² <i>Projednáno per rollam – udělen předchozí písemný souhlas dle zákona č. 341/2005 Sb., §19, odst. (1), písm. b), bod 7</i> | 26. 10. 2019 |
| 31 | Smlouva o nájmu bytů v bytovém domě FZÚ v Praze 9 – Střížkov, Bohušovická 14 <i>Projednáno per rollam – udělen předchozí písemný souhlas dle zákona č. 341/2005 Sb., §19, odst. (1), písm. b), bod 7</i> | 25. 11. 2019 |
| 32 | Smlouva o nájmu pozemků pod objekty TESKO (v katastrálním území Libeň) <i>Projednáno per rollam – udělen předchozí písemný souhlas dle zákona č. 341/2005 Sb., §19, odst. (1), písm. b), bod 7</i> | 25. 11. 2019 |
| 33 | Dotatky k nájemním smlouvám (prodloužení nájmu) v objektech TESKO <i>Projednáno per rollam – udělen předchozí písemný souhlas dle zákona č. 341/2005 Sb., §19, odst. (1), písm. b), bod 7</i> | 25. 11. 2019 |
| 34 | Převod nemovité věci – nabytí stavby č. p. 247, stojící na p. č. srov. 455, obec Dolní Břežany, na základě dražby (pro potřeby výzkumného centra ELI Beamlines) <i>Projednáno per rollam – udělen předchozí písemný souhlas dle zákona č. 341/2005 Sb., §19, odst. (1), písm. b), bod 7</i> | 25. 11. 2019 |
| 35 | 26. Zasedání Dozorčí Rady FZÚ AV ČR, v. v. i. | 11. 12. 2019 |

Účast jednotlivých členů na agendě Dozorčí rady:

| člen Dozorčí rady | 25. zasedání | 26. zasedání | jednání per rollam |
|------------------------------------|--------------|--------------|--------------------|
| RNDr. Jan Šafanda, CSc. | ano | – | 28 |
| doc. Ing. Luboš Náhlík, Ph.D. | – | ano | 4 |
| Ing. Ivan Gregora, CSc. | ano | ano | 34 |
| prof. Ing. Tomáš Čechák, CSc. | ano | ano | 33 |
| prof. RNDr. Ladislav Skrbek, DrSc. | ano | ano | 33 |
| RNDr. Vladimír Wagner, CSc. | ano | ano | 34 |
| Ing. Jiří Plešek, CSc. | ano | ano | 30 |

V Praze dne 20. února 2020

doc. Ing. Luboš Náhlík, Ph.D.
předseda DR FZÚ AV ČR, v. v. i.

Ing. Ivan Gregora, CSc.
místopředseda DR FZÚ AV ČR, v. v. i.

1.2.3 Informace o změnách zřizovací listiny

V roce 2019 nedošlo ke změně zřizovací listiny.

1.2.4 Domácí a zahraniční ocenění zaměstnanců

- Jméno oceněného: **Renann Lipinski Jusinkas, Ph.D.**
 Ocenění: Prémie Otto Wichterleho
 Oceněná činnost: ocenění je určeno vybraným, mimořádně kvalitním a perspektivním vědeckým pracovníkům AV ČR ve věku do 35 let
 Ocenění udělil: AV ČR
- Jméno oceněného: **Jaroslav Čapek**
 Ocenění: Prémie Otto Wichterleho
 Oceněná činnost: ocenění je určeno vybraným, mimořádně kvalitním a perspektivním vědeckým pracovníkům AV ČR ve věku do 35 let
 Ocenění udělil: AV ČR
- Jméno oceněného: **prof. Bedřich Velický**
 Ocenění: emeritní pracovník AV ČR
 Oceněná činnost: celoživotní přínos světové vědě
 Ocenění udělil: AV ČR
- Jméno oceněného: **Valentin Laguta**
 Ocenění: Zlatá medaile
 Oceněná činnost: Za významné výsledky ve fyzice materiálů
 Ocenění udělil: Ukraine National Academy of Sciences
- Jméno oceněného: **Mgr. Lukáš Ondič, Ph.D.**
 Ocenění: Prémie Lumina quaeruntur
 Oceněná činnost: Studium perspektivních světlo-emitujících optických center v diamantu
 Ocenění udělil: AV ČR
- Jméno oceněného: **Oleg Lunov**
 Ocenění: Prémie Otto Wichterleho
 Oceněná činnost: Ve vědecké skupině bylo vyvinuto unikátní příslušenství pro kvantitativní fluorescenční mikroskopii, díky němuž je možné rutinně provádět specializovaná časově rozlišená fluorescenční měření v konfokálním laserovém mikroskopu. Tyto výzkumné aktivity umožnily jedinečné propojení materiálového výzkumu s biomedicínou.
 Ocenění udělil: Akademie věd ČR
- Jméno oceněného: **Adela Nováková**
 Ocenění: cena děkana FJFI za diplomovou práci (vedoucí práce: doc. I. Kratochvílová)
 Oceněná činnost: A new method of reducing corrosion of Zr fuel rods by coating them with a polycrystalline diamond layer, CrAlSiN alloy, and their combination
 Ocenění udělil: FJFI ČVUT
- Jméno oceněného: **prof. RNDr. Miroslav Hrabovský, DrSc.**
 Ocenění: Udělení Kopalovy přednášky
 Oceněná činnost: za klíčovou roli v české účasti na mezinárodním projektu Observatoře Pierra Augera
 Ocenění udělil: Česká astronomická společnost, 30.11.2019
- Jméno oceněného: **Fangxin Yue**
 Ocenění: 2. místo v soutěži Best Poster Award for Young Scientist
 Oceněná činnost: poster na konferenci ALT'19

Ocenění udělil: The 27th International Conference on Advanced Laser Technologies (ALT'19), 15-20 September 2019, Prague, Czech Republic

■ Jméno oceněného: **Hedvika Kadlecová**

Ocenění: L' Oreal – UNESCO award for women in science 2019

Oceněná činnost: Theory of nonlinear electromagnetic waves in QED vacuum.

Ocenění udělil:

1.2.5 Dvořákova přednáška 2019

Dne 21. června 2019 se v přednáškovém sále Fyzikálního ústavu AV ČR na Slovance uskutečnila 11. Dvořákova přednáška, která se koná jednou ročně na počest fyzika pevných látek Vladimíra Dvořáka. Vladimír Dvořák byl významnou osobností svého oboru a významná byla i jeho role v rámci Fyzikálního ústavu, kde působil jako ředitel v letech 1993–2001. Na Dvořákovu přednášku je každoročně pozván mezinárodně významný vědec, který se zabývá specializací rozvíjenou i ve Fyzikálním ústavu AV ČR.

Dvořákovu přednášku letos přednesl Ramamoorthy Ramesh, profesor fyziky a materiálového výzkumu na University of California v Berkeley, kde v roce 1987 také získal titul PhD. Mezitím působil na význačných pozicích (např. docentura APS Davida Adlera a profesura na University of Maryland, byl držitelem Korporátních cen společnosti Bellcore a zakládajícím ředitelem iniciativy SunShot při americkém ministerstvu pro energii). Poté se vrátil na Berkeley, kde zavedl nové metody výzkumu feroelektrických pamětí, oxidů s obrovskou magnetorezistivní odezvou a multiferoických oxidů. Jeho skupina například prokázala velkou spontánní elektrickou polarizaci v tenkých vrstvách multiferoického BiFeO_3 nebo možnost ovládní (anti)feromagnetismu elektrickým polem. Jeho publikace dosahují vysoké citovanosti (přes 65 000 citací, h-index 110). Je členem společností APS, AAAS



Vladimír Dvořák



prof. Ramamoorthy Ramesh

a MRS, a držitelem mnoha ocenění (Huboldt, James McGroddy, TMS Bardeen, 2018 IUPAP Magnetism Prize, Néelova medaile). V roce 2011 byl profesor Ramesh zvolen do Národní inženýrské akademie.

Hlavním tématem přednášky byla perspektiva možnosti ovládní magnetismu elektrickým polem a měla široký záběr od globálních trhů až k základním fyzikálním jevům. Poukázal zejména na to, že internet věcí a prudký nárůst využití umělé inteligence a strojového učení pravděpodobně způsobí růst trhu s mikroelektronikou a navýší spotřebu energie o 20–25 %. Hledání nové generace paměti a spínačů s velmi nízkou spotřebou energie je proto středem zájmu současného materiálového výzkumu. Za perspektivní materiály označil oxidy s perovskitovou strukturou, které vykazují širokou škálu funkční odezvy na magnetické a elektrické pole. Vysvětlil, že z nich mohou být připraveny funkční prvky ve formě epitaxně vypěstovaných heterostruktur a nanostruktur, žádoucí s ohledem na jejich nízkou spotřebu energie. Ve své přednášce se zaměřil na multiferoika – látky, které mají jak feroelektrické, tak magnetické uspořádání. Tyto multiferoické materiály se nyní dostávají do centra výzkumného zájmu, protože se podařilo ovládat (anti)feromagnetické uspořádání elektrickým polem i za pokojové teploty. Ve skupině prof. Rameshe se nyní soustředí především na využití tohoto jevu při velmi nízkých vynaložených energiích (1 attojoule na 1 operaci), o což by se měla opírat nová generace elektronických součástek. Ve své přednášce prof. Ramesh také popsal hlavní dosažené úspěchy své skupiny a další směry výzkumu v této oblasti.

1.2.6 Základní informace o pracovišti

Fyzikální ústav Akademie věd České republiky, v. v. i. (FZÚ) je veřejná výzkumná instituce, která se zaměřuje na základní a aplikovaný výzkum v oblasti fyziky. Aktuální program ústavu zahrnuje šest hlavních segmentů: fyziku elementárních částic, kondenzovaných systémů a pevných látek, optiku, fyziku plazmatu a laserovou fyziku, kterým odpovídá členění do vědeckých sekcí. FZÚ je největším pracovištěm Akademie věd České republiky s více než 400 vědeckými pracovníky. Badatelská činnost v oblasti základního výzkumu je součástí evropského a světového fyzikálního výzkumu, na kterém se naši pracovníci podílejí zejména v rámci řešení řady mezinárodních, především evropských programů. Na FZÚ je též vzdělávána řada doktorandů, převážně tuzemských, ale i ze zemí Evropské unie, tyto pak zejména v rámci různých stipendijních programů „Marie Curie“. V oblasti kondenzovaných systémů a materiálového výzkumu je výzkum zaměřen na studium krystalických a amorfních látek, nanomateriálů, slitin, polovodičových, magnetických, spintronických, multiferoických, piezoelektrických materiálů, kapalných krystalů, moderních kovových materiálů, funkčních technických materiálů, jako jsou slitiny s tvarovou pamětí, polymerů, tenkých vrstev a nanostruktur. Cílem je získat hlubší pochopení souvislosti mezi jejich strukturou, složením, morfologií, technologií přípravy a vlastnostmi materiálů a hledání způsobů, jak připravit materiály a systémy žádaných vlastností. V oblasti elementárních částic se získávají nové poznatky o vlastnostech, struktuře a interakcích hmoty na fundamentální úrovni o jednotné teorii základních sil v přírodě, a vlastnostech vesmíru na největších škálách. V rámci mezinárodních spoluprací Fyzikálního ústavu se na urychlovači LHC v CERNu provádějí experimenty se srážkami hadronů a analyzují se rovněž data z experimentů v laboratoři FERMI LAB. V astročásticové fyzice činnost probíhá v rámci mezinárodních projektů Observatoř Pierra Augera, Cherenkov Telescope Array a Large Synoptic Survey Telescope. Ve fyzice plazmatu se zkoumá laserové plazma jako zdroj koherentního a nekoherentního rentgenového záření a mnohonásobně nabitých iontů s důrazem na jeho využití jako aktivního prostředí rentgenových laserů. V oboru kvantové optiky jsou vyvíjeny různé typy zdrojů kvantově korelovaných fotonových párů a zařízení pro přenos takto uložené informace. V klasické optice se vyvíjejí nové laserové prvky a zobrazovací systémy, včetně oblasti rentgenové optiky a spektrometrie. Pozornost je věnována i biofyzikálním systémům a nově i výzkumu biomolekulárních interakcí a jevů na površích v komplexních biologických prostředích. Fyzikální ústav je koordinátorem evropského projektu ELI Beamlines – projektu vybudování moderního laserového zařízení zaměřeného na uživatelský výzkum. V něm došlo k zahájení realizace výzkumných a aplikačních projektů zahrnujících interakci hmoty se světlem o intenzitě, která je mnohokrát větší než současně dosažitelné hodnoty. Významný je též vývoj diodově čerpaných pulzních laserů pro aplikovaný výzkum a průmysl probíhající v rámci projektu HiLASE Centre of Excellence programu Horizon 2020.

Výzkumná činnost a provoz FZÚ byly v roce 2019 finančně zajišťovány projekty podporovanými domácími poskytovateli (GA ČR – 79, MPO – 7, MŠMT – 25, TAČR – 16, MV ČR 1) a 20 projekty financovanými ze zahraničí. Část aktivit FZÚ je v současnosti směřována také do tzv. cíleného výzkumu. Rozvoji této oblasti významně napomáhá „Centrum pro inovace a transfer technologií“ (CITT), které funguje jako podpůrné oddělení v rámci sekce ELI Beamlines. V roce 2019 centrum CITT pokračovalo v řešení celoustavního grantu Technologické agentury v programu GAMA sloužícího k zefektivnění systému komercializace, identifikaci a podpoře transferu výstupů FZÚ do aplikační sféry. V roce 2019 bylo ve FZÚ s externími subjekty uzavřeno celkem 52 obchodních smluv, popř. objednávek v celkovém objemu 13,976 mil. Kč bez DPH. (z čehož bylo zrealizováno 8,976 mil. Kč, 5 mil. Kč bude zrealizováno v roce 2020).

1.2.7 Další specifické informace o pracovišti

V novém (2019) EXPRO projektu z FZÚ se tým Martina Schnabla zaměří na studium aplikací teorie strunového pole. Tato teorie se rozvinula za posledních několik let do potenciálně velmi užitečného nástroje ke studiu zásadních témat teorie strun, konkrétně jak propojit klasická pozadí otevřených či uzavřených strun skrze kondenzaci tachyonů a jak odvodit existenci či studovat vlastnosti nových pozadí. Dlouhodobě se také soudí, že teorie strun se řídí obří kalibrační symetrií vyšších spinů, která by se měla plně projevit v limitě beznapětové struny, a v nedávné době bylo v tomto směru dosaženo významného pokroku

V roce 2019 začala pracovat laboratoř Materials Growth & Measurement Laboratory (MGML), společně pracoviště MFF UK a FZÚ AVČR, na čtyři roky financovaná z rozpočtu Ministerstva školství. Do laboratoře přešla Společná laboratoř magnetických studií.

Hlavním posláním MGML je poskytnout široké vědecké komunitě jedinečné možnosti komplexních experimentálních studií široké sbírky fyzikálních jevů a vlastností dobře definovaných materiálů v různých vnějších podmínkách. Hlavním strategickým cílem MGML je zaručení excelence infrastruktury v mezinárodním měřítku.

MGML se skládá ze dvou úzce spolupracujících jednotek: Laboratoř růstu a charakterizace materiálů (MGCL) a Laboratoř měření vlastností materiálů (MPML). MGML nabízí externím uživatelům otevřený přístup pro měření bohatého spektra fyzikálních vlastností materiálů v širokém rozsahu teplot, magnetických a elektrických polí a hydrostatických jednoosých tlaků. Technologická zařízení MGML umožňují řízenou přípravu a charakterizaci vysoce kvalitních vzorků (monokrystalů a polykrystalů) materiálů různých typů, které jsou dostupné uživatelům, kteří nemají vlastní dobře charakterizované vzorky potřebné pro měření.

Výzkumní pracovníci, kteří mají zájem o použití přístrojů MGCL a MPML, podávají prostřednictvím portálu experimentální návrhy, které schvaluje rada laboratoře.

V prvním EXPRO projektu tým Pavla Jelínka bude řešit projekt s názvem „1D molekulární řetězky na površích“. Cílem tohoto projektu je navrhnout, syntetizovat a charakterizovat 1D molekulární řetězky na površích s jedinečnými materiálovými vlastnostmi. Nejprve bude zkoumat organometalické polymery, jejich magnetické uspořádání a možnosti řídit redox stavy v řetězci. Následně se zaměří na možnost uzavření zakázaného pásu pi-konjugovaných polymerů blízkostí topologického fázového přechodu.

V září 2019 skončil H2020 projekt NextBase (Next-generation interdigitated back-contacted silicon heterojunction solar cells and modules by design and process innovations). Projekt typu Research and Innovation Actions z výzvy Competitive Low-Carbon Energy (H2020-LCE-07-2016) řešilo konsorcium 14 partnerů zahrnujících přední evropská výzkumná pracoviště, ale také 5 firem pokrývajících celý řetězec výrobních kroků. Cílem projektu bylo vyvinout průmyslovou technologii s vysokou účinností a nízkými náklady založenou na křemíkových deskách s heteropřechody a zadními interdigitálními kontakty (IBC-SHJ). Optimalizační proces přitom intenzivně využíval optickou profilometrii založenou na Ramanově rozptylu vyvinutou ve FZU. V rámci konsorcia se podařilo dosáhnout účinnosti 25,4%, která se blíží současnému světovému rekordu (26,6%) z laboratoře japonské firmy Kaneka, ale na rozdíl od něj jde o technologii připravenou pro hromadnou výrobu. Prototypová výroba solárních panelů s tímto typem článků byla zahájena v Enel Green Power na Sicílii, prozatím s kapacitou 200 MWp ročně.

V roce 2019 bylo Technologickou agenturou ČR zahájeno financování národního centra kompetence, jehož je Fyzikální ústav hlavním příjemcem. Národní centrum kompetence pro materiály, pokročilé technologie, povlaky a jejich aplikace (angl. zkratka MATCA) sdružuje osm akademických a sedm komerčních subjektů za účelem aplikovaného výzkumu a vývoje inovačních aplikací v praxi. Stěžejními tématy rozvíjenými v rámci NCK MATCA jsou aditivní, plazmatické a laserové technologie, tedy technologie, jejichž uchopení a integrace mají v nastávající transformační době strategický význam pro konkurenceschopnost českého i evropského průmyslu (www.matca.cz). Vzhledem k tomu, že program národních center kompetence patrně určuje budoucí trend financování aplikovaného výzkumu, má úspěch NCK MATCA v tomto programu i zásadní vědecko-výzkumný rozměr.

Další z významných OP VVV projektů, které FZÚ získal v roce 2019 je projekt Fyzika pevných látek pro 21. století (SOLID21). Celkové náklady projektu SOLID21 činí 562 milionů Kč. Projekt byl zahájen v polovině roku 2018 a bude řešit aktuální vědecké a technické výzvy 21. století v oborech nanoelektroniky, fotoniky, magnetizmu, funkčních a bioaktivních materiálů a plazmatických technologií. V rámci projektu dojde k rozšíření výzkumné základny, pořízení nejmodernějších fyzikálních přístrojů a vybudování nového pavilonu v rámci pracoviště na Slovance na Praze 8.

V roce 2019 byl ve FZÚ také zahájen OP VVV projekt MOBILITY FZU – Mobilita výzkumných pracovníků FZÚ. Tento projekt je zaměřen na podporu jak vnější, tak vnitřní mobility výzkumných pracovníků ve všech oblastech fyziky, na něž se ústav v rámci své činnosti zaměřuje. V rámci projektu bude celkově realizováno 40 mobilit, které se týkají jak příjezdů mladých a seniorních výzkumných pracovníků ze zahraničí, tak i výjezdů mladých a seniorních výzkumných pracovníků FZÚ do zahraničí. Cílem projektu je podpořit rozšíření spolupráce se stávajícími výzkumnými institucemi a posílit další rozvoj dlouhodobě perspektivních vědeckých směrů v oblasti fyziky.

V novém programu EXPRO od Grantové agentury ČR (GA ČR), který je zaměřen na podporu excelence v základním výzkumu, zaznamenal FZÚ v roce 2019 mimořádný úspěch získáním 2 projektů z celkového počtu 36 udělených projektů napříč všemi obory.

V prvním EXPRO projektu tým Tomáše Jungwirtha bude řešit projekt Terahertzové a neuromorfí paměti založené na antiferomagnetech. Cílem tohoto projektu je položit vědecké základy k přechodu od polovodičových ke spintronickým počítačovým pamětem. Spintronické paměti jsou založeny na využití vlastností částic, která nemá v makrosvětě obdobu – spinu. Projekt staví na nedávném objevu výzkumného týmu, který umožnil elektrický zápis informace do spinu částic v antiferomagnetech. Objev umožní tisíckrát rychlejší zápis do pamětí oproti klasickým polovodičovým technologiím.

V druhém EXPRO projektu z FZÚ se tým Jiřího Hlinky zaměří na feroelektrické skyrmiony. Skyrmiony jsou vírová vlákna vektorových polí. V minulosti byly podobné struktury předpovězeny a po řadě let i objeveny v případech feromagnetických látek. Sám T. Skyrme, podle něhož jsou pojmenovány, tento koncept využil k modelování vlastností elementárních částic. Tým bude skyrmiony hledat ve feroelektrických látkách, tedy v látkách, jejichž strukturu lze dobře měnit pomocí vnějšího elektrického pole.

Projekt HR Award – Zkvalitnění strategického řízení Fyzikálního ústavu AV ČR je další z významných nevědeckých projektů FZÚ, který zásadním způsobem utváří fungování FZÚ a ovlivňuje jeho strukturu. Tento OP VVV projekt byl zahájen v listopadu 2017. Základním cílem projektu je rozvoj kapacit, znalostí a dovedností manažerských a výzkumných pracovníků FZÚ v oblasti strategického řízení a nastavení strategického řízení výzkumné organizace v souladu s podmínkami pro získání certifikátu HR Award. V rámci projektu byla zpracována analýza výzkumné organizace a bude vytvořen akční plán, který zajistí rozvoj FZÚ ve všech oblastech řešených projektem (strategické nastavení řízení lidských zdrojů, strategické nastavení a rozvoj mezisektorové spolupráce, popularizace výzkumu a vývoje) na úroveň srovnatelnou se světovými vědeckými a výzkumnými institucemi. V oblasti HR bude nastaven takový systém, který zajistí atraktivitu instituce jak pro nové zaměstnance z celého světa, tak i vytvoří optimální pracovní podmínky pro dlouhodobý rozvoj a stabilizaci výzkumných týmů v rámci celého FZÚ včetně nově vybudovaných center ELI a HiLASE.



1.3 Přehled oddělení a skupin

- 6 vědeckých sekcí
- 25 výzkumných oddělení
- 7 společných laboratoří
- 9 podpůrných oddělení

| | |
|-------------------------------------|-------------|
| Výzkumní pracovníci | 511 |
| Studenti doktorského studia | 88 |
| Odborní pracovníci výzkumu a vývoje | 187 |
| Ostatní odborní pracovníci | 396 |
| Dělníci | 82 |
| Administrativní pracovníci | 93 |
| Celkový počet zaměstnanců: | 1357 |

stav zaměstnanců k 31. 12. 2019



FZÚ AV ČR – pracoviště Na Slovance 2 v Praze 8



FZÚ AV ČR – ELI Beamlines v Dolních Břežanech



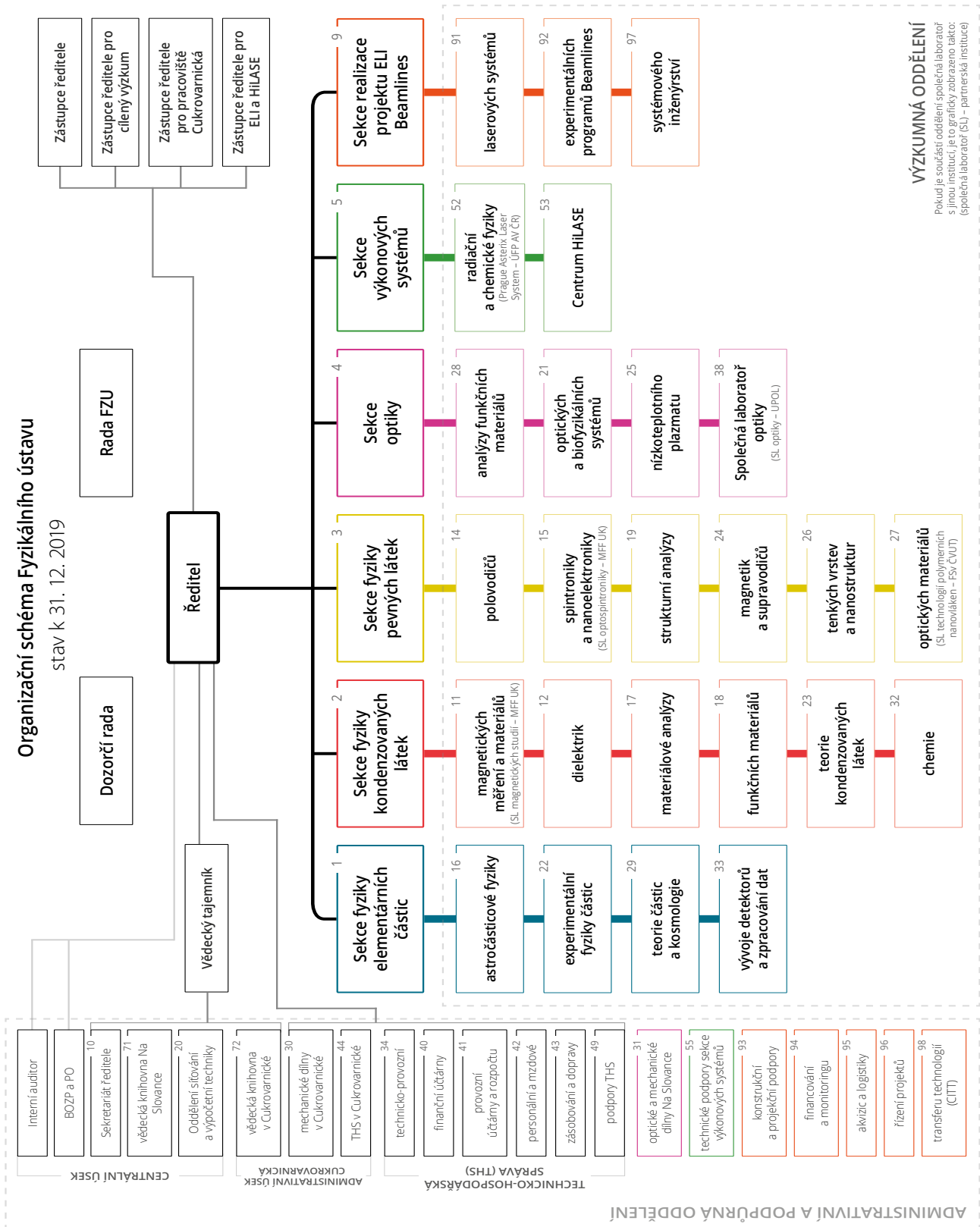
FZÚ AV ČR – pracoviště Cukrovarnická 10 v Praze 6



FZÚ AV ČR – Centrum HiLASE v Dolních Břežanech



1.4 Struktura pracoviště



1.4.1 Struktura vědeckých sekcí FZÚ v roce 2019

Sekce fyziky elementárních částic

Oddělení astročásticové fyziky
 Oddělení experimentální fyziky částic
 Oddělení teorie a fenomenologie částic
 Oddělení vývoje detektorů a zpracování dat

Sekce fyziky kondenzovaných látek

Oddělení magnetických měření a materiálů
 Oddělení dielektrik
 Oddělení materiálové analýzy
 Oddělení funkčních materiálů
 Oddělení teorie kondenzovaných látek
 Oddělení chemie

Sekce fyziky pevných látek

Oddělení polovodičů
 Oddělení spintroniky a nanoelektroniky
 Oddělení strukturní analýzy
 Oddělení magnetik a supravodičů
 Oddělení tenkých vrstev a nanostruktur
 Oddělení optických materiálů

Sekce optiky

Oddělení analýzy funkčních materiálů
 Oddělení optických a biofyzikálních systémů
 Oddělení nízkoteplotního plazmatu
 Společná laboratoř optiky

Sekce výkonových systémů

Oddělení radiační a chemické fyziky
 Centrum HiLASE

Sekce realizace projektu ELI Beamlines

Oddělení laserových systémů
 Oddělení experimentálních programů Beamlines
 Oddělení systémového inženýrství

Petr Reimer, CSc.

RNDr. Petr Trávníček, Ph.D.
 doc. Alexander Kupčo, Ph.D.
 Mgr. Martin Schnabl, Ph.D.
 RNDr. Jiří Chudoba, Ph.D.

RNDr. Petr Šittner, CSc.

Oleg Heczko, Dr.
 Ing. Jiří Hlinka, Ph.D.
 Mgr. Daniel Šimek, Ph.D.
 RNDr. Petr Šittner, CSc.
 prof. Mauro Fernandes Pereira
 Ing. Věra Hamplová, CSc.

RNDr. Jiří J. Mareš, CSc. (do 31. 5.)

RNDr. Michal Dušek, CSc. (od 1. 6.)

RNDr. Jiří J. Mareš, CSc.
 prof. Tomáš Jungwirth, Ph.D.
 RNDr. Michal Dušek, CSc.
 Ing. Jiří Hejtmánek, CSc.
 RNDr. Antonín Fejfar, CSc.
 doc. Ing. Martin Nikl, CSc.

Ing. Alexandr Dejneka, Ph.D.

Ing. Ján Lančok, Ph.D.
 Ing. Alexandr Dejneka, Ph.D.
 Mgr. Zdeněk Hubička, Ph.D.
 doc. RNDr. Ondřej Haderka, Ph.D.

Ing. Tomáš Mocek, Ph.D.

Ing. Libor Juha, CSc.
 Ing. Tomáš Mocek, Ph.D.

Ing. Roman Hvězda

Ing. Bedřich Rus, Ph.D.
 Dr. Georg Korn
 Dr. Georg Korn

1.4.2 Základní personální údaje

| 1. Členění zaměstnanců podle věku a pohlaví – stav k 31. 12. 2019 (fyzické osoby) | | | | |
|---|--------------|--------------|---------------|---------------|
| <i>věk</i> | <i>muži</i> | <i>ženy</i> | <i>celkem</i> | <i>%</i> |
| do 20 let | 4 | 0 | 4 | 0,3% |
| 21–30 let | 163 | 78 | 241 | 17,8% |
| 31–40 let | 317 | 128 | 445 | 32,8% |
| 41–50 let | 159 | 109 | 268 | 19,7% |
| 51–60 let | 110 | 53 | 163 | 12,0% |
| 61–70 let | 91 | 32 | 123 | 9,1% |
| víc než 70 | 98 | 15 | 113 | 8,3% |
| <i>celkem</i> | <i>942</i> | <i>415</i> | <i>1357</i> | <i>100,0%</i> |
| <i>%</i> | <i>69,4%</i> | <i>30,6%</i> | | |

| 2. Celkový údaj o vzniku a skončení pracovních a služebních poměrů zaměstnanců v roce 2019 | | | | | | |
|--|----------------------------|------------------------------|--------------------------|----------------|-----------------------|---------------|
| | <i>výzkumní pracovníci</i> | <i>studenti a doktorandi</i> | <i>odborní prac. VaV</i> | <i>dělníci</i> | <i>administrativa</i> | <i>celkem</i> |
| nástupy | 41 | 15 | 102 | 2 | 3 | 163 |
| odchody | 40 | 9 | 75 | 6 | 2 | 132 |

| 3. Trvání pracovního a služebního poměru zaměstnance – stav k 31. 12. 2019 | | |
|--|--------------|---------------|
| <i>doba trvání</i> | <i>počet</i> | <i>%</i> |
| do 5 let | 592 | 43,6% |
| 5–10 let | 312 | 23,0% |
| 10–15 let | 140 | 10,3% |
| 15–20 let | 82 | 6,0% |
| 20–25 let | 61 | 4,6% |
| 25–30 let | 42 | 3,1% |
| nad 30 let | 128 | 9,4% |
| <i>celkem</i> | <i>1357</i> | <i>100,0%</i> |

| 4a. Systemizace výzkumných pracovníků – stav k 31. 12. 2019 | | | | | |
|---|----------------------|-------------------------|--------------------------|----------------------------------|--|
| smlouva na dobu určitou 407 | | | | | |
| <i>sekce</i> | <i>postdoktorand</i> | <i>vědecký asistent</i> | <i>vědecký pracovník</i> | <i>vedoucí vědecký pracovník</i> | |
| Sekce fyziky elementárních částic | 21 | 3 | 16 | 12 | |
| Sekce fyziky kondenzovaných látek | 31 | 8 | 23 | 13 | |
| Sekce fyziky pevných látek | 37 | 14 | 31 | 18 | |
| Sekce optiky | 20 | 10 | 21 | 12 | |
| Sekce výkonových systémů | 14 | 8 | 16 | 3 | |
| Sekce realizace pr. ELI Beamlines | 31 | 7 | 21 | 17 | |
| <i>celkem</i> | <i>154</i> | <i>50</i> | <i>128</i> | <i>75</i> | |
| smlouva na dobu neurčitou 104 | | | | | |
| <i>sekce</i> | <i>postdoktorand</i> | <i>vědecký asistent</i> | <i>vědecký pracovník</i> | <i>vedoucí vědecký pracovník</i> | |
| Sekce fyziky elementárních částic | 0 | 0 | 4 | 6 | |
| Sekce fyziky kondenzovaných látek | 0 | 2 | 14 | 18 | |
| Sekce fyziky pevných látek | 0 | 1 | 7 | 26 | |

| <i>sekce</i> | <i>postdoktorand</i> | <i>vědecký asistent</i> | <i>vědecký pracovník</i> | <i>vedoucí vědecký pracovník</i> |
|-----------------------------------|----------------------|-------------------------|--------------------------|----------------------------------|
| Sekce optiky | 0 | 1 | 4 | 8 |
| Sekce výkonových systémů | 1 | 0 | 3 | 6 |
| Sekce realizace pr. ELI Beamlines | 0 | 0 | 0 | 1 |
| celkem | 1 | 4 | 32 | 67 |

4b. Systemizace ostatních vysokoškolsky vzdělaných pracovníků – stav k 31. 12. 2019

| | <i>třída</i> | <i>počet</i> |
|--------------------------|--------------|--------------|
| <i>odborný pracovník</i> | 201 | 187 |
| <i>doktorand</i> | 202 | 88 |
| celkem | | 275 |

4c. Systemizace ostatních pracovníků – stav k 31. 12. 2019

| | | |
|--------------------------------------|-----|------------|
| <i>odborný pracovník s VŠ</i> | 300 | 224 |
| <i>odborný pracovník s SŠ, VOŠ</i> | 400 | 122 |
| <i>odborný pracovník VaV SŠ, VOŠ</i> | 500 | 50 |
| <i>THP pracovník</i> | 700 | 93 |
| <i>dělník</i> | 800 | 68 |
| <i>provozní pracovník</i> | 900 | 14 |
| celkem | | 571 |

5. Průměrná měsíční mzda za rok 2019

a) Institucionální mzdové prostředky/přepočtený stav zaměstnanců pracoviště/12 v Kč

| | |
|--------------------------------------|--------|
| Průměrný přepočtený stav zaměstnanců | 502,88 |
| Průměrná měsíční mzda | 49 523 |

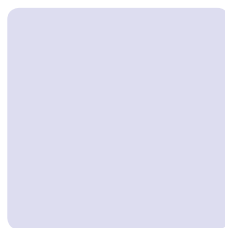
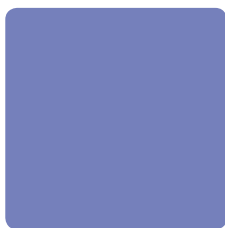
b) Institucionální + grantové mzdové prostředky bez OON /přepočtený stav (i z grantů) zaměstnanců pracoviště/12 v Kč

| | |
|--------------------------------------|----------|
| Průměrný přepočtený stav zaměstnanců | 1 104,07 |
| Průměrná měsíční mzda | 51 804 |

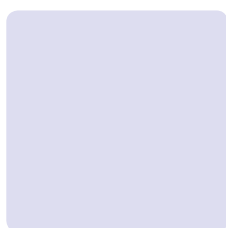
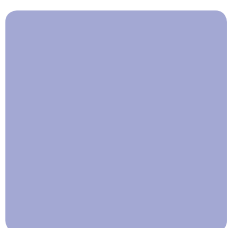
c) Průměrná měsíční mzda (i z grantů) v jednotlivých tarifních třídách

| | <i>třída</i> | <i>mzda</i> |
|--------------------------------------|--------------|-------------|
| <i>odborný pracovník</i> | 201 | 45 507 |
| <i>doktorand</i> | 202 | 30 263 |
| <i>postdoktorand</i> | 103 | 53 443 |
| <i>vědecký asistent</i> | 104 | 48 973 |
| <i>vědecký pracovník</i> | 105 | 59 202 |
| <i>vedoucí vědecký pracovník</i> | 106 | 90 431 |
| <i>odborný pracovník s VŠ</i> | 300 | 56 160 |
| <i>odborný pracovník s SŠ, VOŠ</i> | 400 | 40 806 |
| <i>odborný pracovník VaV SŠ, VOŠ</i> | 500 | 37 542 |
| <i>THP pracovník</i> | 700 | 47 655 |
| <i>dělník</i> | 800 | 25 950 |
| <i>provozní pracovník</i> | 900 | 35 675 |





2. Hodnocení hlavní činnosti





2.1 Sekce fyziky elementárních částic v roce 2019

Základním rysem výzkumného programu Sekce fyziky elementárních částic je zapojení našich pracovních skupin do velkých mezinárodních kolaborací provádějících experimenty na urychlovačích s cílem hledat a poznat základní zákony mikrosvěta a zkoumajících jevy zahrnující vysokoenergetické částice v kosmickém záření. Jedná se o následující projekty:

Experimenty v CERNu (Evropské středisko fyziky částic u Ženevy) na urychlovači LHC

- Experiment **ATLAS** zkoumá vlastnosti hmoty na velmi malých vzdálenostech řádu 10^{-19} m a hledá nové jevy ve srážkách vstřícných svazků protonů či těžkých iontů. V roce 2018 skončil tzv. Run 2 a začala pravidelná dvouletá odstávka LHC, kterou experiment ATLAS využívá k údržbě a modernizaci detektorů. V roce 2019 intenzivně pokračovalo zpracování dat z Run 2. Urychlovač dodal v Run 2 celkem 156 fb^{-1} unikátních dat proton-protonových srážek při těžišťové energii 13 TeV.
- Experiment **TOTEM** je menší experiment, který detekuje částice vznikající ve vzájemných srážkách protonů nebo iontů a rozptylující se převážně pod malými úhly v dopředném směru. Použitý typ detektorů umožňuje výzkum pružného rozptylu a rovněž mnoha typů difrakčního rozptylu v uvedených srážkách.
- V menší míře se podílíme i na experimentu **ALICE**, jehož cílem je zkoumání srážek těžkých iontů.

Experimenty ve Fermilabu (Fermiho národní laboratoř u Chicaga)

- Experiment **NOvA** zkoumá vlastnosti neutrin. Vlastnosti svazku neutrin jsou měřeny v detektoru ve Fermilabu a poté, po průletu 800 km Zemí, ve vzdáleném detektoru v Minnesotě. Experiment zkoumá tzv. oscilace neutrin – jev, při němž dochází k přeměně jednoho typu neutrin na jiný – zvláště přechod mionového

neutrina na elektronové, jakož i hierarchii hmotností neutrin. Získávané výsledky jsou průběžně publikovány a prezentovány na konferencích. Předpokládá se, že experiment bude zaznamenávat data do roku 2025.

- Experiment **DUNE** je připravován jako následník experimentu NOvA. Bude se jednat o mezinárodní experiment s celosvětovou spoluprací včetně laboratoře CERN. Vzdálený detektor, naplněný 40 tisíci tunami kapalného argonu, bude umístěn 1 300 km od laboratoře Fermilab v bývalém dole v Sanford Underground Research Facility (SURF) v Lead, Jižní Dakota. Umožní podstatně zpřesnit měřené veličiny pro oscilaci neutrin a jejich hmotnost, stejně jako parametry narušení symetrie CP. Podílíme se na testování prototypů detektoru v CERN.

Experimenty v astročásticové fyzice

Astročásticová fyzika je obor na pomezí částicové fyziky, astronomie a kosmologie, jehož cílem je výzkum vlastností a původu částic přilétajících na Zemi z kosmu. Organizačně je účast Fyzikálního ústavu v astročásticových experimentech zajišťována Sekcí fyziky elementárních částic v úzké spolupráci se Společnou laboratoří optiky UP a FZÚ AV ČR v Olomouci. Práce se soustřeďuje především na aktivity spojené s **Observatoří Pierra Augera v Argentině**. Intenzivně se podílíme též na návrhu a budování observatoře **Cherenkov Telescope Array (CTA)**, stejně jako na připravovaném celooblohovém dalekohledu **Legacy Survey of Space and Time (LSST)**.

Nedílnou součástí našeho programu je také všestranný teoretický výzkum.

Pro účast ve zmíněných experimentech je nezbytným předpokladem přístup do sítí distribuovaného počítání. I do jejich vývoje a implementace ve FZÚ jsme zapojeni.

Většina aktivit probíhala ve spolupráci s partnery z MFF UK, FJFI ČVUT a UP v Olomouci.

2.1.1 Experiment ATLAS

V roce 2019 začala pravidelná dvouletá odstávka urychlovače LHC a experimentu ATLAS. Pracovníci FZÚ se tradičně podíleli na zajišťování údržby vnitřního dráhového detektoru a hadronového kalorimetru TileCal, což jsou části experimentu ATLAS, k jejichž stavbě v minulosti FZÚ přispěl. Odsloužili pro experiment ATLAS 210 směn, ať už v kontrolní místnosti experimentu nebo jako tzv. on-call experti pro jednotlivé subdetektory, a dále se podíleli na technickém zajištění provozu ATLAS (údržba, provoz počítačového Tier-2 centra ve FZU apod.) v rozsahu šesti úvazků.



V souvislosti s plánovaným zvýšením intenzity svazků LHC, tzv. High Luminosity LHC Upgrade (HL-LHC), čeká experiment ATLAS v roce 2025 výrazná modernizace. Velká část aparatury musí být vyměněna tak, aby po roce 2027 byla schopna měřit v podmínkách vysoké luminozity. Výzkumný a vývojový program nových radiačně odolnějších detektorů experimentu ATLAS pro použití v HL-LHC je časově velmi náročný a FZÚ se na něm dlouhodobě podílí. V roce 2019 pokračovaly ve FZÚ přípravy na budoucí účast při výrobě a sériovém testování těchto nově vyvinutých detektorů.

Vědecká skupina vývoje a testování stripových křemíkových detektorů pokračovala v přípravách na produkční fázi projektu ATLAS ITk. Hlavním cílem tohoto projektu je kompletní výměna současného dráhového detektoru experimentu ATLAS za zcela nový plně křemíkový dráhový detektor ATLAS Inner Tracker (ITk), který bude schopen s vysokou účinností měřit dráhy nabitých částic produkovaných na urychlovači HL-LHC. Během produkční fáze projektu budou ve FZÚ otestovány mechanické a elektrické vlastnosti 4 500 křemíkových stripových senzorů a 700 křemíkových stripových detektorů typu EndCap.

V rámci přípravy na produkční fázi projektu ATLAS ITk byla na FZÚ vybudována a nově vybavena čistá laboratoř pro testování křemíkových detektorů částic. V roce 2019 byla za významného finančního příspěví AV ČR do této laboratoře zakoupena automatická bondovací stanice F&S Bondtec třídy 58, obr. 1. Byla také pořízena měřicí aparatura Edge-TCT pro studium rozložení elektrického pole v neozářených a ozářených křemíkových senzorech. Pomocí probe station Karl Suss PA200 byly změřeny IV a CV charakteristiky několika desítek stripových křemíkových senzorů ATLAS ITk R0 verze ATLAS12EC. Na základě výsledků detailní analýzy získaných dat výrobce modifikoval design produkční verze stripových

křemíkových senzorů typu EndCap ATLAS18EC. Pokračovala také příprava jednotlivých měřicích stanovišť pro tzv. Quality Control testování stripových křemíkových senzorů - (i) nové programy LabVIEW pro měření IV a CV charakteristiky, interstripové kapacity a interstripové rezistivity, (ii) příprava aparatury a programů LabVIEW pro měření stability závěrného proudu křemíkových senzorů v rámci ATLAS autorské kvalifikace naší doktorandky, (iii) příprava měřicího zapojení a programů LabVIEW pro tzv. strip-by-strip měření, během kterého bude pomocí probe station Tesla 200mm otestováno několik tisíc stripů na vybraných senzorech, ale také (iv) dokončení programů pro metrologické měření a HD skenování testovaných senzorů pomocí metrologické stanice OGP SmartScope CNC 500.

Kromě přípravy na produkční testování stripových křemíkových senzorů pro ATLAS ITk se vědecká skupina významně podílela na ozařovacích a testbeam kampaních jednak v rámci projektu ATLAS ITk, ale také za účelem vývoje nových radiačně odolných křemíkových detektorů pro budoucí urychlovače částic a další aplikace. Ve spolupráci s ÚJP Praha, a. s., proběhlo v roce 2019 několik ozařování testovaných vzorků pomocí intenzivního zdroje záření gama ^{60}Co . Skupina se také podílela na třech testbeam kampaních projektu ATLAS ITk v laboratoři DESY v Hamburku, během kterých se podařilo experimentálně ověřit dostatečnou účinnost produkční verze stripových křemíkových detektorů ATLAS ITk jak před jejich ozáření, tak zejména po jejich ozáření velmi vysokými dávkami záření srovnatelnými s celkovými dávkami očekávanými na konci provozu HL-LHC. Výsledky těchto kampaní sehrály zásadní roli při



■ Obr. 1 Příprava na bondování stripového křemíkového detektoru typu R0 pro projekt ATLAS ITk v nově zřízené čisté laboratoři pro testování křemíkových detektorů částic.

úspěšném Final Design Review detektorové části projektu ATLAS ITk strip.

V roce 2019 byla velká pozornost věnována fyzikální analýze experimentálních dat, především zpracování celkového souboru proton-protonových dat z Run 2 při těžstředové energii srážek 13 TeV. Experiment ATLAS v tomto roce publikoval nebo zaslal k publikaci přes 135 původních prací, jejichž spoluautory jsou i fyzikové z FZÚ. Největší úsilí je věnováno plnému využití objevitelského potenciálu nových dat a hledání nové fyziky překračující rámec standardního modelu. Vědečtí pracovníci a doktorandi z FZÚ se podíleli na nejnovějších výsledcích z oblasti fyziky kvarků bottom a top a fyziky silných a elektroslabých interakcí. Mezi nevýznamnější příspěvky patří rozšíření analýzy narušení CP symetrie v rozpadech $B_s \rightarrow J/\psi + \phi$ [1] a první pozorování elektroslabé komponenty v párové produkci Z bosonů asociované s produkcí dvou jetů [2]. K analýze dat přispíváme i poskytováním příslušné části výpočetní kapacity, a to formou distribuovaného zpracování dat, které probíhá na strojích ve Výpočetním středisku FZÚ.

Kromě analýzy experimentálních dat se členové týmu dlouhodobě věnují difrakční fyzice a přípravě fyzikálního programu pro detektor dopředných protonů AFP, který byl k experimentu ATLAS připojen v roce 2016 a na jehož vývoji a instalaci se FZÚ podílel. Do této kategorie patří i fenomenologická studie týkající se proveditelnosti měření signálu temné hmoty v exklusivních procesech na LHC, kdy jsou dva protony zaregistrované dopředným detektorem a v centrální oblasti je pak zachycen pár leptonů a chybějící transversální energie [3].

2.1.2 Experiment TOTEM

V roce 2019 publikoval experiment TOTEM výsledky analýzy elastického účinného průřezu [4] a měření poměru reálné a imaginární komponenty amplitudy rozptylu (podrobnější informace viz významný výsledek č. 1, Sekce 1, str. 176). Vysoká přesnost měření v kombinaci s dalšími elastickými daty experimentu TOTEM favorizuje alternativní modely elastického rozptylu, které kromě standardní složky, dvougluonového bezbarvého vázaného stavu se sudou nábojovou symetrií (tzv. pomeronu) vyžadují i existenci bezbarvého vázaného stavu tří gluonů s lichou nábojovou symetrií, tzv. odderonu. Fyzikové z FZÚ se přímo podíleli na publikovaných analýzách dat a také na interpretaci měření v rámci vlastního modelu elastických srážek.



2.1.3 Experiment ALICE

Během roku 2019 pokračovalo i zpracování experimentálních dat z experimentu ALICE na urychlovači LHC v CERN. Data pocházela ze srážek olovo-olovo (Pb+Pb), xenon+xenon (Xe+Xe) i proton-olovo (p+Pb) a proton-proton (p+p). Mezi nejvýznamnější společné výsledky patří práce [5], v níž jsou analyzovány azimutální asymetrie v produkci částic v uvedených reakcích. Tyto asymetrie poskytují významnou informaci o vlastnostech hmoty v podmínkách extrémních hustot a teplot, potřebných pro vznik tzv. kvark-gluonového plazmatu. Statistická analýza azimutálních asymetrií ve srážkách těžkých iontů nás motivovala k vyvinutí obecnější metody pro identifikaci různých typů shlukování (clustering) v 2D a 3D obrazcích. Její aplikaci v astrometrii jsme z volně dostupných dat poloh a vlastních pohybů hvězd z vesmírné observatoře GAIA (DR2) „vyfiltrovali“ katalog fyzických dvojhvězd s úhlovou a prostorovou separací $> 0,5$ a $< 0,15$ pc [6]. Bylo nalezeno 80 000 kandidátů a vznikl tak dosud nejobsažnější katalog fyzických dvojhvězd v oboru pokrytém astrometrickým rozlišením GAIA.



2.1.4 Experiment NOvA

Experiment NOvA zkoumá vlastnosti mionových neutrin, která vznikají po srážkách protonů z urychlovače ve Fermilabu s uhlíkovým terčíkem a následném rozpadu takto vzniklých mionů. Neutrina proletí 800 km Zemí do detektoru o hmotnosti 14 tisíc tun umístěného v Minnesotě na americko-kanadské hranici. Předtím, ještě na území Fermilabu, procházejí malým (tzv. blízkým) detektorem o hmotnosti 222 tun. Přestože neutrina jsou všudypřítomná (jedním cm^2 povrchu lidského těla jich každou sekundu prolétne na 60 miliard), procházejí hmotou téměř bez jakéhokoliv efektu. Jejich hmotnost je velmi malá a dosud se ji nepodařilo přesně změřit. Pohybují se téměř rychlostí světla. Existují tři různé typy neutrin a ty umějí mezi sebou přecházet – tato vlastnost se označuje jako oscilace neutrin. Jednou ze zásadních otázek je úloha neutrin při pozorované převaze hmoty v našem vesmíru nad antihmotou. Vzdálený detektor je zkonstruován z plastových vrstev naplněných scintilační kapalinou, z nichž odečítají signál křemíkové diody APD (Avalanche Photo Diode). Detektor je jemně segmentován, což umožňuje rekonstrukci



vzácných srážek neutrin ve scintilátoru. Hlavním cílem experimentu NOvA je měření oscilací mionových neutrin na elektronová, určení rozdílů ve hmotnostech neutrin – tzv. hierarchie hmotností – a studium možnosti narušení symetrie mezi hmotou a antihmotou, pokud by se ukázalo, že vlastnosti oscilací neutrin a antineutrin se liší. Naše spolupráce na experimentu NOvA začala v roce 2011. V roce 2019 jsme přispívali k provozu vzdáleného a blízkého detektoru, účastnili se směn při sběru dat a podílíme se též na analýze dat. Přispíváme také k výpočetním kapacitám pro simulační úlohy prostřednictvím počítačových prostředků umístěných ve FZÚ. V roce 2019 jsme dodali 12 % potřebné výpočetní kapacity experimentu NOvA. Jsme také přímo zapojeni do realizace testu části detektoru na svazku částic (tzv. „test beam“), jehož výsledky přispějí ke zpřesnění fyzikální analýzy dat. Experiment průběžně publikuje nové výsledky [7] a prezentujeme je též na konferencích [8]. Nové předběžné výsledky dále zpřesňují naše dosavadní znalosti o oscilacích neutrin. Z výsledků kombinované analýzy oscilačních parametrů užívající jak neutrinový, tak anti-neutrinový svazek (podrobnější informace viz významný výsledek č. 2, Sekce 1, str. 177) plyne, že experiment NOvA preferuje normální uspořádání hmotností neutrin („normal hierarchy“) a úhel $\theta_{23} > 45^\circ$ („upper octant“). Na základě současných kombinovaných analýz NOvA připouští nadále všechny hodnoty fáze mezi $0-2\pi$, jde převážně o preferovaný oktant při normálním rozložení hmotností.

2.1.5 Experiment DUNE

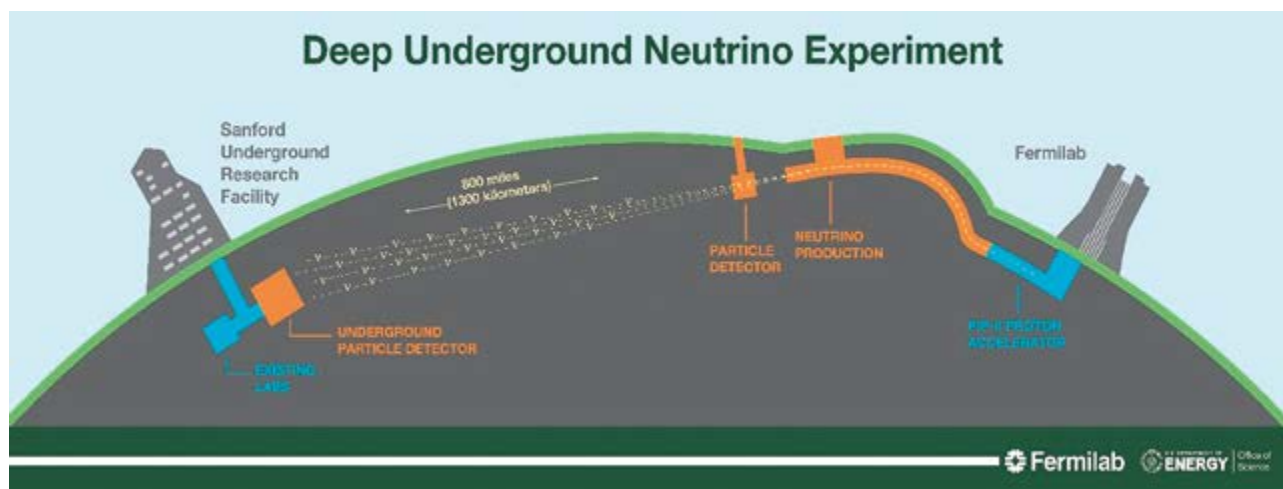
Jako následovník experimentu NOvA se ve Fermilabu připravuje nový experiment DUNE (Deep Underground

Neutrino Experiment), který umožní podstatně zpřesnit měřené veličiny pro oscilaci neutrin a jejich hmotnost, stejně jako parametry narušení symetrie CP. Fyzikální program zahrnuje taky registraci neutrin potenciálně přicházejících z explozí supernov a měření případného rozpadu protonů.



DUNE je mezinárodní experiment s celosvětovou účastí včetně laboratoře CERN, která v celém projektu hraje důležitou roli. V roce 2019 pokračovaly přípravy podzemní haly pro umístění vzdáleného detektoru v Sanford Underground Research Facility (SURF) v Jižní Dakotě, vzdálené 1 300 km od Fermilabu, kde bude umístěn blízký detektor.

Samotný vzdálený detektor bude rozdělen na čtyři moduly a každý z nich bude obsahovat 10 kt tekutého argonu. Instalace prvního modulu by měla začít v roce 2024, první fyzikální měření by měla proběhnout v roce 2026, druhý modul by měl následovat s ročním odstupem. V roce 2027 po dvouleté modernizaci urychlovacího komplexu ve Fermilabu lze očekávat první neutrinové svazky o intenzitě překračující 1 MW. Moduly pro vzdálený detektor budou založené na principu časové projekční komory plněné tekutým argonem s rozdílným sběrem náboje. U prvního typu modulu dochází ke sběru náboje v argonu v tekutém stavu, u druhého typu v tekutém i plynném skupenství. Podstatným krokem pro design, konstrukci detektorů a přípravu fyzikálních analýz jsou reálná data měřená prototypy detektorů zvanými podle zvolené technologie **ProtoDUNE SP** („single phase“) a **DP** („dual phase“). Tyto dva prototypy se nacházejí v laboratoři CERN, přičemž první z nich byl v roce 2018 dokončen a umístěn na svazku částic (urychlovač SPS) s dobře definovanou vstupní energií, svazky elektronů, mionů, pionů, protonů a dalších hadronů s energiemi 0,3 až 7 GeV.



■ Obr. 2 Experiment DUNE – svazek neutrin je poslán Zemi z Fermilabu do 1300 km vzdáleného detektoru v Jižní Dakotě.

V současnosti probíhá zpracování dat a výsledky jsou základem pro přípravu technické koncepční zprávy a počátkem příštího roku budou publikovány [9]. Tzv. „Technical Design Report“ byl v roce 2019 schválen, čímž došlo k zafixování základních technologií pro stavbu obou detektorů a tím parametrů vstupujících do přípravy fyzikálních analýz a simulací. V průběhu ozařování prototypu svazky částic jsme se starali o bezproblémový chod detektoru a začali jsme zpracovávat naměřená data. Detektorová laboratoř ve FZÚ vybudovaná pro experiment NOvA byla rozšířena pro testování fotodetektorů pro DUNE při velmi nízkých teplotách. V roce 2019 byla rovněž ustanovena základní konsorcia pro stavbu vzdáleného detektoru, FZÚ jako vedoucí z českých institucí je součástí konsorcia pro fotodetekční systém a má zastoupení v „Project Management Board“. Touto účastí jsme se zavázali k nákupu, měření a dodávce silikonových fotonásobičů pro výstavbu prvních dvou modulů. Přípravné práce již v naší laboratoři začaly. Podobně jako u experimentu NOvA jsme též zahájili dodávky výpočetních kapacit pro kolaboraci DUNE.

2.1.6 Experimenty v astročásticové fyzice

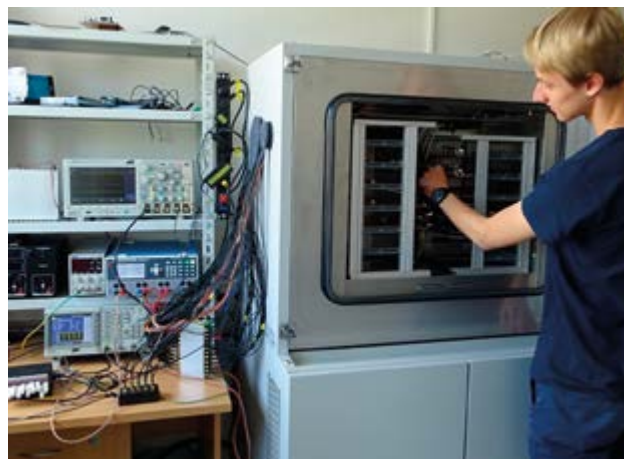
Observatoř Pierra Augera je největší experimentální zařízení pro detekci kosmického záření nejvyšších energií. Za účasti 17 zemí světa byla postavena v argentinské pampě a rozkládá se na ploše 3 000 čtverečních kilometrů. Fyzikální ústav pomohl například postavit systém fluorescenčních teleskopů a dodal více než polovinu jejich zrcadlových ploch.



Pražská laboratoř astročásticové fyziky se intenzivně připravovala na masové testování nové elektroniky pro povrchové detektory modernizované observatoře CTA.

Byla provedena řada přípravných testů prototypů elektronických součástek UUB (Unified Universal Board) v teplotní komoře a aktualizována byla celá testovací procedura [10].

Co se týče fyzikální analýzy dat Observatoře Pierra Augera, k nejvýznamnějším výsledkům patří publikace ukazující na soulad podélného profilu spršek kosmického záření s předpověďmi získanými pomocí modelů hadronových interakcí [11]. Nejnovější možnosti Observatoře ve vztahu k tzv. „multimessenger approach“, tj. studování vesmíru ve všech dostupných informačních kanálech (kosmické záření, neutrina, fotony, gravitační vlny), byly představeny v [12]. V oblasti studia anizotropie kosmického záření byl naší doktorandkou zkoumán vliv magne-



■ Obr. 3 Testování desek s elektronikou pro upgrade Observatoře v klimatické komoře v pražské laboratoři.

tického pole naší Galaxie na tvar pozorovaného dipólu ve směrech přiletů v [13]. Chybějící energie, která je potřebná pro určení celkové energie spršek při fluorescenčním měření nad 1 EeV, byla poprvé určena z naměřených dat Observatoře Pierra Augera v [14], náš pracovník metodu rozšířil i na data observatoře KASCADE [15]. Technika vyvinutá k simultánnímu určení frakcí primárních částic a korekcí předpovědí modelů hadronových interakcí fitováním 2D distribucí velikosti povrchového signálu a hloubky maxima spršky byla představena v [16]. Její aplikace na data Observatoře Pierra Augera je připravovaná jako celokolaborační článek. Koncept detektoru, který by umožnil přesné určení mionové komponenty spršek kosmického záření, byl představen v [17]. O složení kosmického záření určeného z dat Observatoře Pierra Augera promluvil za celou kolaboraci na nejprestižnější konferenci oboru roku 2019 – International Cosmic Ray Conference – náš pracovník [18]. Skupina nadále čerpá ze zkušeností zahraničních posil, které do FZÚ přišly v roce 2017. Pod jejich vedením se v roce 2019 výrazně rozšířila rozsáhlá knihovna Monte Carlo simulací, která slouží pro řadu článků observatoře jako referenční popis detektoru. Naši pracovníci jsou vedoucími dvou mezinárodních pracovních skupin Observatoře – pro určení složení kosmického záření a právě pro tvorbu simulačních knihoven spršek kosmického záření. Další naše pracovnice je členkou konferenční komise Observatoře a vedoucí testování elektroniky modernizované Observatoře.

V roce 2019 jsme dále provozovali robotický dalekohled FRAM, jehož primárním úkolem je monitorování extinkce – úbytku záření vlivem atmosférického prostředí – a zjišťování podílu vlivu aerosolů. Dalekohled FRAM plní nezastupitelnou úlohu, protože jde o jediné zařízení celé observatoře, které umožňuje ihned po zaznamenání spršky fluorescenčními teleskopy ověřit, zda se

ve směru její projekce na oblohu nenacházela oblačnost nebo nehomogenní vrstvy aerosolů, které by anomální podélný profil mohly způsobit (tzv. metoda StS – Shoot the Shower).

Cherenkov Telescope Array (CTA) je budoucí observatoř pro detekci velmi energetického záření gama. CTA si klade ambiciózní cíle, pro něž je nezbytné dosáhnout zlepšení detekční citlivosti nejméně o řád v širokém intervalu energií. CTA bude sestávat z více než 100 teleskopů tří různých typů umístěných ve dvou lokalitách – na Evropské jižní observatoři v Chile a na ostrově La Palma ve Španělsku.



Během roku 2019 byl instalován druhý dalekohled FRAM v lokalitě budoucí jižní části observatoře CTA.

V současné době tak provozujeme v rámci monitoringu atmosféry pro CTA celkem tři dalekohledy FRAM (dva v Chile a jeden na ostrově La Palma) a také dva sluneční/lunární fotometry, všechny v lokalitách, kde v budoucnosti budou stát čerenkovské dalekohledy CTA. To umožňuje nejen dopředu připravit podrobnou charakterizaci těchto lokalit jako vstup pro simulace používané při zpracování dat o záření gama, ale také vyvíjet a testovat operační postupy a přesnější metody zpracování dat, specificky optimalizované na podmínky v těchto lokalitách. V případě dalekohledů FRAM tento vývoj umožňuje dále snižovat absolutní chybu určení celkového útlumu světla v atmosféře až na úroveň 1 % přicházejícího světla – k dosažení takové přesnosti je třeba zahrnout celou řadu malých efektů, od nelinearity a detailní spektrální citlivosti systému přes vliv zvolené fotometrické metody až po zahrnutí možných vlivů horizontální nerovnoměrnosti rozložení aerosolů ve vzduchu [19].

Během roku probíhaly také práce na simulacích teleskopu SST-1M pro dosažení odhadu citlivosti dalekohledu. Zapojili jsme se též do simulací a analýzy prvních dat dalekohledu LST. Vědecký program observatoře CTA byl představen v monografii [20]. Dokončili jsme i novou montáž pro zařízení ceilometr, které je od ledna 2020 v testovacím režimu provozováno ze střechy FZÚ. Jeho následný převoz na lokalitu CTA se očekává po důkladném ověření provozních podmínek.

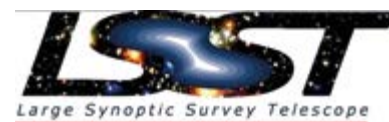
Naši pracovníci vystoupili mj. na prestižní konferenci ICRC v Madisonu, USA [21, 22, 23].

Aktivity na CTA probíhají ve spolupráci se Společnou laboratoří optiky UP a FZÚ AV ČR v Olomouci, která mj. provádí testy vzorků řešení zrcadlových teleskopů pro CTA, vyvíjí design vlastních zrcadel či navrhuje systém celoblohových kamer pro monitorování atmosféry.



■ **Obr. 4** Jeden ze dvou dalekohledů FRAM určených k monitorování stavu atmosféry během jeho instalace v září 2019 vědci z FZÚ v blízkosti budoucí lokality CTA v Chile. V pozadí je Cerro Paranal, kde je umístěn Very Large Telescope organizace ESO, jeden z předních astronomických přístrojů současnosti.

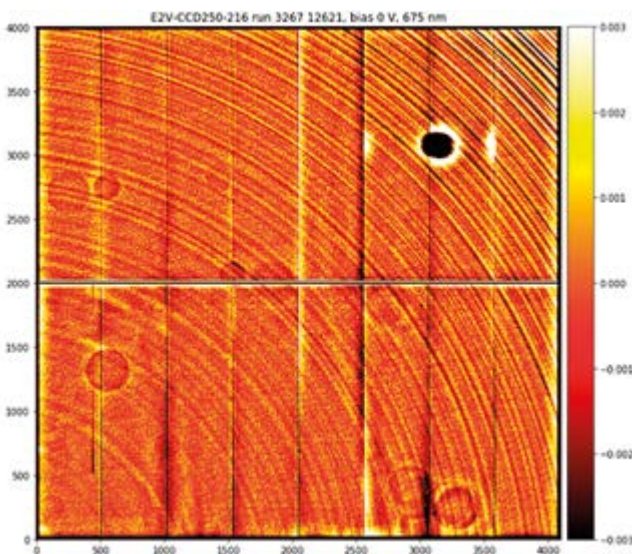
Observatoř Vera C. Rubin – Legacy Survey of Space and Time



(LSST) je nové jméno pro Large Synoptic Survey Telescope. Projekt vstoupil do závěrečné fáze výstavby. Dalekohled umístěný na Cerro Pachon v Chile poskytne bezprecedentní příležitost pro nepřetržitě přehlídkové pozorování celé oblohy. S primárním zrcadlem o průměru 8,4 m a mozaikovou CCD kamerou o 3,2 Gpx bude sledovat vesmír v zorném poli 10 čtverečních úhlových stupňů. Díky špičkovým parametrům a širokému zornému poli bude LSST schopno prozkoumat do dosud nedosažitelné hloubky celou pozorovatelnou oblohu za zhruba tři dny. K řadě fyzikálních programů patří vedle studia proměnných astrofyzikálních zdrojů především kosmologie.

Během roku 2019 jsme přispěli k uvedení kamery do provozu. Členové naší skupiny se podíleli na testování kamerových modulů LSST v Brookhaven National Laboratory. Tyto moduly byly později odeslány do SLAC National Accelerator Laboratory, kde proběhla konečná montáž celé kamery. Testovací data byla nabírána jak s částečnou, tak i úplnou kamerou.

Studovali jsme efekty tzv. tree-rings (letokruhů) v CCD senzorech LSST, které jsou stejně jako u stromů způsobeny fluktuacemi prostředí při růstu, v tomto případě růstu krystalů křemíku od středu k okrajům. Když se pak destička uříznutá z tohoto krystalu použije jako základ pro výrobu optického senzoru, vede to k systematickým mikroposunům v pozicích detekovaných fotonů podél zjevných kruhových obrazců (tree-rings) [24]. Tento



■ **Obr. 5** a) Montáž kamery LSST ve SLAC National Accelerator Laboratory, b) Laboratorní pozorování efektu tree-rings (letokruhů).

efekt jsme analyzovali ve všech typech dodávaných čipů, které budou použity v ohniskové rovině LSST. Zkoumali jsme závislosti pozorovaného efektu na vlnové délce dopadajícího světla, poloměru kruhových obrazců a napětí. Prokázali jsme, že při nominálním napětí budou mít amplitudy a periody kruhových obrazců jen malý dopad na fyzikální pozorování. Dále jsme se zabývali charakterizací různých povrchových efektů jak pro samostatné čipy, tak i pro moduly. Toto je velmi důležité k zajištění požadovaných vlastností detektorů v každém z konstrukčních a montážních kroků.

V souvislosti s vědeckým programem LSST jsme v minulém roce úspěšně dokončili práci na aproximativních metodách pro kosmologické simulace v modifikovaných teoriích gravitace [25]. Tyto metody umožňují rychlé řešení nelineárních rovnic v kosmologických simulacích a díky tomu i rychlé zkoumání různých teorií modifikované gravitace. Výsledky práce byly prezentovány při setkání skupiny LSST DESC v Paříži.

Domácí laboratoř pro testování optických senzorů pro astronomii byla nadále dovybavována a vylepšována s ohledem na měřicí aparaturu [26]. Vylepšili jsme mj. kryogeniku, optické sestavy, elektroniku i řízení experimentů. S takto dovybavenou laboratoří jsme byli schopni v domácích podmínkách získat první snímky z CCD čipu velmi podobného těm z LSST. Nedílnou součástí experimentálních programů naší nové laboratoře je i možnost testování dalších optických senzorů, např. typu. CMOS.

2.1.7 Teorie

V uplynulém roce 2019 jsme se věnovali širokému spektru teoretických aktivit, především v rámci Středoevropského centra pro kosmologii a fundamentální fyziku (CEICO), na něž ústav obdržel v roce 2016 prostředky z programu OP VVV. Mezi cíle centra patří studium kosmologie raného a pozdního vesmíru, temné hmoty a temné energie včetně možných modifikací samotné teorie gravitace a její testování v režimu silných polí. Nedílnou součástí výzkumu je i teorie strun, která jako jediná v současnosti poskytuje plně konzistentní rámec, ve kterém lze, byť s obtížemi, alespoň v principu objasnit řadu základních otázek o povaze času a prostoru a související teorii gravitace. S projektem souvisí i účast na experimentu LSST popsaná v oddíle věnovaném astročásticové fyzice.

S cílem lépe porozumět základům teorie strun se nám podařilo odvodit formalismus čistých spinorů pro superstrunu z prvních principů, čímž se podařilo opravit a zobecnit předchozí pokusy. Navíc jsme zkonstruovali chybějící integrované vertex operátory, čímž jsme zaplnili dlouho trvající mezeru v literatuře [27]. Pomocí homologického perturbačního lemmatu se nám podařilo nalézt vztah mezi teorií strunového pole ve světlopláně kalibraci a Wittenovou kovariantní teorií [28]. Rovněž jsme zkoumali lokalizaci marginálních deformací v otevřené superstrunové teorii pole a ukázali, jak lze snadno odvodit slavné ADHM rovnice pro instantony [29]. Jedním z dlouhodobě řešených témat na našem pracovišti je konstrukce klasických řešení otevřené strunové teorie pole popisujících obecné okrajové podmínky v 2D konformní teorii pole. V práci [30] jsme našli nový typ řešení konstruovaný z operátorů měnících okrajové podmínky, ve kterém se díky absenci divergencí nevyskytují anomálie v asociativitě.

V nedávné době došlo též k velkému pokroku v porozumění beznapětové struně v AdS3 a důkazu holografické hypotézy. V [31] jsme přispěli k tomuto tématu konstrukcí vedoucích členů kalibračně invariantní teorie pole beznapětové struny.

Naše oddělení bylo velmi aktivní v oblasti kosmologické fenomenologie a testování modelů. Přesné testování kosmologických modelů vyžaduje přesnou simulaci kosmických struktur. Vytvořili jsme nejpřesnější numerické relativistické simulace struktur ve třídě gravitačních teorií, které rozšiřují Einsteinovu obecnou teorii relativity (OTR) [32]. Studovali jsme kosmologickou fenomenologii konkrétní třídy nelokálních korekcí k OTR a ukázali jsme, že v současných pozorovacích datech jsou tyto modely statisticky ekvivalentní OTR [33]. Shluky galaxií jsou typem kosmologického systému, který již vykazuje určité odchylky od standardního kosmologického modelu založeného na OTR. Podrobně jsme je zkoumali pomocí nejmodernějších datových sad a statistických nástrojů s cílem zjistit, zda tento nesoulad ukazuje na novou fyziku za hranicí OTR nebo může být jednoduše způsoben systematickými efekty v datech [34]. Předpověděli jsme, jak může pozorování galaxií v klastrech omezit parametry zobecněných gravitačních teorií a ukázali jsme, že budoucí průzkumy galaxií omezí parametr gravitačního skluzu na úroveň jednotek procent [35]. Zkoumali jsme vzájemnou korelaci průzkumů galaxií pozorovaných prostřednictvím kosmického infračerveného pozadí a dat z pozadí kosmického mikrovlnného záření s cílem omezit parametry temné energie a gravitačních teorií zobecňujících OTR a ukázali jsme, že s příští generací průzkumů galaxií bude tato metoda konkurenceschopná ve srovnání s jinými metodami [36].

Současná pozorování gravitačních vln a elektromagnetických protějšků pocházejících ze stejných splynutí kompaktních astrofyzikálních objektů otevřela novou oblast v kosmologii. Naše oddělení patřilo v posledních několika letech k lídrům v používání těchto pozorování pro omezování gravitačních modelů, což pokračovalo i tento rok. Počítali jsme vliv kosmické struktury na šíření gravitačních vln a ukázali jsme, že několik zbývajících životaschopných zobecněných skalár-tenzorových modelů je ve skutečnosti při zahrnutí těchto jevů vyloučeno [37]. Stejně výpočty jsme provedli v kontextu teorií modifikované gravitace, které mohou působit jako alternativy temné hmoty, a určili jsme jejich nejobecnější množinu, u které se rychlost gravitačních vln rovná rychlosti světla [38], jak vyžaduje pozorování.

Členové naší skupiny jsou aktivní i v astročásticové fyzice. Zkoumali jsme vlastnosti kosmologické temné hmoty určením toho, jak v plné obecnosti tvoří temná hmota vázané struktury, a použili data z přehledu Wiggler z přesnějším omezením vlastností teorií zobecněné gravitace [39]. Pracovali jsme na modelech formace primordiálních černých děr a jejich možných pozorování v kosmologii [40]. Zkoumali jsme také model supertěžké temné hmoty a ukázali jsme, že částice temné hmoty se v tomto přípa-

dě rozpádají pomalu a poločas rozpadu se blíží dolním limitům získaným z pozorování kosmického záření s velmi vysokou energií [41]. Jednou ze dvou předních observatoří kosmického záření je Telescope Array, která se nachází v Utahu v USA, a naše oddělení pokračovalo ve svém zapojení do této experimentální kolaborace [42].

Testování gravitace a temné hmoty u kompaktních objektů bylo též aktivní oblastí výzkumu. Zkoumali jsme generování gravitačních vln pomocí kompaktních objektů v nelokálním rozšíření OTR a ukázali jsme, že toto rozšíření má stejné polarizace vln jako OTR, ale efektivní Newtonova konstanta je přeskákována a navíc, že celkové toky energie a hybnosti gravitačních vln v nekonečnu jsou nekonečné [43]. Zobecnili jsme parametrizovaný post-newtonovský formalismus pro použití kompaktních objektů ke studiu nových gravitačních teorií s mechanismem částečného stínění polí [44]. Spolupracovali jsme na předpovídání efektů alternativních gravitačních teorií na pulzace Slunce, tzv. helioseismologii. Ukázali jsme, že náš přístup má potenciál poskytnout silná omezení pro řadu teorií temné energie (podrobnější informace viz významný výsledek č. 3, Sekce 1, str. 178)

Naše oddělení se specializuje na konstrukci teorií a modelů gravitačních teorií za rámcem OTR. Vymysleli jsme novou Weyl-invariantní a obecně kovariantní formulaci unimodulární gravitace, která vede ke globálnímu dynamickému stupni volnosti: kosmologické konstanty [45]. Zkonstruovali jsme novou, paritu narušující zobecněnou teorii gravitace, která poskytuje vysvětlení pro dynamickou temnou energii, určuje její Hamiltonovskou formulaci a umožňuje nalézt kosmologická řešení [46]. Zkoumali jsme lokalizovanou verzi nelokálního rozšíření OTR motivovaného temnou energií a zjistili jsme, že pouze sada počátečních podmínek odpovídající původní nelokální verzi vede k dobře definované teorii [47]. Rozšířili jsme Ashtekarovu formulaci OTR s beztlakovou tekutinou jako spontánně narušenou kalibrační teorii Lorentzovy grupy navržením modelu s větší symetrií [48].

Naše pracoviště je též velmi aktivní ve studiu kosmologie raného vesmíru. Pracovali jsme na gravitačních vlnách pocházejících ze skalárních fluktuací v raném vesmíru, které mohou poskytnout informace o malých primordiálních fluktuacích [49]. Uvažovali jsme inflační modely zahrnující interakce mezi axiony a kalibračními poli a našli omezení výsledného prostoru parametrů [50]. Zkoumali jsme efektivní teorii pole tzv. předehtívání, která zahrnuje tři typy vazeb s derivacemi mezi inflatonem a ohřívacím polem, a prozkoumali jsme řadu nízkoenergetických režimů, přičemž se ukázalo, že některé modely vedly k netriviální rychlosti zvuku jak pro sektor inflace, tak pro ohřívací pole [51]. Prozkoumali jsme verzi Affleck-

-Dineovy baryogeneze, která nevyžaduje nízké teploty při opětovném zahřívání ve vesmíru, ani nevede k velkým poruchám baryonické hmoty při konstantní křivosti [52]. Teorie Gauss-Bonnetova typu se skalárním polem vedou k tzv. skalarizaci černých děr a neutronových hvězd v určitém rozsahu parametrů. Ukázali jsme, že pro tento rozsah parametrů jsou tyto teorie v rozporu s existencí inflační éry na začátku vesmíru [53]. Také jsme demonstrovali, jak se vyhnout tachyonickým nestabilitám v časném vesmíru v jiné teorii, která vede ke skalarizaci [54]. Ukázali jsme, že v nelokálním rozšíření OTR může být singularita velkého třesku nahrazena kosmickým odrazem, a proto jí není nikdy dosaženo [55]. Zkoumali jsme problém jemného ladění skalární inflace vznikající při spojení inflatonu s běžnou hmotou, takovém, aby došlo k opětovnému ohřevu vesmíru [56]. Nakonec jsme vypočítali dvojspektrum, které je výsledkem kvantového propletení mezi inflatonovými a doprovodnými poli a v dvojspektru jsme našli výrazné znaky, které lze použít k omezení těchto modelů pozorováním [57].

2.1.8 Přípravné práce na projektu lineárního urychlovače

Lineární urychlovač vstřícných svazků pozitronů a elektronů je jedním z vážně zvažovaných budoucích mezinárodních projektů experimentální částicové fyziky. Jsou rozpracované dvě studie lineárního urychlovače: "International Linear Collider" (ILC) s možnou realizací v Japonsku a "Compact Linear Collider" (CLIC), o jehož realizaci se uvažuje v CERN.

Jsme zapojeni do výzkumu a vývoje nových kalorimetrů a metod kalorimetrie v kontextu analogového hadronového kalorimetru (AHCAL) kolaborace "Calorimeter for Linear Collider Experiment" (CALICE), který oproti klasickým kalorimetrům dokáže díky vysokému počtu kanálů (high granularity) a za použití metody "Particle Flow Algorithm" (PFA) výrazně zpřesnit energetické rozlišení kalorimetru.

Podíleli jsme se především na stavbě AHCAL prototypu s 22000 kanály, a to se zodpovědností za vyčítání dat z kalorimetru (DAQ) a sledování kvality nasbíraných dat (DQM). Podíleli jsme se na provozu tohoto prototypu při testech ve svazcích částic na urychlovačích ve střediscích CERN a DESY Hamburg v letech 2018-2019 a také na integraci a provozu kombinovaných testů s jinými druhy částicových detektorů.

Věnovali jsme se též charakterizaci fotosenzorů (SiPM) a demonstrovali metodu stabilizace zesíleného signálu SiPM, které je silně závislé na teplotě.

Koncept scintilační destičky vyčítané individuálním fotosenzorem (SiPM), vyvinutý pro prototyp AHCAL, se ukázal být slibnou technologií pro stavbu kalorimetru a našel uplatnění např. v projektu CMS HGCal. Uvažuje se o jeho uplatnění i v jiných projektech částicové fyziky (např. DUNE Near Detector SAND).

2.1.9 Zpracování experimentálních dat

I v roce 2019 pokračovalo zpracování dat z LHC experimentů ALICE a ATLAS v gridovém středisku Tier-2, které provozujeme v rámci Výpočetního střediska FZÚ. Řídící i výpočetní servery jsou sdílené s projekty NOVA a DUNE Výzkumné infrastruktury Fermilab a astročásticovými projekty Observatoř Pierra Augera a Cherenkov Telescope Array. Spolu se započtením monitorovacích úloh bylo v systému HTCondor za celý rok zpracováno více než 8 milionů úloh, které dohromady spotřebovaly téměř 250 miliard sekund výpočetního času. To odpovídá nepřetržitému vytížení 7900 výpočetních jader po celý rok. Toto zvýšení bylo možné díky realizaci nákupu nového výpočetního klastru z prostředků programů OP VVV „CERN Computing“ a „Spolupráce na experimentech ve Fermilab“.

Významně jsme posílili možnosti přenosu dat do dalších gridových středisek zapojením nového přepínače a směrovače se 100 Gbps připojením do dedikované sítě LHCONE a 40 Gbps připojením do internetu. Síť LHCONE mohou používat nejen LHC experimenty, ale i Observatoř Pierra Augera a experiment NOVA ve Fermilab. Celková úložná kapacita Výpočetního střediska zůstala na kapacitě 5 PB, její další rozšíření plánujeme v roce 2020. Část úložné kapacity je pro uživatele transparentně připojena ze serverů v ÚJF v Řeži, stejně tak menší část výpočetních serverů je provozována v serverovně MFF UK.

Pro uživatele klastru Luna, který je součástí národní e-Infrastruktury Metacentrum, jsme na konci roku poříдили 32 nových serverů s 32 jádrovými procesory AMD a výrazně tak rozšířili možnosti výpočtů v roce 2020. Součástí nového klastru Luna2019 je i nové diskové pole o využitelné kapacitě 73 TB.

■ Literatura

- [1] ATLAS Collaboration, *Measurement of the CP violation phase ϕ_s in $B_s \rightarrow sJ\psi\phi$ decays in ATLAS at 13 TeV*, submitted to EPJC, CERN-EP-2019-218, arXiv: 2001.07115
- [2] ATLAS Collaboration, *Observation of electroweak production of two jets in association with a Z-boson*

- pair in pp collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV with the ATLAS detector, ATLAS note ATLAS-CONF-2019-033, 15 July 2019
- [3] L. A. Harland-Lang, V. A. Khoze, M. G. Ryskin, M. Tasevsky, *LHC searches for Dark Matter in compressed mass scenarios: challenges in the forward proton mode*, *J. High Energy Phys.* (2019) 2019: 10
- [4] TOTEM Collaboration, *Elastic differential cross-section measurement at $\sqrt{s} = 13$ TeV by TOTEM*, *Eur. Phys. J. C* **79** (2019) 861
- [5] Investigations of Anisotropic Flow Using Multiparticle Azimuthal Correlations in pp, p-Pb, Xe-Xe, and Pb-Pb Collisions at the LHC ALICE Collaboration, *Phys. Rev. Lett.* **123** (2019) no.14, 142301
- [6] Statistical Analysis of Binary Stars from the Gaia Catalog Data Release 2, Petr Zavada a Karel Píška, *The Astronomical Journal* **159** (2020) no. 1, 33
- [7] NOvA Collaboration (z FZÚ P. Filip, M. Lokajíček, J. Zálešák), Observation of seasonal variation of atmospheric multiple-muon events in the NOvA Near Detector, *Phys. Rev.* **D99** (2019) no. 12, 122004.
- [8] Jaroslav Zálešák for the NOvA collaboration, Recent results from the NOvA experiment, DOI: 10.1142/9789811202339_0008
- [9] DUNE Collaboration (z FZÚ M. Lokajíček, J. Zálešák, J. Zuklín), Deep Underground Neutrino Experiment (DUNE), Far Detector Technical Design Report, Volume I Introduction to DUNE, e-Print: 2002.02967 [physics.ins-det].
- [10] M. Boháčová for the Pierre Auger Collaboration, Test benches for the upgrade of the Pierre Auger Observatory electronics, ICRC 2019, Madison, USA [arXiv: 1909.09073] [pos.sissa.it/358/199].
- [11] A. Aab et al.(The Pierre Auger Collaboration, z FZÚ: J. Blažek, M. Boháčová, J. Chudoba, J. Ebr, J. Juryšek, D. Mandát, M. Palatka, M. Pech, M. Prouza, J. Řídký, E. Santos, P. Schovánek, P. Trávníček, J. Vícha, A. Yushkov), Measurement of the average shape of longitudinal profiles of cosmic ray air-showers at the Pierre Auger Observatory, *JCAP*03(2019)018, [arxiv.org/abs/1811.04660] [doi: 10.1088/1475-7516/2019/03/018].
- [12] A. Aab et al.(The Pierre Auger Collaboration, z FZÚ: J. Blažek, M. Boháčová, J. Chudoba, J. Ebr, J. Juryšek, D. Mandát, M. Palatka, M. Pech, M. Prouza, J. Řídký, E. Santos, P. Schovánek, P. Trávníček, J. Vícha, A. Yushkov), Multi-Messenger Physics with the Pierre Auger Observatory, *Front. Astron. Space Sci.* **6:24** (2019), [arxiv.org/abs/1904.11918] [doi: 10.3389/fspas.2019.00024].
- [13] A. Bakalová et al., Influence of the Galactic Magnetic Field on Large-scale Anisotropies of Ultra-high Energy Cosmic Rays, *PoS(ICRC2019)*183.
- [14] A. Aab et al.(The Pierre Auger Collaboration, z FZÚ: J. Blažek, M. Boháčová, J. Chudoba, J. Ebr, J. Juryšek, D. Mandát, M. Palatka, M. Pech, M. Prouza, J. Řídký, E. Santos, P. Schovánek, P. Trávníček, J. Vícha, A. Yushkov), Data-driven estimation of the invisible energy of cosmic ray showers with the Pierre Auger Observatory, *Phys. Rev. D* **100** (2019) no. **8**, 082003, [arxiv.org/abs/1901.08040], [DOI:10.1103/PhysRevD.100.082003].
- [15] J. Vícha et al., Invisible Energy from KASCADE Data, *PoS(ICRC2019)*453.
- [16] J. Vícha et al., Testing Hadronic Interactions Using Hybrid Observables, *PoS(ICRC2019)*452.
- [17] P. Abreu et al. (z FZÚ: J. Řídký, P. Trávníček, J. Vícha), MARTA: a high-energy cosmic-ray detector concept for high-accuracy muon measurement, *Eur. Phys. J. C* **78** (2018) 333(11)–333(11) [doi: 10.1140/epjc/s10052-018-5820-2].
- [18] A. Yushkov for the Pierre Auger Collaboration, Mass composition of cosmic rays with energies above $10^{17.2}$ eV from the hybrid data of the Pierre Auger Observatory, *PoS(ICRC2019)*482.
- [19] J. Ebr et al. for the Pierre Auger Collaboration CTA Consortium, New developments in aerosol measurements using stellar photometry, *EPJ Web Conf.* **197** (2019) 02007 [doi: 10.1051/epjconf/201919702007]
- [20] B.S. Acharya et al.(The Cherenkov Telescope Array Consortium, z FZÚ: J. Blažek, J. Chudoba, J. Ebr, P. Janeček, J. Juryšek, D. Mandát, M. Palatka, M. Pech, M. Prouza, P. Schovánek, P. Trávníček, M. Vraštil), *Science with the Cherenkov Telescope Array*, ed. Ng Kah Fee, World Scientific Publishing Company, 2019, 338 p., ISBN: 978-981-327-008-4
- [21] Ebr J. et al. for the CTA Consortium, Characterization of atmospheric properties at the future sites of the Cherenkov Telescope Array. *Sep* **17**, 2019. 7 pp., *PoS(ICRC2019)*667.
- [22] Ebr J. et al. for the CTA Consortium, Prototype operations of atmospheric calibration devices for the Cherenkov Telescope Array. *Sep* **17**, 2019. 8 pp., *PoS(ICRC2019)*769.
- [23] Jurysek J. et al. for the CTA Consortium, Monte Carlo study of a single SST-1M prototype for the Cherenkov Telescope Array. *Jul* **18**, 2019. 8 pp., *PoS(ICRC2019)*708.

- [24] H. Y. Park, S. Karpov, A. Nomerotski, D. Tsybychev, Tree rings in Large Synoptic Survey Telescope production sensors: its dependence on radius, wavelength, and back bias voltage, *J. of Astronomical Telescopes, Instruments, and Systems*, 2020, **6**(1), 011005
- [25] M. Vraštil, S. Habib, Fast approximate methods for modified gravity cosmological simulations, *MNRAS*, 493, s. 2085
- [26] A. Christov; S. Karpov; M. Prouza; A. Bajat, Conference Proceedings, Test stand for characterization of optical sensors for astronomy, *J. of Astronomical Telescopes, Instruments, and Systems*, **5**(4), 041504 (2019).
- [27] Renann Lipinski Jusinskas, *JHEP* **1912** (2019) 143
- [28] Hiroaki Matsunaga, *JHEP* **1904** (2019) 143
- [29] Jakub Vošmera *JHEP* **1912** (2019) 118
- [30] Theodore Erler, *JHEP* **1906** (2019) 027
- [31] Joris Raeymaekers, *JHEP* **1907** (2019) 019
- [32] L. Reverberi and D. Daverio, *JCAP* **1907**, 035 (2019)
- [33] L. Amendola, Y. Dirian, H. Nersisyan and S. Park, *JCAP* **1903**, 045 (2019).
- [34] Stéphane Ilić, Ziad Sakr and Alain Blanchard, *Astronomy & Astrophysics*, **631**, A96 (2019).
- [35] L. Pizzuti, I.D. Saltas, et al., *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* **486**, 596 (2019).
- [36] A. Maniyar, G. Lagache, M. Bethermin and S. Ilić, *A&A*, **621**, A32 (2019).
- [37] E. J. Copeland, M. Kopp, A. Padilla, P. M. Saffin & C. Skordis, *Phys. Rev. Lett.* **122**, 061301 (2019).
- [38] C. Skordis and T. Zlosnik, *Phys.Rev.* **D100**, 104013 (2019).
- [39] D. B. Thomas, M. Kopp and K. Markovič, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* **490**, 813 (2019).
- [40] V. De Luca et al., *JCAP* **1907**, 048 (2019).
- [41] E. Babichev, D. Gorbunov and S. Ramazanov, *Phys. Lett.* **B794**, 69 (2019).
- [42] Abbasi et al., *Phys. Rev. D* **99**, 022002 (2019); *ibid*, *Astropart. Phys.* **110**, 8 (2019).
- [43] Y-Z. Chu and S. Park, *Phys. Rev.* **D 99**, 044052 (2019).
- [44] N. Bolis, C. Skordis, D. Thomas and T. Zlosnik, *Phys. Rev.* **D99**, 084009 (2019)
- [45] P. Jiroušek and A. Vikman, *JCAP* **1904**, 004 (2019).
- [46] J. Magueijo and T. Zlosnik, *Phys. Rev.* **D100**, 084036 (2019).
- [47] S. Park and R. P. Woodard, *Phys. Rev.* **D 99**, 024014 (2019).
- [48] T. Koivisto, M. Hohmann and T. Zlosnik, *Universe* **5**, 153 (2019).
- [49] C. Unal, *Phys. Rev.* **D99**, 041301 (2019)
- [50] A. Papageorgiou, M. Peloso and C. Unal, *JCAP* **1907**, 004 (2019).
- [51] G. Sengor, *Phys. Rev* **D100**, 043503 (2019)
- [52] E. Babichev, D. Gorbunov and S. Ramazanov, *Phys. Lett.* **B792**, 228 (2019).
- [53] T. Anson, E. Babichev, C. Charmousis and S. Ramazanov, *JCAP* **1906**, 023 (2019).
- [54] T. Anson, E. Babichev and S. Ramazanov, *Phys. Rev.* **D100**, 104051 (2019).
- [55] C-Y Chen, P. Chen and S. Park, *Phys. Lett.* **B 796**, 112 (2019).
- [56] S. P. Miao, S. Park and R. P. Woodard, *Phys. Rev.* **D100**, 103503 (2019).
- [57] N. Bolis, A. Albrecht and R. Holman, *JCAP* **1907**, 021 (2019).





2.2 Sekce fyziky kondenzovaných látek v roce 2019

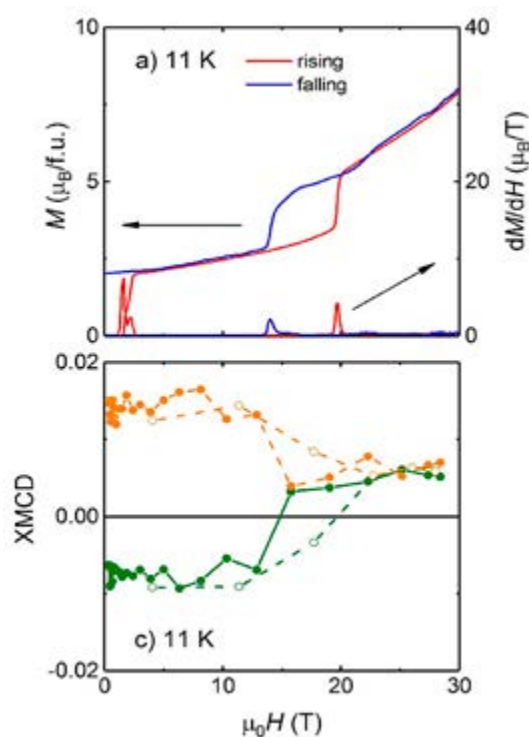
Předmětem výzkumu sekce 2 v roce 2019 bylo teoretické a experimentální studium struktury a vlastností kondenzovaných látek, především multiferoických, piezoelektrických a spintronických materiálů, kapalných krystalů, moderních kovových materiálů, funkčních technických materiálů, jako jsou slitiny s tvarovou pamětí, diamantových povlaků, magnetických Heuslerových materiálů a tenkých vrstev. V roce 2019 jsme pokračovali v dlouhodobě zavedených směrech základního i aplikovaného výzkumu, financovaných především z národních výzkumných projektů, jejichž některé výsledky jsou představeny níže. V oblasti teoretického výzkumu se zabýváme především rozbořením magnetických, elektrických a transportních vlastností pevných látek na základě jejich mikroskopické elektronové struktury a dále studiem transportních a termodynamických vlastností modelových systémů v silně nerovnovážných stavech. Studujeme také změny struktury a fyzikálních vlastností pevných látek v souvislosti se strukturálními, magnetickými a dielektrickými fázovými přechody. V roce 2019 došlo k dalšímu posuvu v rozdělení práce mezi výzkumné skupiny a centrální laboratoře FZÚ v sekci (LEM, ROTAN, SLMS, GDOES a Chemie). Pracovníci centrálních laboratoří rozvíjí experimentální metody s využitím svěřeného nákladného experimentálního vybavení a poskytují výzkumné služby v oborech elektronové mikroskopie, rentgenových metod, spektroskopických metod, fyzikálních měření v magnetických polích v širokém teplotním oboru a analytické chemie jak vědeckým pracovníkům z FZÚ, tak zájemcům z externích pracovišť mimo FZÚ v rámci „open access“ režimu národních výzkumných infrastruktur

2.2.1 Feromagnetika a multiferoika

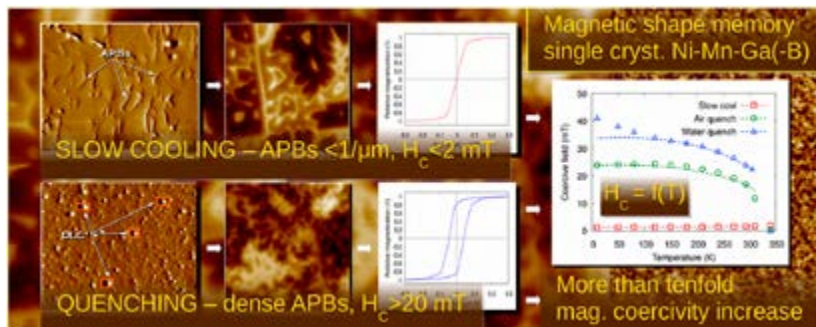
Fyzikální a materiálový výzkum magnetických pevných látek má ve FZÚ dlouhou tradici. Jeho význam v současnosti roste v souvislosti s výzkumem pro energetické aplikace a úspory. V současné době se především zabýváme výzkumem komplexních intermetalických sloučenin založených na lanthanoidech a aktinoidech s cílem pochopit mechanismus magnetické anisotropie a magnetické-

ho uspořádání v těchto látkách. Široce založený výzkum je motivován hledáním nových permanentních magnetů pro zvýšení účinnosti elektrických motorů (v dopravě) a generátorů (pro výrobu energie). Tyto materiály mohou také vykazovat obří magnetostriktu a magnetokalorický jev.

Druhým hlavním oborem výzkumu jsou magnetoelastická multiferoika, materiály vykazující současné feromagnetické uspořádání a strukturální transformaci vedoucí k uspořádání feroelastických domén. Význačnou vlastností těchto materiálů je velmi snadná obří vratná deformace probíhající jak vlivem mechanických sil, tak magnetického pole a jejich vzájemná nahraditelnost, tedy možnost materiál deformovat v magnetickém poli s výsledkem obří polem indukované deformace či mož-



■ **Obr. 6** Magnetizace a derivace magnetizace v závislosti na magnetickém poli Fe-podobných (zelených) a Ho-podobných (oranžových) složek během magnetickým polem vyvolané transformace (skok na horní křivce). Otevřené symboly a přerušované čáry: rostoucí pole, plné symboly a čáry: snižující se pole.



■ Obr. 7 Magnetické struktury pozorované v pomale a rychle chlazeném materiálu s magnetickou tvarovou pamětí a odpovídající měření magnetické koercitivity a její teplotní závislost.

nost mechanicky vyvolat změnu magnetického stavu a tedy produkovat elektrickou energii. Takové komplexní chování má významný aplikační potenciál pro stavbu strojů a energetické aplikace.

Uvádíme zde příklad pokročilého experimentu publikovaného v prestižním fyzikálním časopise [obr. 6]. Pomocí metody rentgenovského magnetického cirkulárního dichroismu jsme sledovali rotace jednotlivých magnetických momentů atomů Ho a Fe během fázového přechodu feromagnetu HoFe_2Al_7 v pulzních polích až do 30 T. Simultánní skoková rotace Ho a Fe momentů (obr. 6) je vysvětlena pomocí dvoumřížkového modelu pro anizotropní feromagnet se slabou mezimřížkovou výměnnou interakcí. Získané výsledky jsou důležité pro pochopení magnetických interakcí v intermetalických sloučeninách kovů vzácných zemin s přechodové kovy skupiny železa. Tato práce dobře ilustruje spolupráci mezi jednotlivými pracovišti FZÚ a evropským centrem pro vysoká magnetická pole v Drážďanech v Německu.

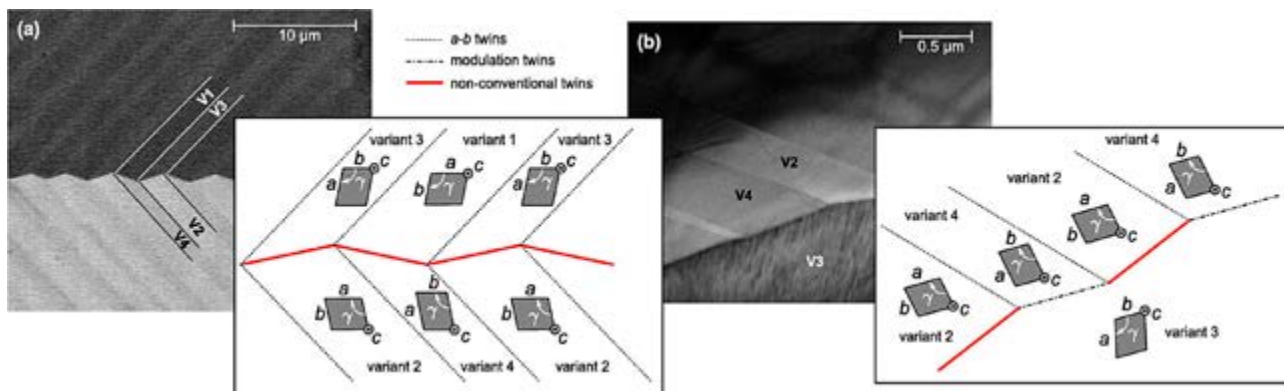
Materiály s magnetickou tvarovou pamětí mohou vykazovat nové velmi zajímavé magnetomechanické jevy, pokud současně s vysokou mobilitou hranic dvojčatění vykazují zvýšenou magnetickou koercitivitu [obr. 7]. Podařilo se najít metodu, jak dosáhnout výrazného zvýšení koercitivity pomocí kontrolovaného kalení materiálu a současně vysvětlit mechanismus pozorované magnetické koercitivity. Vzrůst koercitivity souvisí se vzrůstající hustotou antiřá-

zových rozhraní. Objev je důležitý zejména proto, že otevírá nové možnosti nových unikátních magnetomechanických jevů v materiálech s magnetickou tvarovou pamětí.

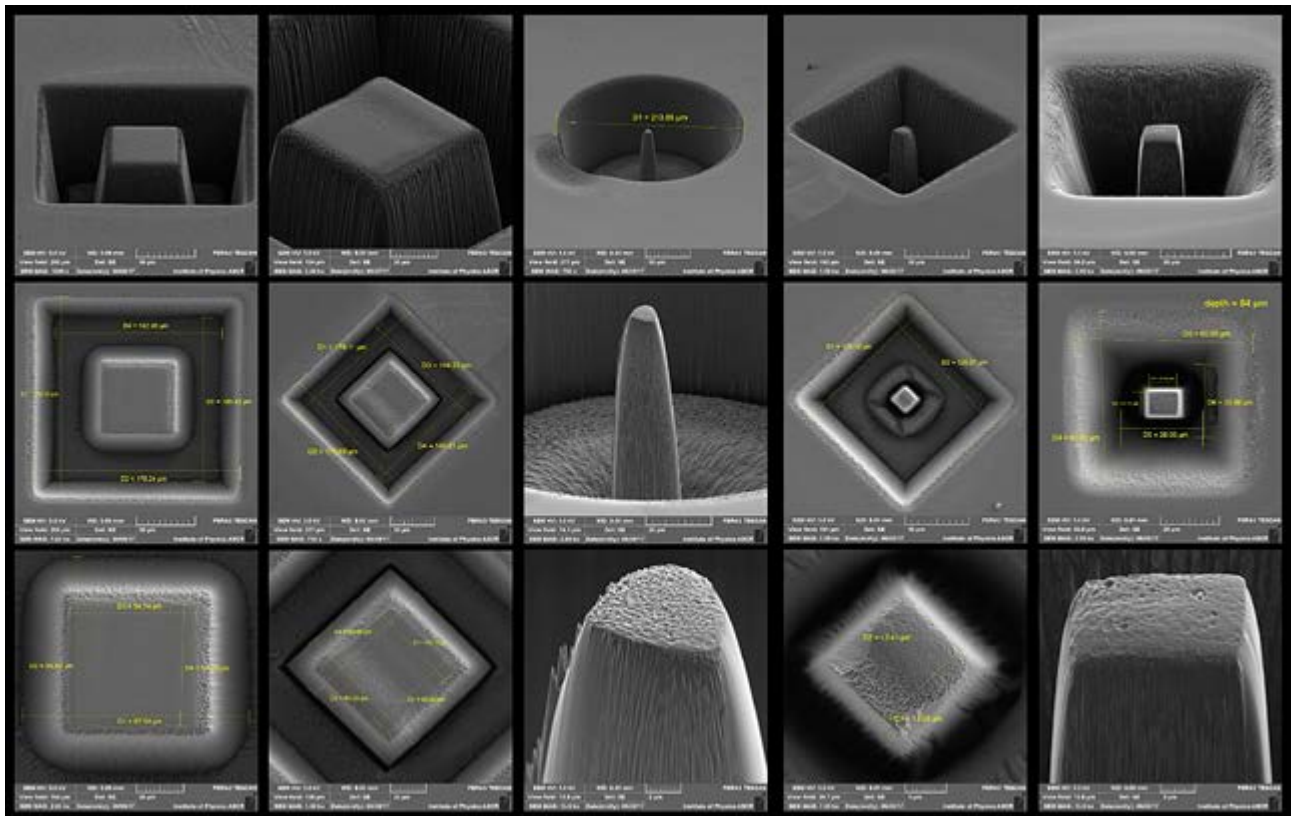
Funkcionalita materiálů s tvarovou a magnetickou tvarovou pamětí je umožněna existencí speciální mikrostruktury, tzv. martensitu, sestávajícího ze zdvojitých martensitických variantů. Porozumění této mikrostrutury je tedy jedním z důležitých klíčů k dosažení většiny funkčních vlastností materiálu. Krystalografická teorie martensitu předvídá několik druhů dvojčatění mezi martensitickými varianty. Ve společné práci čtyř laboratoří prezentujeme experimentální pozorování a teoretický rozbor velmi vzácného typu dvojčatění, tzv. nekonvenčního nebo neklasického, ve feromagnetické slitině Ni-Mn-Ga. Obrázek z elektronového mikroskopu a identifikace martensitických variantů je ukázána na obrázku 8. Tento typ dvojčatění nebyl ještě nikdy pozorován v žádné jiné slitině s tvarovou pamětí. Pozorování a teoretický rozbor přispívají k porozumění unikátních funkčních vlastností slitiny Ni-Mn-Ga a je též důležitým střípkem k potvrzení platnosti krystalografické teorie martensitu [obr. 8].

Supravodiče

Hlavní pozornost byla věnována pokračujícímu výzkumu vlivu neutronového záření na chování supravodi-



■ Obr. 8 Pozorování nekonvenčního (neklasického) dvojčatění ve slitině Ni-Mn-Ga a porovnání s teoretickým modelem mikrostruktury. a) čistě nekonvenční dvojčatění, červená čára, b) nekonvenční dvojčatění (červená čára) prokládáno běžným (tzv. compound) dvojčatěním.



■ Obr. 9 Příklad mikropilířků připravených metodou mikrobrábění fokusovaným Xe iontovým svazkem v elektronovém mikroskopu Fera 3.

vých pásků zejména při nízkých teplotách a co nejvyšších magnetických polích. Výzkum je motivován očekáváním, že tyto pásky budou použity v termojaderných fúzních reaktorech. Bylo zjištěno, že vlastnosti pásků při provozních teplotách pod 30 K nejenže nedegradují, ale pro střední toky neutronů dokonce zlepšují. Při dosažení určité hranice ozáření začnou vlastnosti zase zhoršovat. Nicméně, až do dávky rychlých neutronů $3 \times 10^{22} \text{ m}^{-2}$, která je blízká hodnotě předpokládané pro celkovou depozici za dobu života fúzního reaktoru, vlastnosti pásků při teplotách okolo 10 K neklesnou pod hodnoty změřené na neozářených páscích, a to až do potřebných magnetických polí 10-15 T [JJ]. To je velmi pozitivní zpráva pro budoucí využití pásků do vinutí silných magnetů fúzních reaktorů. Navíc ve spolupráci se Shibaura Institute of Technology Tokio jsme také pracovali na vývoji objemných supravodičů RE-123 a MgB_2 , zejména pro levitační účely.

Experiment s aplikačním potenciálem

Materiály s magnetickou tvarovou pamětí v mikroaktuátorech

Materiály s magnetickou tvarovou pamětí jsou často uvažovány jako vhodný materiál pro použití v různých mikrozařízeních, nicméně zatím nebyly tyto možnosti důsled-

ně prozkoumány. Ve spolupráci se zahraničním partnerem Lappeenranta University of Technology jsme pokračovali v sérii aplikačních experimentů směřující k možnému využití materiálů s magnetickou tvarovou pamětí v mikro-manipulátorech, mikropumpách, a jiných mikrozařízeních. V předchozí práci jsme demonstrovali funkčnost tvarové paměti na škále od několika mikrometrů a možnost prototypování mikrozařízení pomocí mikrobrábění fokusovaným Xe-iontovým svazkem. Příklady možných tvarů pilířků jsou na obrázku 9. V této navazující práci jsme se v pokračující spolupráci s finským partnerem zabývali dynamickými vlastnostmi prototypické mikrostruktury, mikropilířků. Deformace dosahuje až 6% a rychlost hranice až 20 m/s. Tudiž, plnou magnetickou aktuaci pilíře (6% roztažení) lze dosáhnout v čase menším než 5 mikrosekund, což umož-



■ Obr. 10 Logo konference ICF SMA pořádané v Praze.

ňuje uvažovat o mikroaktuátorech s aktuální frekvencí až 100 kHz. Výsledky jsou shrnuty v článku [obr. 9].

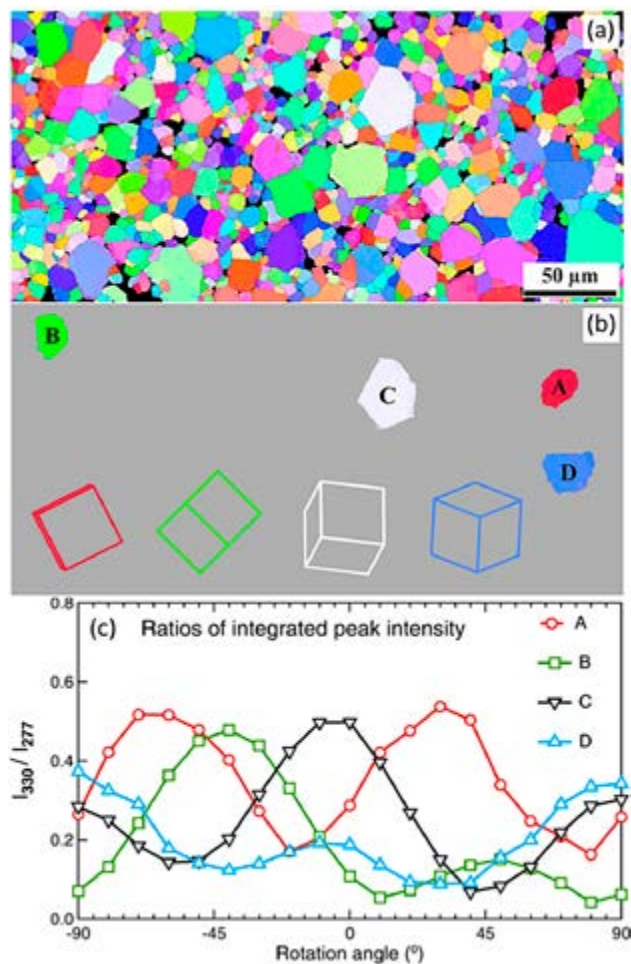
Jiné významné úspěchy pracovníků sekce

Pořádali jsme mezinárodní konferenci „International Conference of Ferromagnetic Shape Memory Alloy (ICF-SMA)“ (obr. 10). Oleg Heczko byl jejím předsedou. Konala se v Praze v Profesním domě. Hlavním pořadatelem byl FZÚ AVČR ve spolupráci s MFF UK a ÚT AVČR (<http://www.icfsma.cz/>). Tato konference je nejvýznamnější světovou konferencí na poli jevů magnetické tvarové paměti a koná se jednou za tři roky. Předchozí konference byla v Sendai v Japonsku v roce 2016, příští se bude konat v USA. Celkem 110 účastníků předneslo více než sto příspěvků zahrnujících celou šíři výzkumu od základní fyziky jevu až po jeho aplikace. Z pozvaných přednášek je možné uvést

např. přednášku Tilmanna Hickela z Max-Planck-Institutu z Düsseldorfu „Ab initio design strategies for NiMn-based ferromagnetic shape memory alloys“ a aplikační přednášku Markusa Chmieluse z University of Pittsburgh, USA – „Additive manufacturing: Opportunities and challenges for functional magnetic materials“.

Literatura

- [AA] D.I. Gorbunov, C. Strohm, M.S. Henriques, P. van der Linden, B. Pedersen, N.V. Mushnikov, E.V. Rosenfeld, V. Petříček, O. Mathon, J. Wosnitza, A.V. Andreev: "Microscopic nature of the first-order field-induced phase transition in the strongly anisotropic ferromagnet HoFe₃Al₇", Phys. Rev. Lett. **122** (2019) Art. No. 127205 (6 pp.) DOI:<https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.122.127205>
- [LS] L. Straka, L. Fekete, M. Rameš, E. Belas, O. Heczko: "Magnetic coercivity control by heat treatment in Heusler Ni-Mn-Ga(-B) single crystals", Acta Materialia **169** (2019) 109–121; <https://doi.org/10.1016/j.actamat.2019.02.045>
- [HS] Hanuš Seiner, Robert Chulist, Wojciech Maziarz, Alexei Sozinov, Oleg Heczko, Ladislav Straka: "Non-conventional twins in five-layer modulated Ni-Mn-Ga martensite" Scripta Mater. **162** (2019) 497–502. doi: 10.1016/j.scriptamat.2018.12.020
- [JJ] Jirsa M, Rameš M, Ďuran I, Entler S, Viererbl L: "Critical Currents in REBaCuO Superconducting Tapes in Response to Neutron Irradiation", Supercond. Sci. Technol. **32** (2019) 055007, doi: 10.1088/1361-6668/ab099c
- [MM] D. Musiienko, A. Saren, L. Straka, M. Vronka, J. Kopeček, O. Heczko, A. Sozinov, K. Ullakko: "Ultrafast actuation of Ni-Mn-Ga micropillars by pulsed magnetic field", Scripta Mater. **162** (2019) 482–485. doi: 10.1016/j.scriptamat.2018.12.009

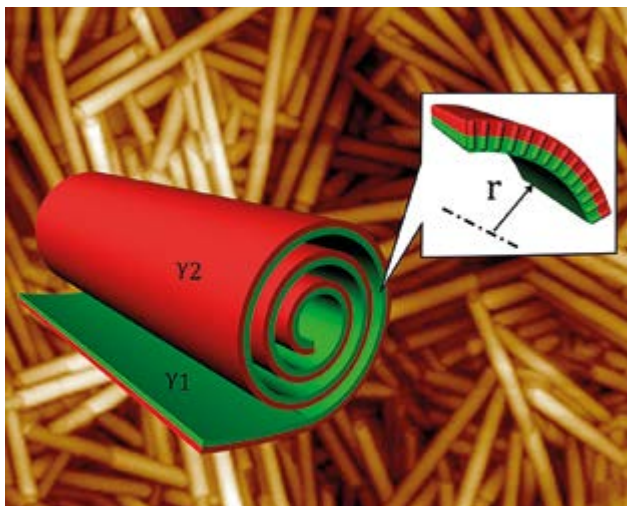


■ **Obr. 11** Morfologie zrn keramik GaV₄S₈. (a) Analýza orientace pomocí skenovacího elektronového mikroskopu (elektronová difrakce ve zpětném rozptylu – metoda EBSD); (b) pozice čtyř zrn vybraných pro měření Ramanovou spektroskopií včetně orientace jejich kubických buňky; (c) poměr intenzit Ramanova rozptylu těchto zrn;

2.2.2 Dielektrika, feroelektrika, multiferroika a nanostruktury

Ramanův rozptyl ukazuje orientaci kubických krystalických zrn

Navrhli jsme čistě optickou metodu určení orientace zrn v kubických polykrystalech a keramikách [1-12]. Využili jsme k tomu měření anizotropie polarizovaných spekter Ramanova rozptylu světla. Určením spektrálních čar v závislosti na orientaci vzorku při jeho otáčení podél osy procházející dopadajícím laserovým svazkem jsme jednoznačně stanovili orientace jednotlivých mikrokystalických zrn vzorku

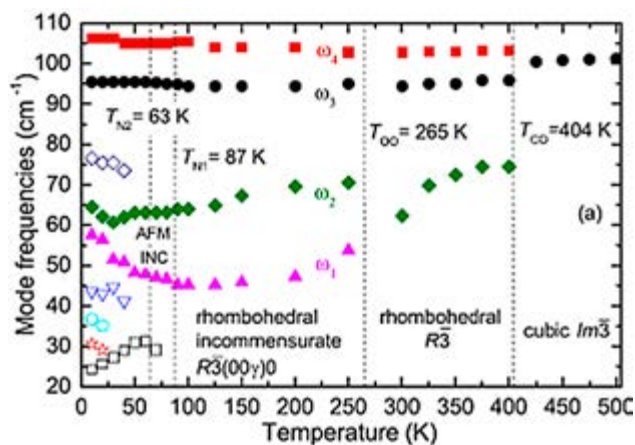


■ Obr. 12 Barevný model nanotrúbky vytvořené z organických molekul, kde je naznačen pravděpodobný mechanismus rolování molekulárních vrstev. Na pozadí je obrázek pořízený pomocí mikroskopie atomárních sil, který ukazuje nanotrúbky o průměru 50-60 nm.

polykrystalické keramiky GaV_4S_8 (obr. 1-12), což je materiál s perspektivními magnetoelektrickými vlastnostmi.

Organické nanotrúbky vytvořené z mesogenních derivátů kyseliny mléčné

Objevili jsme jednoduchý způsob přípravy organických nanotrúbek pro určitý typ derivátů kyseliny mléčné [2-12]. Nanotrúbky v krystalickém stavu mají průměr 50-60 nm a vznikají pomalým odpařováním z roztoku bez ohledu na typ rozpouštědla, chiralitu studovaných molekul, koncentraci roztoku nebo typ deponované povrchu. Navrhli jsme model popisující vznik nanotrúbek, kde vrstvy molekul vznikají při odpařování rozpouštědla



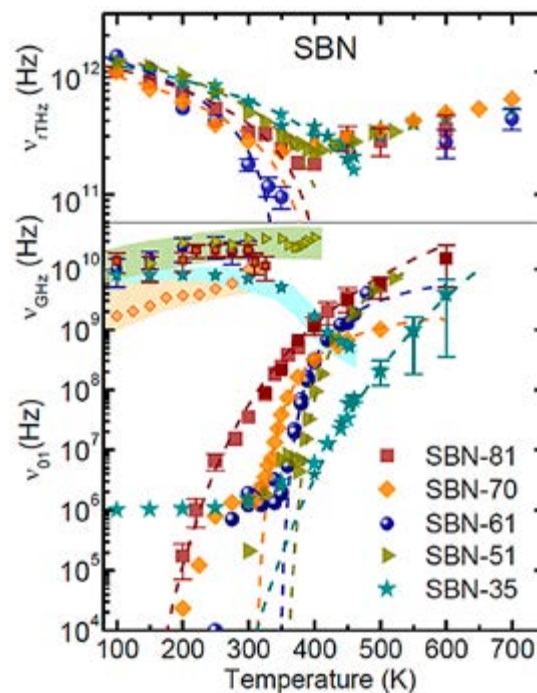
■ Obr. 13 Teplotní závislost nízkofrekvenčních excitací pozorovaných v infračervených spektrech $\text{SrMn}_7\text{O}_{12}$. Otevřené symboly odpovídají elektromagnonům aktivovaným v multiferoické fázi.

a rolují se díky různým hodnotám povrchového napětí na protilehlých površích (obr. 12).

Projevy dynamické magnetoelektrické vazby v multiferoickém $\text{SrMn}_7\text{O}_{12}$

$\text{SrMn}_7\text{O}_{12}$ je důležitý materiál z hlediska magnetoelektrické vazby. Při ochlazení vykazuje sérii strukturálních fázových přechodů, přičemž se v magnetických fázích pozoruje spinově-indukované feroelektrické uspořádání. Studovali jsme infračervená, terahertzová a Ramanova spektra, která odrážejí změnu výběrových pravidel vibračních módů (fononů) při výše zmíněných fázových přechodech [obr. 13].

K největším změnám dochází v blízkosti dvou multiferoických (tj. magnetických a zároveň feroelektrických) fázových přechodů, kde se objevují nové spinové excitace citlivé na magnetické pole (obr. 13). Jejich aktivace ve spektrech je spojená s úbytkem síly oscilátoru nízkofrekvenč-

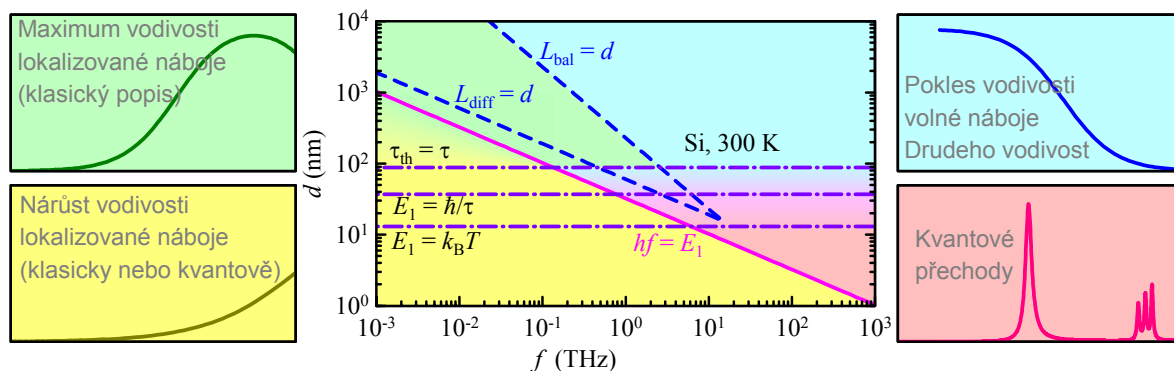


■ Obr. 14 Teplotní závislosti frekvencí hlavních excitací v krystalech SBN. Vystínované oblasti vyjadřují chyby v určení frekvence v mikrovlnné spektrální oblasti.

ních polárních fononů. Jedná se tedy o tzv. elektromagnony, jež jsou projevem dynamické magnetoelektrické vazby.

Mezoskopická polarizační dynamika ve wolframovém bronzu $(\text{Sr}_x\text{Ba}_{1-x})\text{Nb}_2\text{O}_6$

Studovali jsme vysokofrekvenční dielektrickou odezvu krystalů jednoosého tetragonálního wolframového bronzu $(\text{Sr}_x\text{Ba}_{1-x})\text{Nb}_2\text{O}_6$ s různými poměry Sr/Ba za úče-



■ **Obr. 15** Čtyři režimy odezvy nábojů v nanokrystalech křemíku o velikosti d na měřící frekvenci f při pokojové teplotě: Drudeho vodivost (modrá), maximum klasické vodivosti (zelená), monotónní Drude-Smithův režim (žlutá) a kvantové přechody (červená).

lem pochopení vývoje relaxační dynamiky v okolí ferroelektrického fázového přechodu [4-13]. Ukázali jsme, že dielektrická odezva ve směru polární osy sestává ze tří relaxací, které jsou spojeny s polarizačními mechanismy souvisejícími s mezoskopickým uspořádáním na vzdálenost několika korelačních délek (desítky až stovky nanometrů). Na rozdíl od jiných ferroelektrických materiálů jsou tyto relaxace spojeny s dvěma různými ferroelektrickými subsystemy v krystalové struktuře. Odlišné vlastnosti a chování těchto relaxací (obr. 14) poukazují na koexistenci dvou mechanismů fázové transformace: displacivního mechanismu a mechanismu uspořádání–neuspořádání.

Jednotný pohled na dynamickou odezvu nositelů náboje v nanostrukturách

Vytvořili jsme komplexní přehled transportu a dynamiky nositelů náboje v terahertzovém režimu v nanostrukturách konvenčních polovodičů a v karbonových nanomateriálech (grafen, uhlíkové nanotrubic). Klasifikovali jsme existující režimy terahertzové odezvy, rozřídili jsme současné mikroskopické modely se zahrnutím klasických i kvantových přístupů a poskytli jednotnou představu chování nábojů lokalizovaných v nanostrukturách (obr. 15).

Literatura

[1-12] K. Tesar, I. Gregora, P. Beresova, P. Vanek, P. Ondrejko-
vic, J. Hlinka, Sci. Rep. **9**, 9385 (2019).
[2-12] V. Novotná, V. Hamplová, L. Lejček, D. Pociacha, M.
Cigl, L. Fekete, M. Glogarová, L. Bednářová, P. Ma-
jewski, E. Gorecka, Nanoscale Adv. **1**, 2835 (2019).
[3-13] S. Kamba, V. Goian, F. Kadlec, D. Nuzhnyy, C. Kadlec, J.
Vít, F. Borodavka, I. S. Glazkova, A. A. Belik, Phys. Rev.
B **99**, 184108 (2019).

[4-13] E. Buixaderas, M. Kempa, Š. Svirskas, C. Kadlec, V.
Bovtun, M. Savinov, M. Paściak, J. Dec, Phys. Rev. B
100, 184113 (2019).

[5-13] P. Kužel, H. Němec, Adv. Opt. Mater. **7**, 1900623 (2019).

2.2.3 Výzkum ve společných a centrálních laboratořích

Centrální laboratoře FZU umístěné v sekci SAFMAT-FUNBIO, LEM, ROTAN, SLMS, GDOES a Oddělení chemie, v nichž jsou umístěna nákladná experimentální zařízení pro charakterizaci materiálů, dále rozvíjely svoje experimentální možnosti a metody a prováděly měření pro výzkumné skupiny FZU i mimo FZU. Zvýšila frekvence využívání služeb laboratoří LEM, Funbio-SAFMAT a GDOES, což se projevilo zvýšeným počtem výsledků a publikací využívajících experimentální vybavení a metody v těchto laboratořích. Laboratoře LEM a SLMS jsou podporované v rámci podpory velkých výzkumných infrastruktur LNSM a MGML.

V laboratoři Rotan pokračoval výzkum v oblasti charakterizace povrchů titanových slitin upravených metodou iontové implantace ve spolupráci s Fakultou strojní ČVUT. Na významu nabyla též napěťová charakterizace perovskitových ferroelektrických vrstev ve spolupráci se sekci Optiky, která se zaměřuje na ovlivňování dielektrických vlastností těchto vrstev heteroepitaxi indukovaným mechanickým napětím v nich [1]. Současně probíhal i výzkum doménové struktury ferroelektrik s použitím synchrotronového záření a vývoj laboratorních experimentálních metod pro orientaci krystalů a měření přednostní orientace.

V laboratoři elektronové mikroskopie LEM probíhala spolupráce jak s výzkumnými týmy FZU, zvláště sekce Fyziky kondenzovaných látek, tak s externími výzkumníky z jiných výzkumných ústavů. Jednalo se zejména o mikrostrukturní a mikromechanickou charakterizaci kovů a kovových slitin – NiTi, Fe, Ni-n-Ga, Cu-Ni-Al, AlSi₃Cu₃Fe, TiN.

Ve spolupráci s Českou zemědělskou univerzitou v Praze bylo zkoumáno nanočásticové železo s nulovou valencí pro sanaci kontaminovaných půd [2]. Ve spolupráci s Ústavem termomechaniky AV ČR byly zkoumány Pt/PtOx nanočástice připravené jiskrovým výbojem pro využití v palivových člancích pro vodíkové technologie [3].

V laboratoři GDOES se prováděly analýzy kovů, slitin a tenkých vrstev v rámci spolupráce s jinými skupinami FZÚ i s externími výzkumníky z jiných výzkumných ústavů. Šlo o analýzu slitin TiAl6V4, AlZr2.6Ti0.7, nečistot v čistém železe a wolframu [4] a CrNi oceli s vysokým obsahem bóru. Dále o diamantové vrstvy legované bórem, vrstvy amorfního uhlíku s příměsí přechodových kovů, o PVD vrstvy RhSbMn, W-B-C [5], plazmou stříkané vrstvy NiTi a o hloubkové profily materiálu TiNb35Zr7Ta5 implantovaného dusíkem [6]. Kromě toho pokračoval vlastní výzkum excitačních mechanismů v doutnavém výboji, v jehož rámci byla podrobně analyzována spektra Fe I a Fe II [7].

V roce 2019 začala pracovat laboratoř Materials Growth & Measurement Laboratory (MGML), společné pracoviště MFF UK a FZÚ AVČR, na čtyři roky financovaná z rozpočtu Ministerstva školství. Do laboratoře MGML přešla Společná laboratoř magnetických studií. Hlavním posláním MGML je poskytnout široké vědecké komunitě jedinečné možnosti komplexních experimentálních studií široké sbírky fyzikálních jevů a vlastností dobře definovaných materiálů v různých vnějších podmínkách. Hlavním strategickým cílem MGML je zaručení excelence infrastruktury v mezinárodním měřítku. MGML se skládá ze dvou úzce spolupracujících jednotek: Laboratoř růstu a charakterizace materiálů (MGCL) a Laboratoř měření vlastností materiálů (MPML). MGML nabízí externím uživatelům otevřený přístup pro měření bohatého spektra fyzikálních vlastností materiálů v širokém rozsahu teplot, magnetických a elektrických polí a hydrostatických jednoosých tlaků. Technologická zařízení MGML umožňují řízenou přípravu a charakterizaci vysoce kvalitních vzorků (monokrystalů a polykrystalů) materiálů různých typů, které jsou dostupné uživatelům, kteří nemají vlastní dobře charakterizované vzorky potřebné pro měření. Výzkumní pracovníci, kteří mají zájem o použití přístrojů MGCL a MPML, podávají prostřednictvím portálu experimentální návrhy, které schvaluje rada laboratoře.

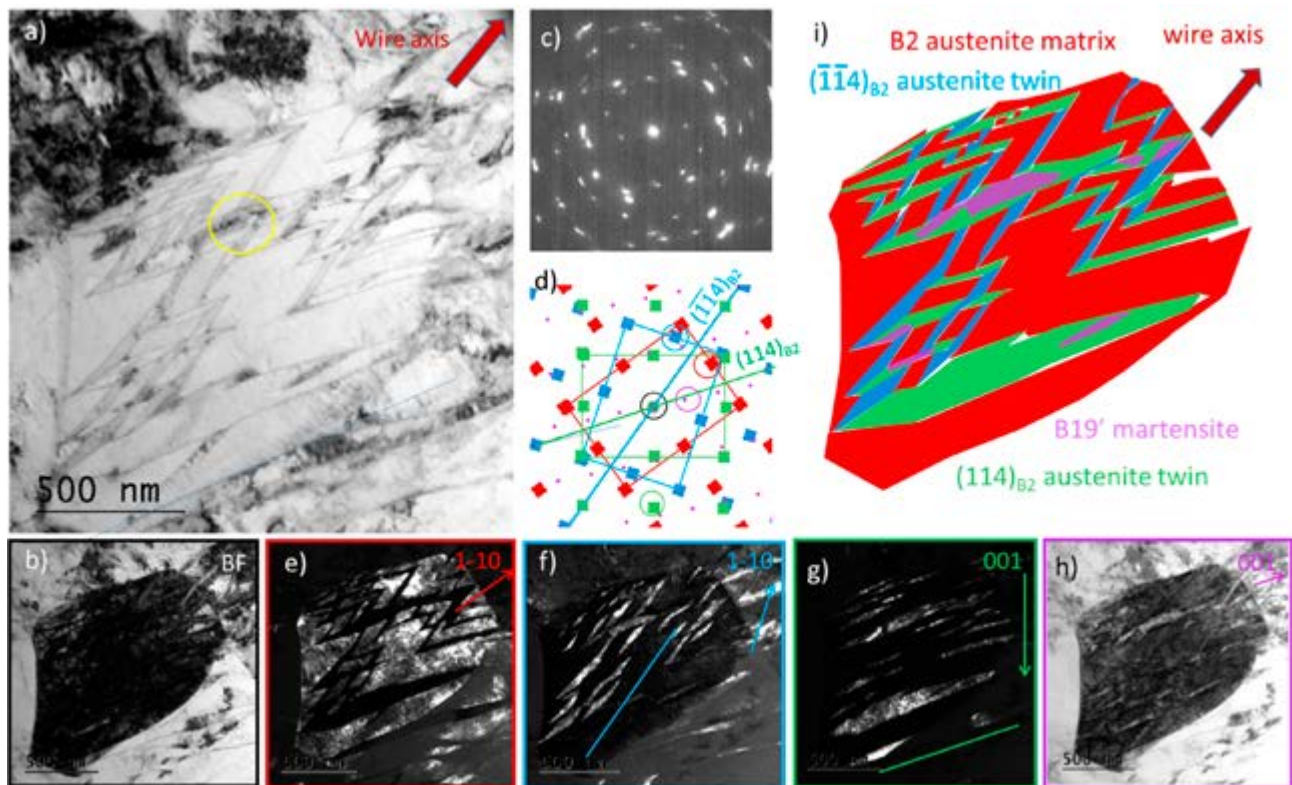
Oddělení chemie zajišťuje expertní práce ze všech chemických oborů, které jsou prováděny v návaznosti na požadavky jednotlivých výzkumných oddělení FZU. Vedle toho oddělení jsou umístěny technologické skupiny zabývající se přípravou materiálů zkoumaných v jiných odděleních FZU a dále analytická laboratoř provádějící rozbor anorganických i organických materiálů. Vlastní výzkum

provádíme v oblasti samospořádávajících se organických materiálů. Zabýváme se návrhem a přípravou nových typů těchto materiálů, jejichž kapalně krystalické vlastnosti jsou pak studovány v oddělení dielektrik. Ve spolupráci s oddělením optických krystalů vyvíjíme technologie přípravy nových typů monokrystalů a polykrystalů využitelných jako detektory záření, lasery, scintilátory a luminofoxy. Cílem je ladit detailní složení materiálů tak, aby bylo dosaženo požadovaných optických charakteristik.

Laboratoř analytické chemie se zabývá vývojem metod rozkladů a stanovení obsahu jednotlivých prvků v málo běžných a atypických anorganických materiálech, které jsou aktuálně studovány v ústavu. V oblasti analýzy organických látek se využívá NMR spektrometrie k určování struktury složitých organických materiálů a vysoce účinná kapalinová chromatografie k ověřování čistoty nově připravených materiálů.

Literatura

- [1] M. Tyunina, O. Pacherova, J. Perantie, M. Savinov, M. Jelinek, H. Jantunen, A. Dejneka: "Perovskite ferroelectric tuned by thermal strain", *Sci. Reports* **9**, (2019) 3677
- [2] S. Wu, T. Cajthaml, J. Semerád, A. Filipová, M. Klementová, R. Skála, M. Vítková, Z. Michálková, M. Teodoro, Z. Wu, D. Martínez-Fernández, M. Komárek: "Nano zero-valent iron aging interacts with the soil microbial community: a microcosm study". *Environ. Sci.: Nano* **6**, (2019) 1189
- [3] T. Němec, J. Šonský, J. Gruber, E. de Prado, J. Kupčík, M. Klementová: "Platinum and platinum oxide nanoparticles generated by unipolar spark discharge". *Journal of Aerosol Science* **141**, (2020) 105502
- [4] J. Matějček, M. Vilémová, J. Veverka, J. Kubásek, F. Lukáč, P. Novák, D. Preisler, J. Stráský, Z. Weiss: "On the Structural and Chemical Homogeneity of Spark Plasma Sintered Tungsten", *Metals* **9**, (2019) 879
- [5] M. Krokera, Z. Czigány, Z. Weiss, M. Fekete, P. Souček, K. Balácsi, V. Sochora, M. Jílek, P. Vašina: "On the origin of multilayered structure of W-B-C coatings prepared by non-reactive magnetron sputtering from a single segmented target", *Surf. Coat. Technol.* **377**, (2019) 124864
- [6] P. Vlčák, J. Fojta, Z. Weiss, J. Kopeček, V. Perina: "The effect of nitrogen saturation on the corrosion behaviour of Ti-35Nb-7Zr-5Ta beta titanium alloy nitrided by ion implantation", *Surf. Coat. Technol.* **358**, (2019) 144
- [7] Z. Weiss: "Excitation and ionization of iron in argon and neon glow discharges: towards the true picture", *Spectrochim. Acta Part B* **158**, (2019) 105637



■ Obr. 16 Mikrostruktura tenkého vlákna NiTi deformovaného do 18% deformace a ohřátého na 200 °C pozorovaná v transmisním elektronovém mikroskopu obsahuje austenitická $\{114\}$ dvojčata [3].

2.2.4 Fázové transformace ve slitinách s tvarovou pamětí

Martenzitické transformace ve slitině NiTi

Jedinečné termomechanické vlastnosti slitin s tvarovou pamětí jako jev tvarové paměti, superelasticitu nebo schopnost vyvolat sílu a mechanický pohyb jsou odvozené od martenzitické fázové transformace. Mezi v současné době známými slitinami s tvarovou pamětí jsou nejvýznamnější a komerčně nejúspěšnější slitiny NiTi, vykazující velké vratné deformace několika procent při napětích do 1 GPa a teplotách do 100 °C vyvolané martenzitickou transformací z kubické B2 do monoklinické B19' struktury. V předchozích letech jsme objasnili důvody, proč slitina NiTi ztrácí své jedinečné vlastnosti při překročení výše uvedených limitů. V roce 2019 jsme pokračovali v tomto výzkumu a publikovali výsledky série experimentů na tenkých vláknech NiTi s cíleně připravenou mikrostrukturou [1-5] zahrnující přehled deformačního chování vláken s různou mikrostrukturou v širokém teplotním oboru [1,5], vysvětlení mechanismu dlouhých superelastických plat [2], vysvětlení vratné deformace a roli deformačního dvojčatění v martenzitu při velké plastické deformaci do 50% [3,4] a představení $B2 \Rightarrow B19' \Rightarrow B2T$ transformace při deformaci za zvýšených teplot a napě-

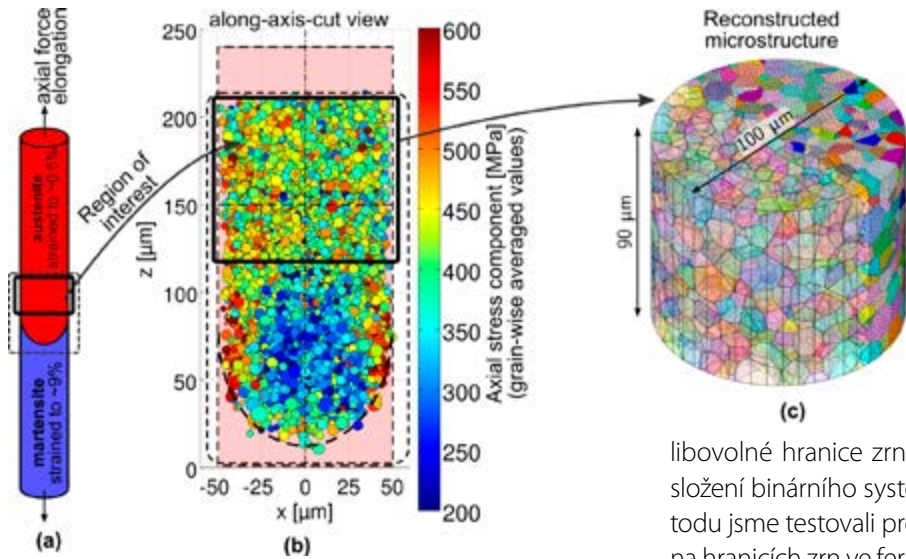
tí [5]. Ve výzkumu jsme použili novou metodu studia poruch v deformovaných materiálech NiTi pomocí transmisní elektronové mikroskopie [2,3,4]. Články získaly významný ohlas v literatuře (mají 10-20 citací již v roce 2020).

Simulace deformačních procesů v polykrystalech

Skupina FMC, vedle pokračujícího výzkumu martenzitických transformací, začala rozvíjet oblast mikromechanických simulací deformačních procesů v polykrystalických materiálech. Výchozím bodem pro tyto simulace jsou modely polykrystalických agregátů, které jsou statisticky reprezentativní vzhledem k reálným materiálům. Ve spolupráci s matematiky z MFF UK a Univerzity v Ulmu jsme vyvinuli algoritmy pro rekonstrukci statisticky reprezentativních modelů pomocí Laguerrových mozaik [6] (obr. 17) na základě experimentálně zjištěných parametrů morfologie získaných pomocí metody 3D rentgenové difrakce (3D-XRD) (obr. 17b).

Materiály s řízenou mikrostrukturou

Ve skupině MCM jsme se zaměřili na tři hlavní problémy: (i) segregace příměsí na hranicích zrn; (ii) vývoj a vlastnosti biodegradabilních slitin na bázi zinku; a (iii) vztah mezi strukturou a vlastnostmi v materiálech připravených aditivními metodami (3D tisk).



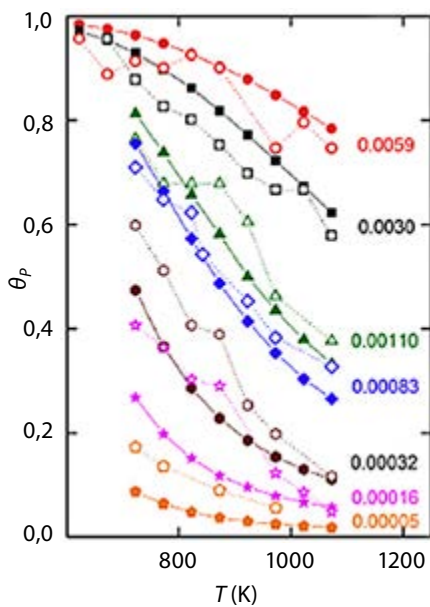
■ Obr. 17 Příklad statisticky ekvivalentního modelu polykrystalického vzorku (c) zrekonstruovaného pomocí Laguerrových mozaik pomocí experimentálních dat získaných použitím metody 3D-XRD (b), který byl proveden na vzorku namáhaném vnějším tahovým napětím (a).

Segregace příměsí na hranicích zrn je důležitým jevem, který na jedné straně může vést k fatální degradaci materiálu interkrystalickým křehkým lomem, na druhé straně ale pomáhají stabilizovat nanokrystalické struktury. Protože data o segregaci příměsí publikovaná v literatuře nejsou kompletní, navrhli jsme metodu pro jednoduché určení tří základních termodynamických parametrů segregace příměsí na hranicích zrn, tj. standardní entalpie, standardní entropie a interakčního parametru. Na základě znalosti hodnot těchto parametrů jsme schopni určit složení

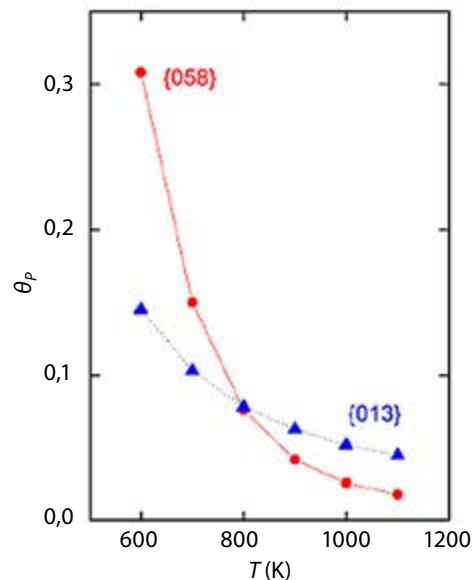
libovolné hranice zrn při zvolené teplotě a objemovém složení binárního systému s reálným chováním. Tuto metodu jsme testovali pro případ segregace různých příměsí na hranicích zrn ve feritickém železe. Ukazuje se, že střední odchylka ve složení hranic zrn mezi skutečností a předpovědí je 1 at.%, což je srovnatelné s chybou experimentu [7].

V souvislosti s touto předpovědí jsme ukázali, že entropie je nejen nezanedbatelným faktorem při správném určení složení hranic zrn, ale že je i principiálně důležitým parametrem, který ovlivňuje chování materiálů. Změny entropie se změnou struktury hranic zrn totiž kompenzují změny entalpie, které odrážejí změnu struktury hranic, což se projeví např. reverzí obrazu anizotropie chemického složení hranic zrn, jak je patrné z obr. 19 [8].

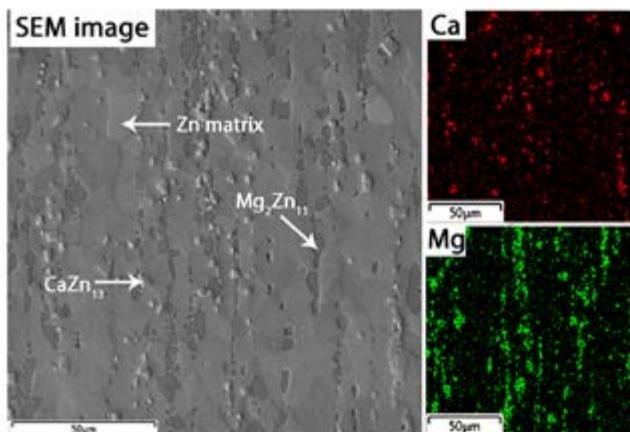
Biodegradabilní slitiny zinku jsou primárně zamýšleny pro využití v medicíně jako fixace zlomenin, které se v průběhu času v těle rozpustí, čímž se vyloučí jinak nutná



■ Obr. 18 Srovnání vypočtených hodnot koncentrace fosforu v polykrystalickém feritickém železe s experimentálními daty z literatury (H. Erhart, H.J. Grabke, *Met. Sci.* 15 (1981) 401). Prázdné symboly a tečkované čáry představují experimentální závislost, plné body a čáry jsou předpověď. Data u jednotlivých závislostí udávají objemové koncentrace fosforu.



■ Obr. 19 Teplotní závislost koncentrace fosforu na hranicích zrn {013} (trojúhelníky + tečkovaná čára) a {058} (kolečka + plná čára) ve feritickém železe. Data: P. Lejček, S. Hofmann, *J. Phys. Condens. Matter* 28 (2016) 064001.

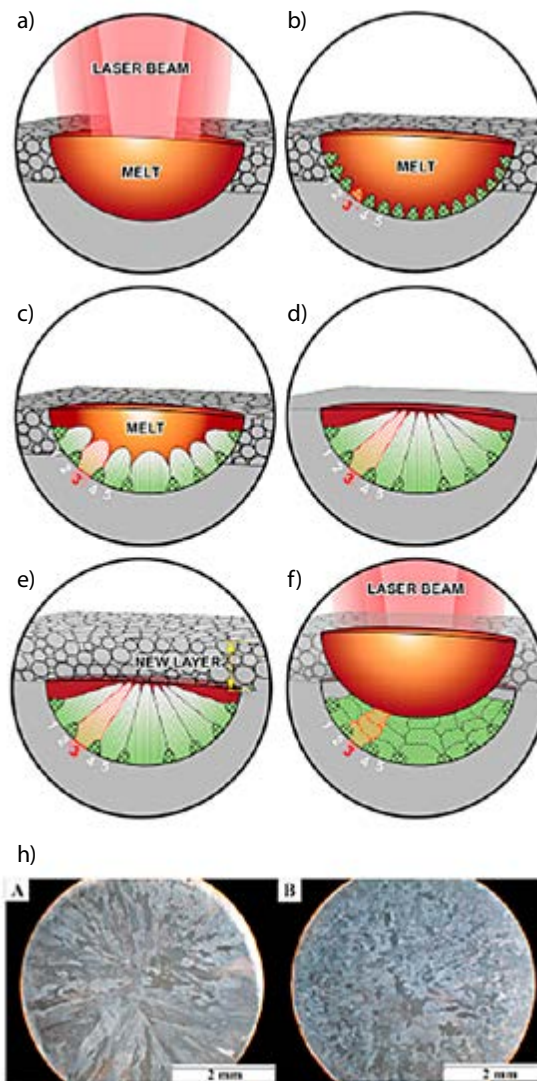


■ Obr. 20 Mikrostruktura (a) a mapa prvkového rozložení (Ca, Mg) slitiny $ZnMg_{0,8}Ca_{0,2}$ extrudované při 300 °C. Směr extruze vertikální.

další operace pro jejich vyjmutí. Velmi slibným materiálem pro tyto aplikace je vedle hořčíku zinek. My jsme se zaměřili na výzkum slitiny zinku s hořčíkem a vápníkem, která by měla mít vhodné mechanické a korozní (rozpuštěcí) vlastnosti. U slitiny zinku s 0,8% hořčíku a 0,2% vápníku jsme kompletně popsali mikrostrukturu po různém tepelně mechanickém zpracování (obr. 20) a odpovídající tvrdost. Výsledky ukázaly, že slitina vykazuje anizotropii mechanických vlastností, což se projevuje zejména u materiálu připraveného silnou extruzí [9].

Důležitou vlastností biodegradabilních slitin jsou biologické charakteristiky a korozní vlastnosti. Protože je zinek základním materiálem v námi studovaných materiálech, studovali jsme tyto charakteristiky na plazmaticky nanesených vrstvách. Ukázali jsme, že zinek vykazuje přijatelnou korozní rychlost a vynikající životnost testovacích buněk murine L929. Také jsme ukázali, že plazmatický nástřík lze použít jako nový způsob přípravy porézních součástí, čímž lze modulovat rozpouštění součástí [10].

Aditivní příprava (3D tisk) složitých a jinak nevyrobitelných tvarů resp. materiálů s unikátními vlastnostmi je velice slibná technologie pro produkci menších speciálních součástí. Přestože je tato technologie již prakticky využívána zejména v medicíně a na technicky aplikovatelné materiály, je třeba se věnovat i modelovým záležitostem, abychom pochopili procesy, které v materiálech probíhají. V tomto smyslu jsme se zabývali vývojem mikrostruktury čistého železa vyrobeného selektivním tavením pomocí laseru (SLM). Ukázali jsme, že takto vyrobený materiál vykazuje hierarchickou strukturu – malé buňky v řádu nanometrů, které jsou odděleny dislokačními stěnami, jsou obsaženy v subzrnech vzájemně oddělených malouhlovými hranicemi. Subzrna dále tvoří zrna o velikosti v řádu mikrometrů ohraničená velkouhlovými hranicemi. Dále jsme na základě opakované α - γ transformace

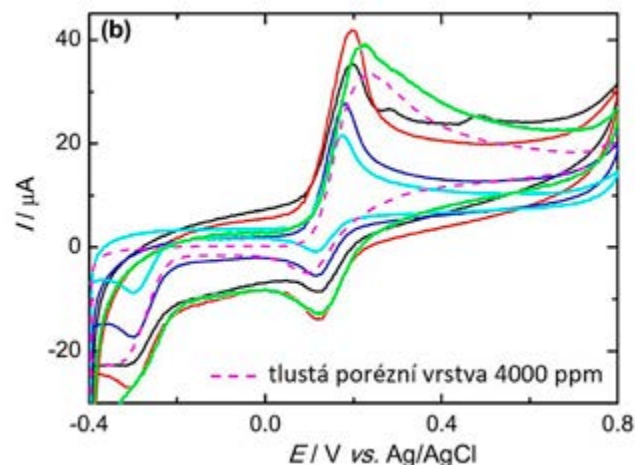
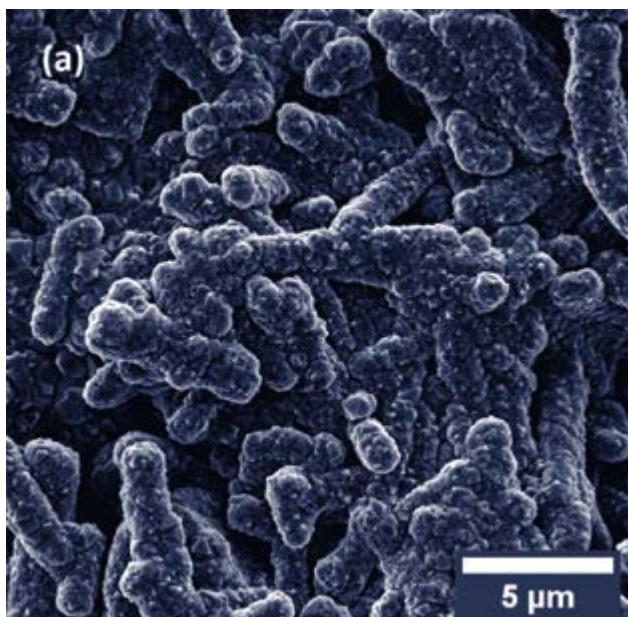


■ Obr. 21 Model tuhnutí roztaveného bazénku. (a) Bazének s roztaveným Fe, (b) nukleovaná zrna s rozdílnými orientacemi, (c) výběrový růst několika zrn s vhodnou orientací ve směru tuhnutí, (d) zatumlý bazének s převahou kolumnárních zrn, (e) nanesení nového prášku, (f) částečné roztavení původního bazénku a rozbití kolumnárních zrn v neroztavené části díky α - γ transformaci.

vysvětlili vývoj mikrostruktury a tvorbu rovnoosých zrn (obr. 6), která spolu svírají specifické disorientace (teorie Kurdjumova a Sachse) [11].

CVD diamantové vrstvy

Výzkum v oblasti diamantových vrstev pokračoval s cílem optimalizovat růst dopovaných epitaxiálních diamantových vrstev pomocí standardní chemické depozice z par plynů v mikrovlnném plazmatu (MWPECVD) pro jejich potenciální použití v elektronice [12]. Dále jsme studovali syntézu nanokrystalického diamantu (NCD) při



nízkých teplotách v mikrovlnném systému MWPECVD s lineární anténou pro výrobu a studium chemických [13] a biologických [14] sensorů. Obzvláště byly vyvinuty nové kompozitní vrstvy diamant/karbid křemíku s tvrdostí srovnatelnou s vrstvami NCD, ale s vynikající trvanlivostí [15]. Nově vyvinuté nanostrukturované porézní bórem dopované diamantové vrstvy byly úspěšně použity pro (i) regeneraci novorozeneých a dospělých neuronů po funkcionalizaci poly-L-lysinem [16] a (ii) detekci dopaminu s detekčním limitem 0,21 $\mu\text{mol.L}^{-1}$ (obr. 22) [17].

Výzkum v laboratoři FUNBIO-SAFMAT

Laboratoř FUNBIO-SAFMAT pokračovala v servisním výzkumu pro týmy z FZU úspěšně rozvinuté v předchozích letech. Byly publikovány výsledky studia kompozitních vrstev diamantu a SiC i bórem dopované vrstvy porézního diamantu pro detekci dopaminu [15,17]. Pro studium feromagnetických tvarových pamětí byly připraveny mikropilířky ze slitiny Ni-Mn-Ga a byla prokázána aktuace magnetickým polem do frekvencí 1 kHz [18]. Pomocí fokusovaného iontového svazku jsou připravovány hroty pro AFM a prováděny další mikroskopická pozorování a analýzy [19]. Ve spolupráci s centrem HiLASE byly studovány hydrofobické a superhydrofobické povrchy připravené laserovým opracováním hliníkových slitin [20,21].

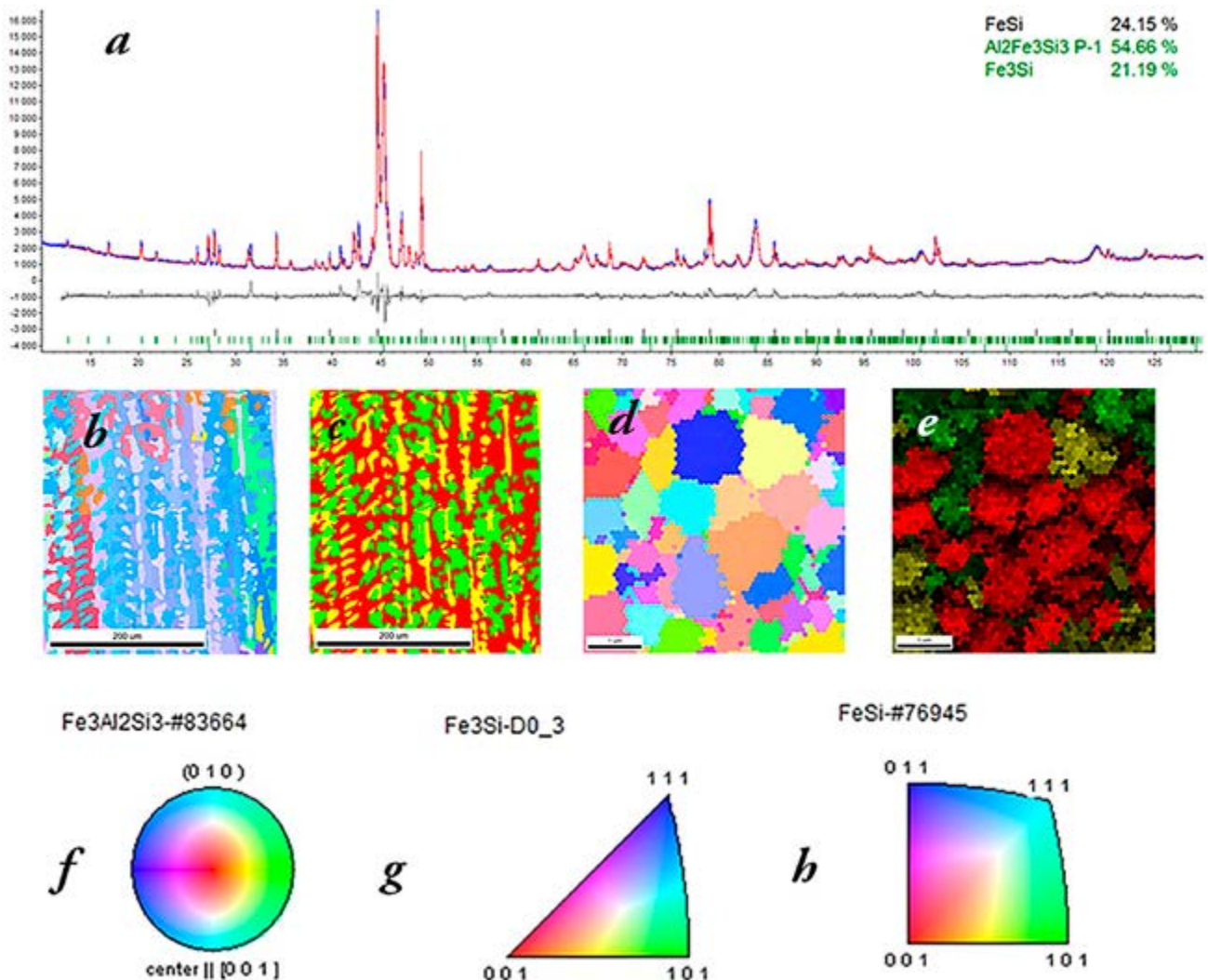
Vlastní výzkum pracovníků laboratoře spočíval ve studiu systému Fe-Al-Si, jehož fázové složení je komplikované a při konvenční přípravě je mikrostruktura nehomogenní a náchylná k růstu velkých zrn intermetalických fází. Slitina s 20 hm. % Al i Si obsahuje tři krystalografické fáze, z nichž jedna je triklinická a další dvě kubické. Možnost získat homogenní mikrostrukturu nabízejí metody

■ Obr. 22 (a) Snímky ze skenovacího elektronového mikroskopu porézních BDD vrstev vypěstovaných s poměrem $B/C = 4000 \text{ ppm}$; (b) Cyklické voltamogramy 1 mmol L_1 dopaminu v 0,1 mol L_1 fosfátového pufru pH 7,4 naměřené na deponovaných (a) plochých BDD a (b) porézních BDD filmech s různým poměrem B/C [17].

práškové metalurgie, v tomto případě spark-plasma sintering (SPS). Výsledná mikrostruktura je pak sice jemná, avšak ne zcela rovnovážná. Systém tak představuje výzvu pro studium zejména mechanických vlastností [22]. Určení fázového složení a jeho potvrzení metodou difrakce zpětně odražených elektronů (EBSD) vyžadovalo značné úsilí, včetně přípravy referenčních vzorků konvenčním tavením, určení fázového složení takových vzorků pomocí práškové rentgenové difrakce (obr. 23) a následné korelace se vzorky připravenými metodou SPS [23].

Literatura

- [1] Y. Chen, O. Tyc, O. Molnářová, L. Heller, P. Šittner, Tensile deformation of superelastic NiTi wires in wide temperature and microstructure ranges, *Shape Memory and Superelasticity* **5** (2019) 42-62, <https://doi.org/10.1007/s40830-018-00205-2>
- [2] Y. Chen, O. Tyc, L. Kadeřávek, O. Molnářová, L. Heller, P. Šittner, Temperature and microstructure dependence of localized tensile deformation of superelastic NiTi wires, *Materials & Design* **174** (2019) 107797, <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2019.107797>
- [3] Y. Chen, O. Tyc, L. Kadeřávek, O. Molnářová, L. Heller, P. Šittner, Recoverability of large strains and deformation twinning in martensite during tensile deformation of NiTi shape memory alloy polycrystals, *Acta Materialia* **180** (2019) 243-259, <https://doi.org/10.1016/j.actamat.2019.09.012>



Obr. 23 Slitina FeAl₂₀Si₂₀ (hm. %). a) Difrakční záznam na prášku z referenční slitiny připravené obloukovým tavením obsahuje tři fáze: FeSi, Fe₃Si a Fe₃Al₂Si₃. b) orientační mapa získaná metodou EBSD z referenčního vzorku; c) rozložení fází v tomto vzorku: žlutá FeSi, zelená Fe₃Si a červená Fe₃Al₂Si₃; d) EBSD orientační mapa ze vzorku připraveného metodou SPS; e) fázové složení vzorku připraveného metodou SPS, barevné kódování je obdobné jako v případě vzorku připraveného obloukovým tavením; barevné kódování orientací mříže inverzních pólových obrazců: f) Fe₃Al₂Si₃; g) Fe₃Si a h) FeSi.

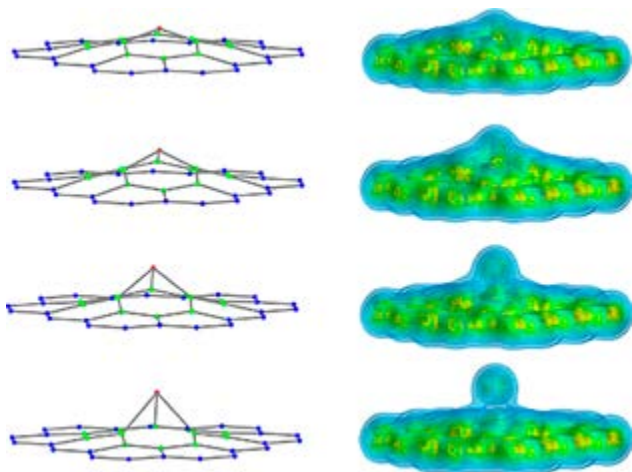
- [4] P. Šittner, O. Molnářová, L. Kadeřávek, O. Tyc, L. Heller, Deformation twinning in martensite affecting functional behavior of NiTi shape memory alloys *Materialia* **9** (2020)100506, <https://doi.org/10.1016/j.mtl.2019.100506> Get rights and content
- [5] P. Šittner, L. Heller, P. Sedlák, Y. Chen, O. Tyc, O. Molnářová, L. Kadeřávek, H. Seiner B2 ⇒ B19' ⇒ B2T Martensitic Transformation as a Mechanism of Plastic Deformation of NiTi Shape Memory and Superelasticity **5**(2019), 383-396 <https://doi.org/10.1007/s40830-019-00250-5>
- [6] L. Petrich, J. Staněk, M. Wang, D. Westhoff, L. Heller, P. Šittner, CE Krill, V. Benes, V. Schmidt Reconstruction of Grains in Polycrystalline Materials From Incomplete Data Using Laguerre Tessellations. *Microsc. Microanal.* **25**(2019)743–752 (2019), DOI: <https://doi.org/10.1017/S1431927619000485>.
- [7] P. Lejček, S. Hofmann, Modeling grain boundary segregation by prediction of all necessary parameters, *Acta Materialia* **170** (2019) 253-267. <https://doi.org/10.1016/j.actamat.2019.03.037>
- [8] P. Lejček, S. Hofmann, V. Paidar, The significance of entropy in grain boundary segregation, *Materials* **12** (2019) 492. doi: 10.3390/ma12030492
- [9] J. Čapek, J. Kubásek, J. Pinc, J. Maňák, O. Molnářová, J. Drahokoupil, M. Čavojský, ZnMg0.8Ca0.2 (wt%) biodegradable alloy – The influence of thermal treatment and extrusion on microstructural and mechanical characteristics, *Materials Characterization* **162** (2020) 110230. <https://doi.org/10.1016/j.matchar.2020.110230>

- [10] J. Čapek, J. Pinc, Š. Msallamová, E. Jablonská, P. Veřtát, J. Kubásek, D. Vojtěch, Thermal plasma spraying as a new approach for preparation of zinc biodegradable scaffolds: A complex material characterization, *Journal of Thermal Spray and Technology* **28** (2019) 826-841. <https://doi.org/10.1007/s11666-019-00849-1>.
- [11] P. Lejček, M. Roudnická, J. Čapek, D. Dvorský, K. Dra-hokoupil, D. Šimek, J. Čížek, P. Svora, O. Molnárová, D. Vojtěch, Selective laser melting of pure iron: Multi-scale characterization of hierarchical structure, *Materials Characterization* **154** (2020) 222-232. <https://doi.org/10.1016/j.matchar.2019.05.012>
- [12] V. Mortet, L. Drbohlavova, N. Lambert, A. Taylor, P. Ashcheulov, M. Davydova, J. Lorincik, M. Aleshin, and P. Hubik, Conductivity of boron-doped diamond at high electrical field, *Diam. Relat. Mater.* **98**, 107476 (2019), DOI: 10.1016/j.diamond.2019.107476.
- [13] A. Laposa, J. Kroutil, M. Davydova, A. Taylor, J. Voves, L. Klimša, J. Kopeček, and M. Husak, Inkjet Seeded CVD-Grown Hydrogenated Diamond Gas Sensor Under UV-LED Illumination, *IEEE Sens. J.* **20**, 1158 (2020), DOI: 10.1109/JSEN.2019.2946947.
- [14] L. Drbohlavová, L. Fekete, V. Bovtun, M. Kempa, A. Taylor, Y. Liu, O. Bou Matar, A. Talbi, and V. Mortet, Love-wave devices with continuous and discrete nanocrystalline diamond coating for biosensing applications, *Sensor Actuat. A-Phys.* **298**, 111584 (2019), DOI: 10.1016/j.sna.2019.111584.
- [15] A. Taylor, L. Klimša, J. Kopeček, Z. Remeš, M. Vronka, R. Čtvrtlík, J. Tomáščík, and V. Mortet, Synthesis and properties of diamond - silicon carbide composite layers, *J. Alloys Compd.* **800**, 327 (2019), DOI: 10.1016/j.jallcom.2019.06.016.
- [16] J. Krůšek, I. Dittert, T. Smejkalová, M. Kořínek, K. Got-friedová, H. Freislebenová, E. Neuhöferová, L. Klimša, S. Sedláková, A. Taylor, V. Mortet, V. Petrák, V. Benson, and V. Petráková, Functionalization of Planar Nano-crystalline and Porous Nanostructured Diamond to Form an Interface with Newborn and Adult Neurons, *Phys. Status Solidi B* **256**, 1800424 (2019), DOI: 10.1002/pssb.201800424.
- [17] S. Baluchová, A. Taylor, V. Mortet, S. Sedláková, L. Klimša, J. Kopeček, O. Hák, and K. Schwarzová-Pecková, Porous boron doped diamond for dopamine sensing: Effect of boron doping level on morphology and electrochemical performance, *Electrochim. Acta* **327**, 135025 (2019), DOI: 10.1016/j.electacta.2019.135025.
- [18] D. Musiienko, A. Saren, L. Straka, M. Vronka, J. Kopeček, O. Heczko, A. Sozinov, K. Ullakko, Ultrafast actuation of Ni-Mn-Ga micropillars by pulsed magnetic field, *Scripta Mat.* **162** (2019) 482-485, DOI: [j.scriptamat.2018.12.009](https://doi.org/10.1016/j.scriptamat.2018.12.009)
- [19] T. Chutora, B. de la Torre, P. Mutombo, J. Hellerstedt, J. Kopeček, P. Jelínek, M. Švec, Nitrous oxide as an effective AFM tip functionalization: a comparative study, *Beilstein J. Nanotechnol.*, **10** (2019) 315–321, DOI:10.3762/bjnano.10.30
- [20] R. Jagdheesh, P. Hauschwitz, J. Mužík, J. Brajer, D. Rostohar, P. Jiříček, J. Kopeček, T. Mocek, Non-fluorinated superhydrophobic Al7075 aerospace alloy by ps laser processing, *Appl. Surf. Sci.*, **493** (2019) 287-293, DOI: 10.1016/j.apsusc.2019.07.035
- [21] P. Hauschwitz, R. Jagdheesh, D. Rostohar, J. Brajer, J. Kopeček, P. Jiříček, J. Houdková, T. Mocek, Nanostructure fabrication on the top of laser-made micropillars for enhancement of waterrepellence of aluminium alloy, *Materials Letters*, **256** (2019) 126601 – 1-4, doi: 10.1016/j.matlet.2019.126601
- [22] F. Průša, J. Šesták, A. Školáková, P. Novák, P. Haušild, M. Karlík, P. Minárik, J. Kopeček, F. Laufek, Application of SPS consolidation and its influence on the properties of the FeAl20Si20 alloys prepared by mechanical alloying, *Mat. Sci. Eng. A*, **761** (2019) 138020 – 1-20, DOI: 10.1016/j.msea.2019.06.030
- [23] J. Kopeček, F. Laufek, M. Karlík, P. Haušild, J. Čech, A. Školáková, K. Nová, B. Severa, J. Šesták, P. Novák, F. Průša, Ternary Fe-Al-Si Alloys Prepared by Mechanical Alloying and spark Plasma Sintering, *Microsc. Microanal.*, **25** (2019) 2618-2619, DOI: 10.1017/S1431927619013825

2.2.6 Teorie kondenzovaného stavu

Transportní vlastnosti slitin mnoha kovových prvků

Slitiny obsahující více kovů s přibližně stejným zastoupením představují velmi zajímavou skupinu materiálů. Díky vysoké konfigurační entropii jsou to neuspořádané tuhé roztoky s unikátními vlastnostmi (vysoká pevnost, tvrdost a odolnost vůči opotřebení i korozi), které si zachovávají i za vysokých teplot. Mají též zajímavé elektrické a magnetické vlastnosti, kterým byla doposud věnována jen okrajová pozornost. U slitin $Al_xCrFeCoNi$ ($0 < x < 2$) se v závislosti na koncentraci hliníku mění krystalová struktura (od kubické plošně centrované k prostorově centrované) a spolu s ní i fyzikální vlastnosti. Naše práce je jedna z prvních teoretických studií, které pro slitiny $Al_xCrFeCoNi$ na základě výpočtů z prvních principů určují jejich elektronovou a magnetickou strukturu, jejich vodivost a magnetické transportní vlastnosti [TR1]. Ukázali jsme, že chemická neuspořádanost je hlavní příčinou rozptylu



■ **Obr. 24** Grafénová membrána postupně deformována až na hranici odtržení centrálního atomu, na který působí vnější síla (okrajové atomy jsou fixovány). Vlevo jsou znázorněny pozice atomových jader, vpravo mapa elektronové hustoty [TR2].

elektronů. Námi vypočtené hodnoty dobře souhlasí s experimentálními výsledky.

Vývoj výpočetních metod pro popis elektronové struktury

V rámci dlouhodobého vývoje nových metod a nástrojů pro výpočty elektronových stavů a vlastností neperiodických struktur – vycházejících z prvních principů kvantové teorie a využívajících metody konečných prvků pro řešení Kohn-Shamových rovnic – byla v roce 2019 implementována nová metoda pro výpočet sil působících na jádra atomů (Hellmann-Feynmanových sil) [TR2]. Tato metoda odstraňuje numerické potíže dříve navržených postupů, což přispívá k podstatnému zvýšení přesnosti výpočtu sil a současně k významnému snížení výpočetní náročnosti.

Implementovanou metodu jsme aplikovali na problém deformace grafénových membrán. V našem modelovém případě (obr. 24) je centrální atom membrány vychýlen o určitou vzdálenost ve směru kolmém k rovině membrány a pozice tří nebo dvanácti okolních atomů jsou optimalizovány tak, aby síly na ně působící byly v rovnováze. Následně je spočtena síla působící na centrální vychýlený atom.

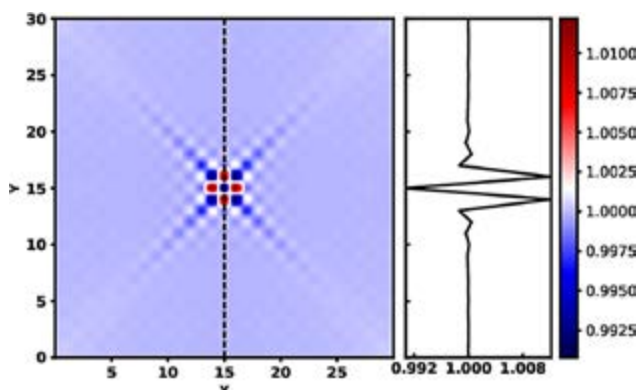
Výpočty tohoto typu slouží mimo jiné pro propojení ab initio výpočtů (tedy výpočtů, které nezahrnují žádné podstatné empiricky motivované aproximace) s molekulární dynamikou. Zatímco ab initio výpočty jsou vhodné pro přesné vyčíslení vlnových funkcí elektronových stavů v menších a jednodušších strukturách, molekulární dynamika na bázi silových interakčních potenciálů

používá zjednodušený popis interakcí mezi atomy, díky čemuž je výpočetně mnohem méně náročná a lze ji aplikovat i na velmi rozsáhlé a komplikované struktury. Hellmann-Feynmanovy síly slouží ke konstrukci zmíněných silových interakčních potenciálů. Tím je doplněn chybějící mezičlánek pro propojení obou metod, umožňující výpočty mechanických vlastností velmi komplexních struktur.

Friedelovy oscilace v modelech s korelovanými elektrony

Nabitě nečistoty v kovech způsobují prostorové oscilace elektronové hustoty, které jsou důsledkem rozptylu vodivostních elektronů na těchto nečistotách (obr. 25). Jedná se o kvantově mechanický jev, který je přímo pozorovatelný pouze při velmi nízkých teplotách. Je nazýván Friedelovy oscilace podle francouzského fyzika Jacquese Friedela, který je předpověděl v roce 1952. Friedelovy oscilace byly experimentálně pozorovány o mnoho let později, začátkem devadesátých let, s pomocí řádkovacího tunelovacího mikroskopu na površích kovů a polovodičů v okolí bodových poruch krystalové mřížky a v okolí adsorbovaných atomů.

Podrobně jsme studovali, jak jsou Friedelovy oscilace ovlivněny, pokud jsou z nějakého důvodu zesíleny korelací mezi vodivostními elektrony v kovu. Pro tento účel jsme využili nehomogenní Hubbardův model kovu, který jsme řešili v přiblížení dynamického středního pole, s nímž máme mnohaleté zkušenosti. Ukázali jsme, že Friedelovy oscilace jsou korelacemi tlumeny a podle očekávání zcela vymizí, pokud jsou korelace natolik silné, že způsobí fázový přechod z korelovaného kovu do Mottova izolantu [TR3]. Zbývá prověřit, jestli a případně jak se demonstro-



■ **Obr. 25** Friedelovy oscilace elektronové hustoty v dvojrozměrném Hubbardově modelu. Elektricky nabitá nečistota je umístěna uprostřed zobrazeného čtverce. Tmavě červená oblast označuje nejvyšší a tmavě modrá nejnižší elektronovou hustotu [TR3].

vané tlumení Friedelových oscilací odráží v transportních vlastnostech kovů s nečistotami.

Proudění koloidních roztoků v kapilárách

Proudění hustých koloidních roztoků kapilárami o průměru několika mikronů je důležité jak pro technické, tak pro lékařské aplikace. Klasickým příkladem je krev tekoucí ve vlasečnicích. Jednou ze zásadních otázek je, jak separovat koloidní částice různé velikosti a typu. Zatímco v případě krve se jedná o oddělení různých typů krevních buněk (včetně těch patologických), v technických aplikacích jde zejména o separaci koloidních částic podle velikosti pro jejich využití v dalších procesech.

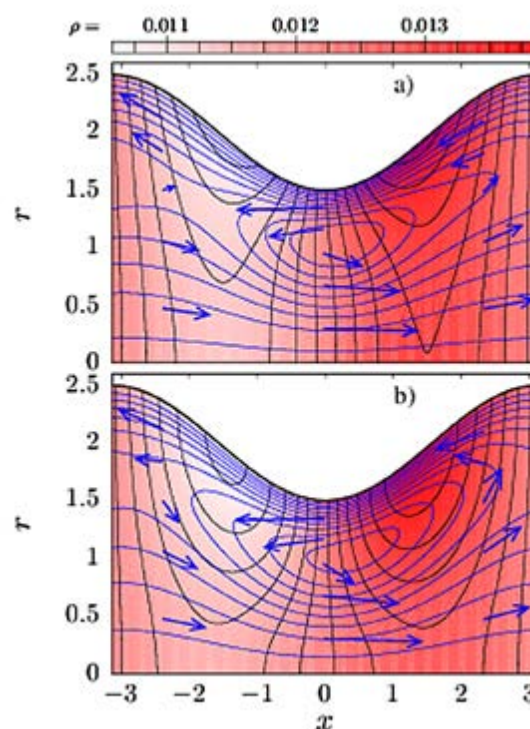
Tyto jevy jsme vyšetřovali teoreticky [TR4]. Použili jsme analytické metody zahrnující exaktní projekce do nízkorozměrných systémů a mocinné rozvoje v malém parametru charakterizujícím geometrii. Kapiláry, které jsme vyšetřovali, měly tvar trubice s periodicky proměnným průměrem. Zjistili jsme, že proudění koloidů pod vlivem elektrostatického pole a v kapilárách umístěných do ultraodstředivky má velmi netriviální charakter (obr. 26). Naše teoretické metody poskytují dobrý odhad separační kapacity zařízení postavených na tomto principu.

Optická odezva polovodičových nanostruktur

Elektromagnetické záření je možné generovat na některých frekvencích jednodušeji a efektivněji než záření z jiných frekvenčních rozsahů. Frekvenční násobiče založené na polovodičových supermřížkách lze využít k přeměně snadno získatelných frekvencí na ty, které jsou jinak generovatelné jen obtížně nebo pro ně neexistují vůbec žádné zdroje. V naší studii jsme určili účinnost takovýchto polovodičových násobičů při generování frekvencí využitelných pro detekci nežádoucích plynů v prostředí, případně pro medicínskou diagnózu založenou na analýze dechu [TR5]. Analyzovali jsme vstupní frekvence a výstupní výkony dosažitelné v zařízeních natolik kompaktních, aby byla prakticky použitelná za běžných pokojových podmínek. Naše studie je významná i z koncepčního hlediska, neboť se zabývá i obecnými otázkami nelineární optiky v rozsahu gigahertzů a terahertzů.

Literatura

- [TR1] J. Kudrnovský, V. Drchal, F. Máca, I. Turek, S. Khmelevskiy, Electron transport in high-entropy



■ **Obr. 26** Proudění koloidního roztoku v jedné prostorové periodě zvlněné trubice. Souřadnice podél osy trubice je x , ve směru kolmém na osu je r . Proudnice a šipky znázorňují směr a rychlost pohybu koloidní částice. Barevný odstín vyjadřuje hustotu pravděpodobnosti výskytu částice v daném místě. Panely a) a b) představují výsledky v prvním a druhém řádu mocinného rozvoje v malém parametru [TR4].

alloys: $\text{Al}_x\text{CrFeCoNi}$ as a case study, Phys. Rev. B **100**, 014441 (2019), 10.1103/PhysRevB.100.014441

- [TR2] M. Novák, J. Vackář, R. Cimrman, Evaluating Hellmann–Feynman forces within non-local pseudopotentials, Comput. Phys. Comm. **250**, 107034 (2020), 10.1016/j.cpc.2019.107034
- [TR3] B. Chatterjee, J. Skolimowski, K. Makuch, K. Byczuk, Real-space dynamical mean-field theory of Friedel oscillations in strongly correlated electron systems, Phys. Rev. B **100**, 115118 (2019), 10.1103/PhysRevB.100.115118
- [TR4] F. Slanina, P. Kalinay, Hydrodynamic separation of colloidal particles in tubes: Effective one-dimensional approach, Phys. Rev. E **100**, 032606 (2019), 10.1103/PhysRevE.100.032606
- [TR5] A. Apostolakis, M. F. Pereira, Potential and limits of superlattice multipliers coupled to different input power sources, J. of Nanophotonics **13**, 036017 (2019), 10.1117/1.JNP.13.036017



2.3 Sekce fyziky pevných látek v roce 2019

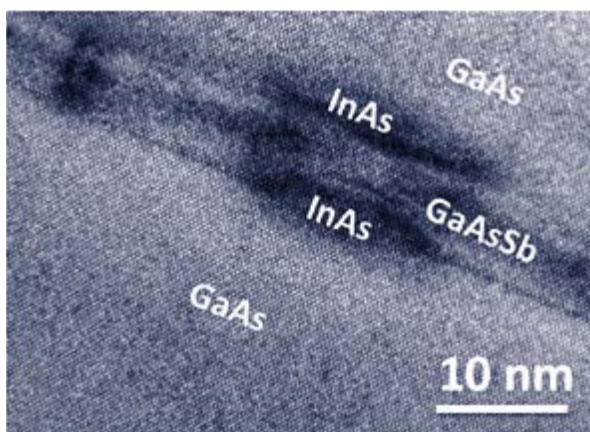
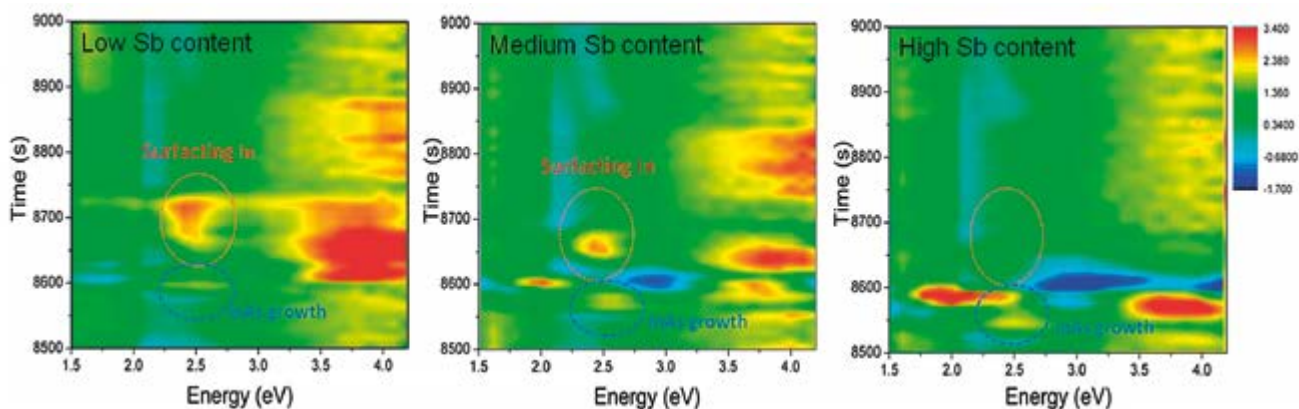
Sekce fyziky pevných látek integruje vědecké obory a buduje unikátní analytické a technologické zázemí potřebné k výzkumu pevných látek ze všech aspektů, od teoretických základů po aplikace. Jedním z našich nejpokročilejších témat je spintronika s dlouhodobým cílem vylepšení výkonu počítačů do bodu, který umožní realizovat například umělé neuronové sítě. Dalšími významnými tématy jsou nanoelektronika, molekulární elektronika a nanodiagnostika, s vizí vývoje kvantových celulárních automatů a nových metod řízení jejich elektronických vlastností pomocí samoorganizovaných vrstev. V oblasti výzkumu termoelektrických jevů směřujeme ke konstrukci tzv. spin-kalorimetrických prvků, které mohou otevřít cestu k plnému zvládnutí fotodynamické a fototermální terapie vhodné pro medicínské postupy. V oblasti vývoje detektorů se zaměřujeme na nanomorfologické, nanokompozitní a hybridní scintilační a fosforové materiály, které sdružují několik funkcí při detekci a monitorování ionizujícího záření a svazků nabitých částic a neutronů a jdou nad limity klasických objemových materiálů. Další důležitou oblastí je zlepšování technologií růstu dokonalých křemíkových a diamantových vrstev a struktur důležitých pro vývoj optoelektronických prvků, biosenzorů a aktuátorů. Moderní materiálový výzkum s sebou nese také potřebu zkoumání vlastností látek za extrémních podmínek a s tím souvisejícího vývoje nových analytických metod zaměřených na strukturní analýzu projevů hmoty na úrovni nanokystalů s vizí aplikace elektronové difrakční tomografie na oblast charakterizace nestabilních materiálů.

Výzkum sekce je organizačně a tematicky rozdělený do šesti oddělení, která se zabývají fyzikou polovodičů, spintronikou a nanoelektronikou, strukturní analýzou, magnetikami a supravodiči, tenkými vrstvami a nanostrukturami a optickými materiály. Činnost jednotlivých oddělení v roce 2019 je podrobněji popsána v následujících šesti kapitolách. V dalším odstavci zmiňujeme několik výsledků, které v rámci sekce Fyziky pevných látek považujeme za zvláště významné.

V roce 2019 jsme dosáhli milníku ve vývoji metod strukturní analýzy z elektronové difrakce, kdy se poprvé podařilo stanovit touto metodou absolutní konfiguraci organické molekuly. Významného pokroku bylo dosaženo ve výzkumu perovskitových solárních článků, kde byl objasněn jeden z mechanismů, kterými v těchto článcích mohou vznikat defekty, a byla poprvé prokázána obecná platnost souvislosti mezi Urbachovou energií a ztrátami na solárních článcích. V oblasti spintroniky se podařilo vyvinout a na materiálu Mn_3Sn otestovat laboratorní mikroskopickou techniku, která, na rozdíl od běžných magnetických mikroskopických metod, umožňuje zobrazit antiferomagnetické domény. Dále byl publikován souhrnný článek popisující hlavní principy, dosažené výsledky a očekávaný budoucí rozvoj oboru tzv. relativistické spintroniky. Ve výzkumu fotofyziky organických molekul na povrchích byla rozvinuta technika elektroluminiscence měřené s atomárním rozlišením, kde jsme studovali roli stavu hrotu ve fotonových mapách fotoemitoru - ftalocyaninu zinku ($ZnPc$). V oblasti přípravy nových nanomateriálů se podařilo připravit nanokompozit typu TiO_2 /nanodiamant pro rychlou dekontaminaci chemických bojových látek a toxických průmyslových sloučenin na bázi organofosfátů.

2.3.1 Fyzika polovodičů

Těžisko výzkumu v oddělení polovodičů spočívá tradičně v přípravě a charakterizaci polovodičových struktur připravených metodou organokovové epitaxe (MOVPE). V minulém roce došlo k útlumu aktivit spojených s výzkumem kvantových teček (QW) na bázi $InAs/GaAs$, přičemž výzkum byl uzavřen přehledovou publikací [1]. Hlavním výzkumným směrem tak zůstala, v rámci projektu OP-PK LABONIT, příprava a charakterizace nitridových heterostruktur pro pokročilé scintilátory a transistory typu HEMT. Kromě těchto aktivit probíhal souběžně ve spolupráci s dalšími pracovišti (FZU, UFCHJH, UFP) experimentální výzkum transportních vlastností různých materiálů, převážně polovodičů. Ve sku-



■ **Obr. 27** Průběh epitaxního růstu zaznamenaný metodou RAS, který dokládá plavání In atomů na epitaxním povrchu během růstu a tvoření další roviny „nezáměrných“ kvantových teček při překrytí InAs-QW pomocí vrstvy GaAsSb. Závěry z měření RAS potvrzuje i obrázek získaný pomocí HRTEM.

pině teorie jsme pak řešili aktuální problémy nerovnovážného transportu v nano-strukturách a biosystémech.

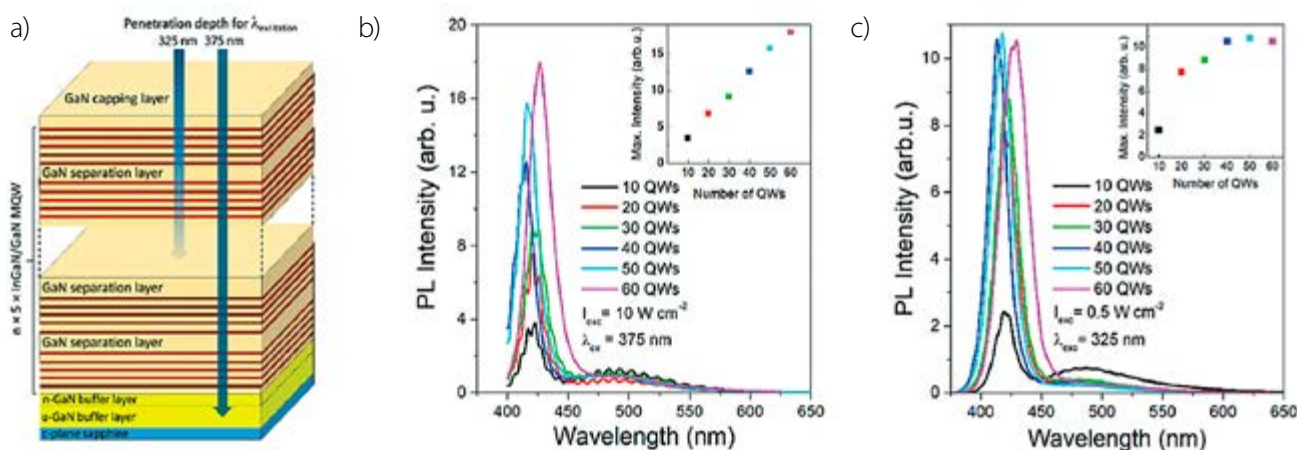
Mnohaleté zkušenosti týmu technologické laboratoře oddělení polovodičů s přípravou kvantových teček metodou MOVPE jsou shrnuty v kapitole 6 souborné monografie [1], která se zabývá kvantovými tečkami zabudovanými do heterostruktur na bázi polovodičů AIII-BV. Kromě vlastní přípravy kvantových teček typu InAs/GaAs se zde obšírněji věnujeme souvislosti mezi jejich technologickými parametry a luminiscenčními vlastnostmi, příp. morfologií. Zvláštní pozornost byla věnována krycím vrstvám kvantových teček, které významně ovlivňují jejich výsledné vlastnosti. Studovali jsme např. vliv technologie růstu krycích vrstev z GaAs, InGaAs a GaAsSb na luminiscenční vlastnosti takto modifikovaných struktur. Prokázali jsme tak, že překryv vrstvou GaAsSb může vést až ke vzniku heterostruktury II. typu, vhodné pro využití v detektorech a solárních článcích. Dále jsme ukázali, jakým způsobem a na kterých vlnových délkách lze pomocí metody reflektanční anizotropické spektroskopie (RAS) během růstu účinně monitorovat genezi překryvu kvantových teček. Získané poznatky byly dodatečně ověřeny pomocí metody HRTEM (obr. 27).

V závěru řečené kapitoly byl ještě posouzen aplikační potenciál zabudovaných kvantových teček pro různé technické účely, jako jsou např. luminiscenční diody, la-

sery a optické zesilovače pro světlovedné komunikace, jednofotonové zdroje světla, detektory, fotočlánky s vysokými nároky na účinnost, paměti, nebo tranzistory řízené polem, u kterých lze pomocí vnitřního pnutí zvýšit mobilitu nosičů náboje v kanálu.

Do okruhu prací realizovaných v roce 2019 v rámci projektu OP-PK LABONIT patří např. publikace [2] o mnohonásobných kvantových jámách (MQWs) InGaN/GaN, které jsou potenciálními kandidáty na superychlou scintilaci. Vzhledem k tomu, že ionizující záření je zpravidla hluboce pronikající, je u těchto scintilátorů pro dostatečnou účinnost excitace nutné zvládnout přípravu extrémně tlusté aktivní oblasti. Postupně se nám podařilo vypěstovat struktury InGaN/GaN MQW s nejvyššími počty kvantových jam doposud publikovanými v literatuře (100 QWs). Ukázali jsme, že se zvýšeným počtem QW se luminiscenční účinnost celé struktury zvyšuje, pokud dochází k excitaci všech QWs. Důvodem zvýšené účinnosti luminiscence je dostatečná velikost V-pitů ve strukturách s vyšším počtem QW potlačující nežádavou rekombinaci. (V-pit je útvar ve tvaru dutého jehlanu s šestiúhelníkovou základnou prorůstající epitaxní strukturou.) Takové potlačení nežádavé rekombinace v blízkosti dislokací pomocí V-pitů bylo prokázáno měřením katodoluminiscence při různých akceleračních napětích. Na druhou stranu jsme ukázali, že pro V-pity větší než je jejich optimální velikost může dojít ke snížení intenzity fotoluminiscence (PL) v důsledku silné koalescence V-pitů, která byla pozorována pro struktury s 60 a 70 QWs. Pro další zvýšení tloušťky aktivní oblasti (MQW) bude proto nutné najít způsob technologické kontroly velikosti V-pitů.

Z měření excitačně emisních map jsme ukázali, že 362 nm je nejúčinnější vlnovou délkou pro buzení InGaN/GaN



■ Obr. 28 Schéma scintilační heterostruktury (a) a fotoluminiscenční (PL) spektra pro struktury s různým počtem kvantových jam při buzení 375 nm ((b) - excitována je celá heterostruktura) a 325 nm ((c) - excitováno je jen 10 QW u povrchu).

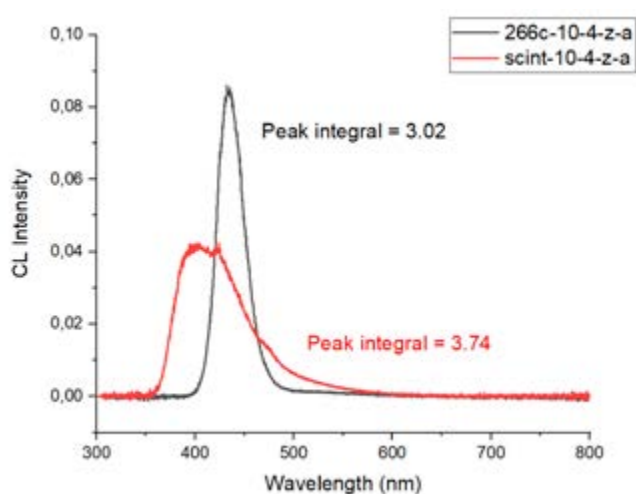
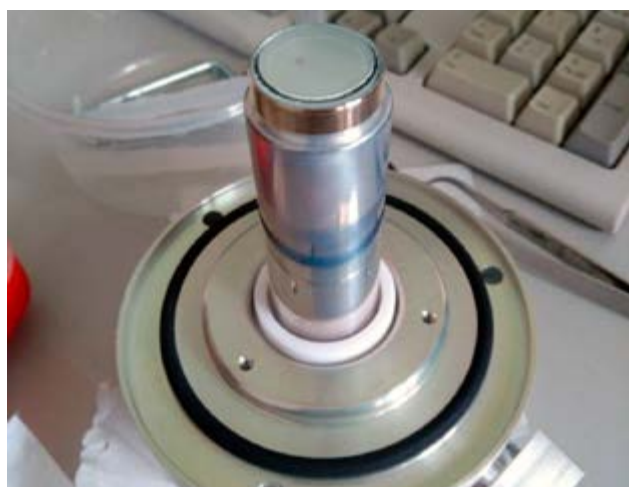
MQWs (obr. 28). Dále jsme prokázali, že slabý luminiscenční pás na delších vlnových délkách (~ 500 nm) pochází dominantně ze spodních QWs ve struktuře, kde je nejvíce defektů a kde dochází také k silnější nežářivé rekombinaci.

Se zvyšujícím se počtem QW je tak excitonová luminiscence z QW výrazně zvýšena, zatímco luminiscence defektního pásu je naopak potlačena. Časově rozlišená měření s měkkou rentgenovou excitací potvrdila náš závěr, že nežářivá rekombinace pro struktury s vyšším počtem QW je potlačena, došlo ke zvýšení doby života z 0,25 ns pro strukturu s 10 QW na 1,1 ns pro strukturu s 60 QW. Naše výsledky prokazují vhodnost mnohonásobných kvantových struktur na bázi InGaIn/GaN pro přípravu velmi efektivních scintilátorů.

Tato skutečnost byla mimo jiné ověřena i přímo v praxi. Jedna z našich standardně připravených struktur byla vytvářována a umístěna do elektronového mikroskopu (SEM) na místo původního komerčního scintilátoru (obr. 29). Ukázalo se, že katodoluminiscenční (CL) signál ziska-

ný pomocí naší struktury poskytoval kontrastnější obraz a vykazoval i lepší dynamiku snímání CL signálu (viz také porovnání CL spekter na obr. 29).

Z vedlejších aktivit pracovníků oddělení polovodičů je třeba zmínit organizaci prestižní mezinárodně uznávané konferenční série FQMT (IC Frontiers of Quantum and Mesoscopic Thermodynamics, viz fqmt.fzu.cz, a fqmt.fzu.cz/19), jejíž již sedmé pokračování proběhlo právě v minulém roce (2019). Pořádání této výlučně pražské konference zajišťuje její trvalý předseda programového a organizačního výboru kolega V. Špička spolu s dalšími spolupracovníky z oddělení polovodičů. Během let se náplň konference významně měnila, takže poslední konference měly výrazně multidisciplinární charakter tematicky sahající od kvantové fyziky, kvantové termodynamiky až k biofyzice nebo astronomii a kosmologii. Pečlivě volený atraktivní program postupně přilákal mnohé významné vědce, takže např. loňská konference hostila mezi svými účastníky čtyři nositele Nobelovy ceny (W. Ketterle, W.



■ Obr. 29 Příruba do SEM se světlovodem, na níž byl pracovníky oddělení (F. Hájek, F. Dominec) implementován scintilátor vlastní provenience. Graf ukazuje srovnání CL spekter komerčního (červený) a našeho (černý) scintilátoru.

Phillips, G.'t Hooft, R. Weiss) a řadu dalších vědců celosvětové proslulosti (např. F. Capasso, P. Hänggi, W. Schleich, M. Scully, V. Bagnato, D. Bouwmeester, A. Caldeira, P. Hořava, H. Dittus). Mezi nejvíce diskutovaná témata patřily nerovnovážené jevy v mezoskopických, biologických a dalších otevřených systémech. Množství příspěvků s praktičtější zaměřením bylo věnováno také transportu v nanostrukturách, problematice molekulárních motorů, a využití supravodivosti, příp. tzv. „single-electron devices“ pro pokročilé počítače. V silně zastoupené sekci kvantové optiky pak byly řešeny otázky spojené zejména s kvantovým zpracováním informace („quantum computing“). V teoreticky zaměřených přednáškách byly již tradičně rozebírány základy kvantové fyziky a kvantové termodynamiky, stochastické elektrodynamiky, fyziky chladných atomů a fundamentální problémy kosmologie. Pracovníci oddělení polovodičů pak přednesli v příslušných sekcích se zájmem přijaté příspěvky o významu flukтуаčně-disipativního teorému při studiu nerovnovážených dynamických soustav a o možné úloze extracelulární tkáně při zpracování informace v biologických neuronových sítích.

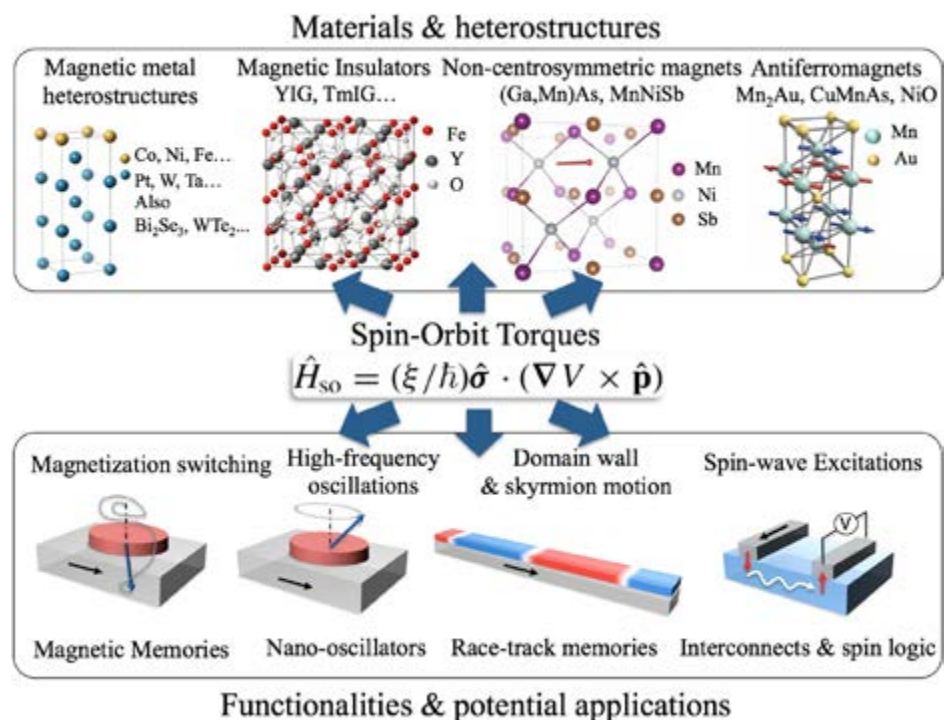
Literatura

- [1] E. Hulicius, A. Hospodková, M. Zíková: *Quantum dots in: Metalorganic Vapor Phase Epitaxy (MOVPE); Growth, Materials Properties*, Ed.: Stuart Irvine, Peter Capper, Wiley Series in Materials for Electronic & Optoelectronic Applications, 2019 (Chapter 6, pp. 175–216).
- [2] T. Hubáček, A. Hospodková, K. Kuldová, J. Oswald, J. Pangrác, V. Jarý, F. Dominec, M. Slavická Zíková, F. Hájek, E. Hulicius, A. Vetushka, G. Ledoux, Ch. Dujardin, M. Nikl: "Advancement toward ultra-thick and bright InGaN/GaN structures with a high number of QWs". *CrystEngComm* **21**, 356–362 (2019).

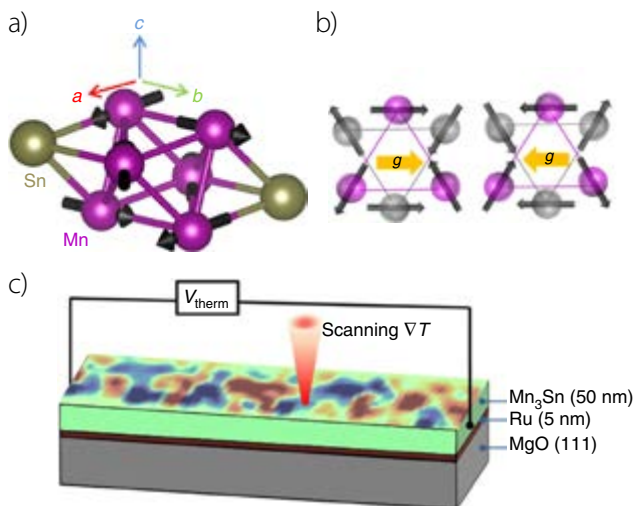
2.3.2 Spintronika a nanoelektronika

Oddělení spintroniky se zabývá studiem spinové závislosti jevů v nanostrukturách založených na polovodičích a kovech se silnou relativistickou spin-orbitální interakcí. Hlavní těžiště výzkumu skupiny je v současné době v oblasti spintroniky založené na materiálech s komplexním magnetickým uspořádáním včetně antiferomagnetů. Mezi desítkami pozvaných příspěvků na mezinárodních konferencích v Evropě, Americe a Japonsku přednesli členové skupiny vědecké přednášky na sympoziu „Czech Republic as Guest of Honor“ výroční konference Německé fyzikální společnosti a na Gordonovské konferenci o spinové dynamice, přednášky pro studenty na Evropské škole magnetismu a populární přednášky na SingularityU Summit a Mezinárodním veletrhu elektroniky. Kromě toho také uspořádali mezinárodní workshop o antiferomagnetické spintronice se stovkou účastníků z prestižních laboratoří z Evropy i zámoří.

Mezi klíčové práce skupiny patří vydání rozsáhlého přehledového článku o elektrickém ovládní feromagnetů a antiferomagnetů pomocí relativistických spin-orbitálních polí [1] (obr. 30). Před patnácti lety skupina poukázala na možnost, že se některé nemagnetické materiály mohou začít chovat magneticky, pokud jimi prochází elektrický proud. Objev tohoto kvantově relativistického jevu následně vedl k vývoji nové vysoce efektivní metody elektrického zápisu informace pro aplikace v oblasti magnetických paměťových čipů. V nedávné době obdobný princip rovněž



■ Obr. 30 Přehled materiálů, funkcionalit a aplikací relativistické spintroniky.



■ **Obr. 31** (a) Krystalová a nekolineární antiferomagnetická struktura materiálu Mn_3Sn . (b) Magnetická struktura opačně orientovaných antiferomagnetických domén. (c) Mikroskopie antiferomagnetických domén.

přivedl skupinu k úspěšným pokusům, ve kterých rozšířila magnetické materiály potenciálně vhodné pro konstrukci paměti z feromagnetů do běžnějších antiferomagnetů. Souhrnný článek popisuje hlavní principy, dosažené výsledky a očekávaný budoucí rozvoj celého tohoto oboru tzv. relativistické spintroniky, a to jak z pohledu základního fyzikálního výzkumu, tak i aplikací v mikroelektronice.

K dalším původním výsledkům skupiny patří mikroskopické zobrazení a zápis magnetických domén v nekolineárním antiferomagnetu Mn_3Sn [2] (obr. 31). Detailní výzkum antiferomagnetických domén brzdila jejich neviditelnost běžnými magnetickými mikroskopickými metodami. V této práci skupina vyvinula dostatečně citlivou laboratorní techniku kombinující far-field a near-field skenovací optickou mikroskopii s detekcí pomocí lokálních termoelektrických efektů. Mezi další oblasti vědeckého zájmu skupiny pak patří topologické jevy v komplexních magnetech. Rozpětí témat, kterými se zabývá, je velmi široké, od studia topologických magnetických textur ve formě skyrmionů [3] až po koncept detekce temné hmoty pomocí axionových topologických antiferomagnetů [4].

Literatura

- [1] A. Manchon, I.M. Miron, T. Jungwirth, J. Sinova, J. Zelezný, A. Thiaville, K. Garello, P. Gambardella: "Current-induced spin-orbit torques in ferromagnetic and antiferromagnetic systems". *Rev. Mod. Phys.* 91 (2019) 035004(1)–035004(80).
- [2] Helena Reichlova, Tomas Janda, Joao Godinho, Anastasios Markou, Dominik Kriegner, Richard Schlitz,

Jakub Zelezny, Zbynek Soban, Mauricio Bejarano, Helmut Schultheiss, Petr Nemeč, Tomas Jungwirth, Claudia Felser, Joerg Wunderlich, Sebastian T. B. Goennenwein: "Imaging and writing magnetic domains in the non-collinear antiferromagnet Mn_3Sn ". *Nature Commun.* 10 (2019) 5459(1)–5459(6).

- [3] Ulrike Ritzmann, Stephan von Malottki, Joo-Von Kim, Stefan Heinze, Jairo Sinova and Bertrand Dupé: "Trochoidal motion and pair generation in skyrmion and antiskyrmion dynamics under spin-orbit torques". *Nature Electron.* 1 (2019) 451–457.
- [4] David J. E. Marsh, Kin Chung Fong, Erik W. Lentz, Libor Šmejkal, Mazhar N. Ali: "A Proposal to Detect Dark Matter Using Axionic Topological Antiferromagnets". *Phys. Rev. Lett.* 123 (2019) 121601(1)–121601(7).

2.3.3 Strukturální analýza

Oddělení strukturální analýzy se zabývá stanovením atomární a magnetické struktury krystalických látek a vývojem souvisejících výpočetních metod. Experimenty jsou založeny na datech z rentgenové, elektronové a neutronové difrakce. Pro první dva typy dat jsou využívány přístroje laboratoře ASTRA, která byla vybudována v roce 2015 za podpory operačního programu Praha Konkurenceschopnost CZ.2.16/3.1.00/24510 a její provoz je podporován národním programem udržitelnosti NPU I – LO1603.

V uplynulém roce se podařilo významně rozšířit přístrojovou základnu oddělení. Z prostředků dotace AV ČR byl zakoupen a instalován nový **elektronový mikroanalýzátor JXA-8230** od firmy JEOL (obr. 32), který nahradil dosluhující mikrosondu v celoústavní Laboratoři elektronové mikroanalýzy. Přístroj slouží pro kvalitativní a kvan-



■ **Obr. 32** Elektronový mikroanalýzátor JXA-8230 od firmy JEOL



■ Obr. 33 Skupina elektronové difrakce u nově instalovaného elektronového mikroskopu FEI Tecnai G2 20

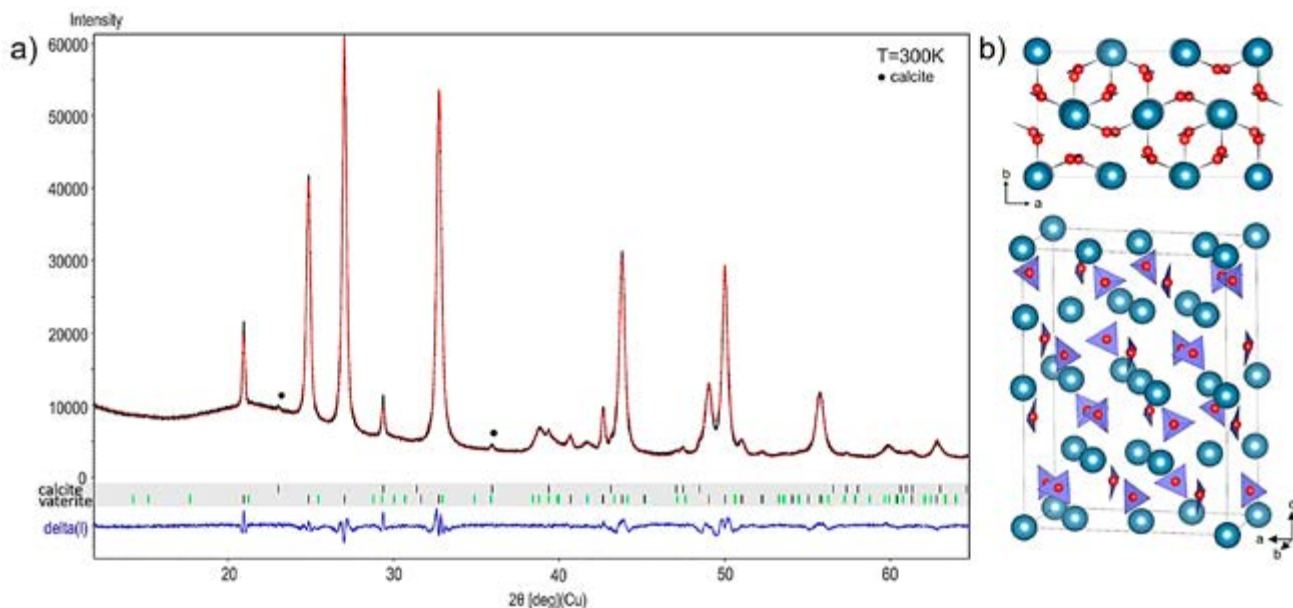
tativní prvkovou analýzu pevných látek s prostorovým rozlišením cca $1 \mu\text{m}^3$. Na principu detekce charakteristického RTG záření, které vzniká v důsledku interakce urychlených elektronů s elektrony zkoumaného materiálu, lze na novém přístroji analyzovat prvky od boru po uran. Nový přístroj je vybaven pěti vlnově dispersními spektrometry (WDS) a dvěma energiově dispersními spektrometry (EDS) od firem Jeol a Bruker. EDS je efektivní metoda pro získání rychlé informace o kvalitativním složení zkoumaného materiálu, WDS je metoda vhodná pro náročnější kvantitativní analýzu.

V roce 2019 došlo také k významné změně v experimentálním vybavení skupiny elektronové difrakce, kde místo dosluhujícího elektronového mikroskopu Philips CM120 byl z prostředků projektu SOLID21 zakoupen novější přístroj FEI Tecnai G2 20 (obr. 33). Jde o moder-

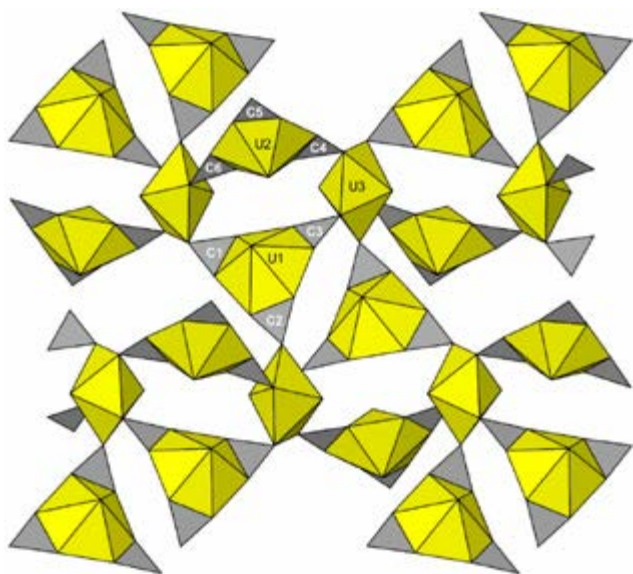
nější přístroj s pokročilejší počítačovou kontrolou všech operací. Tento stroj nám umožnil zrychlit a zpřesnit sběr dat a také získávat data z ještě méně stabilních materiálů. Veškeré pokročilé vybavení ze starého stroje, jako jsou držáky vzorků s možností chlazení či ohřevu nebo modul pro precizní elektronovou difrakci, je s novým přístrojem kompatibilní a mohlo být na nový přístroj přeneseno. Přístroj byl nainstalován v březnu roku 2019.

Oblast **elektronové krystalografie** zůstala i v letošním roce nejdynamičtěji se rozvíjející metodou strukturální analýzy. Na začátku roku vyšla průlomová publikace v časopisu Science [1], ve které jsme demonstrovali, že elektronovou difrakcí lze určit absolutní konfiguraci molekul v nanokrystalických materiálech, včetně farmaceuticky významných organických molekul. Podrobnosti o této metodě byly již uvedeny v předešlé výroční zprávě. Významnou náplní činnosti skupiny elektronové krystalografie byl další vývoj softwaru PETS pro zpracování difrakčních dat. Do programu jsme implementovali řadu funkcí, které na jedné straně zvyšují uživatelskou přívětivost programu a na straně druhé také významně rozšiřují jeho možnosti a kvalitu zpracovaných dat. Za zmínku stojí významně vylepšený algoritmus pro automatické určení mřížkových parametrů, určování změn orientace krystalu během experimentu a také možnost korigovat data na optické distorze vznikající při průletu elektronů optickým systémem mikroskopu. O softwaru PETS a klíčových postupech a teoretických konceptech, na kterých je založen, byl v minulém roce publikován souhrnný článek [2].

Vyvíjené metody byly průběžně aplikovány na konkrétní materiály. V minulém roce byl publikován například



■ Obr. 34 Vaterit: (a) Popis experimentálního práškového difrakčního záznamu (černá linka) nalezeným modelem. (b) Pohled na strukturu vateritu ze dvou různých směrů.



■ **Obr. 35** Nový typ uranyl-karbonátové vrstvy nalezený v minerálu meyorowitzitu; projekce podél [101].

popis struktury vateritu [3]. Vaterit (obr. 34) je jedna z forem uhličitanu vápenatého. Přestože jeho struktura byla studována po řadu desetiletí, cesta k jejímu objasnění byla lemována řadou omylů a neúspěchů. Důvodem je složitost struktury v kombinaci s faktem, že vaterit tvoří pouze velmi malé nanokrystaly. Ve spolupráci s CNRS v Caen se nám podařilo tuto strukturu objasnit s využitím konceptu modulovaných struktur a také dát do souvislosti dříve publikované modely a další střípky informací. Dalšími pracemi byla charakterizace fází silicidů ytterbia nebo oxynitridů molybdenu získaných metodou chemical vapor deposition [4,5], nebo spolupráce na určení struktury zeolitu SSZ-27 [6]. Významným výstupem je také spolupráce na přehledovém článku „3D Electron Diffraction: The Nanocrystallography Revolution“ [7]. Tento článek detailně popisuje historický vývoj a současný stav strukturní analýzy pomocí elektronové difrakce. Podílela se na něm většina předních osobností tohoto oboru a článek má potenciál stát se na řadu následujících let standardní referencí v oboru.

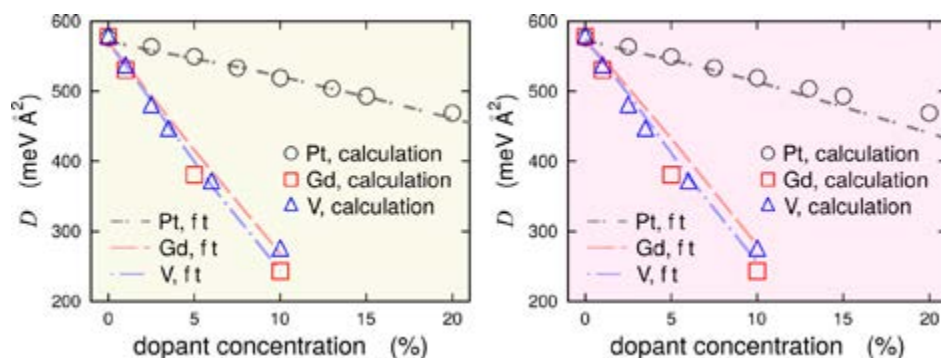
V oblasti **mineralogické krystalografie** vyústil výzkum v minulém roce v několik významných výsledků, a to zejména v oblasti krystalografie minerálů obsahujících uran. Mezi tyto výsledky patří studie, v níž se podařilo určit strukturu minerálu vyacheslavitu, což je fosfát čtyřmocného uranu. Strukturní upřesnění z dat získaných metodou precesní elektronové difrakční tomografie se ukázalo být robustní natolik, že bylo možné jednoznačně určit pozici vodíkového atomu v těsné blízkosti tak těžkého prvku, jako je uran [8]. Další významný výsledek navazuje na vývoj algoritmu TORQUE, který byl publikován předchozí rok. Další naše publikace [9] ukazuje

použití uvedeného algoritmu při upřesnění polohy atomu vodíku ve struktuře obsahující podstatný podíl U^{6+} v případě, že RTG difrakční data neposkytují věrohodné výsledky. Na poli řešení a upřesňování komplikovaných struktur minerálů bylo dále významným úspěchem vyřešení struktury nového minerálu meyorowitzu [10], jehož struktura je založena na zcela novém typu uranyl-karbonátových vrstev, které zatím nebyly popsány v žádném jiném minerálu či sloučenině uranu (obr. 35). Dlouhodobý výzkum síranů uranilu jsme letos shrnuli v zásadním přehledovém článku o strukturní složitosti těchto pozoruhodných fází [11].

V rámci projektu GA ČR, reg. číslo 18-10504S, nazvaném „Krystalografie21 – nová generace univerzálních nástrojů strukturní analýzy z difrakčních dat“ pokračoval **vývoj programu Jana2020**. Jedná se o novou modernizovanou verzi široce využívaného programu Jana2006 (<http://jana.fzu.cz>). Během převodu programu na nové grafické rozhraní založeném na OpenGL byly jednotlivé nástroje revidovány, aby program Jana2020 mohl mnoho dalších let sloužit jako platforma vývoje krystalografických metod. Naším plánem je prezentovat nový program Jana2020 na kongresu mezinárodní krystalografické unie v srpnu 2020. Možnosti programu Jana jsme již prezentovali na četných workshopech a školách, kterých se celkem zúčastnilo za uplynulý rok téměř 350 účastníků.

Jako příklad aplikace metod strukturní analýzy na aperiodické struktury uvádíme práci [12] publikovanou ve spolupráci s experty na krystalografii proteinů, kde ukazujeme nesnáze při hledání startovacího strukturního modelu pro modulovaný krystal proteinu. Další zajímavá práce [13] napsaná ve spolupráci s kolegy z Varšavy se zabývá vlivem přesnosti experimentu na spolehlivé stanovení polymorfů hydroxyacetophenonu, kde dochází k fázovému přechodu mezi souměřitelně a nesouměřitelně modulovanou strukturou.

V oblasti výzkumu **magnetismu a magnetických struktur** jsme dosáhli zajímavého výsledku publikovaného v práci [14]. Magnetickou strukturu látek na škále 0,1-1 mm lze popsat magnetickými doménami, tedy oblastmi, uvnitř nichž je magnetická struktura na atomární úrovni homogenní. Z fyzikálního hlediska je struktura magnetických domén určena výměnnou tuhostí, která závisí na spinové tuhosti. Spinovou tuhost a tím pádem i strukturu magnetických domén lze ovlivnit dopováním příměsí. V publikované práci [14] jsme studovali teoretický vliv příměsí různých typů a koncentrací. Ukazuje se, že dosavadní metoda výpočtu dobře souhlasí s experimentem, je ale technicky velmi náročná. Na základě fyzikálních úvah jsme navrhli zjednodušený model, jehož použití nevyžaduje náročné výpočty a který přesto vysti-



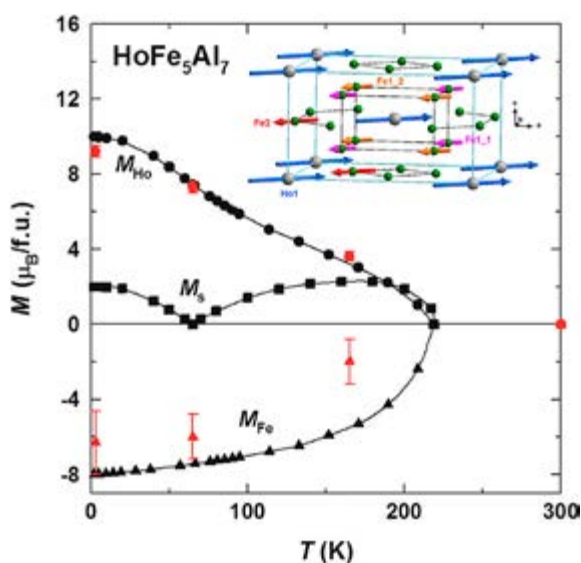
Obr. 36 Závislost spinové tuhosti D slitiny $\text{Fe}_{20}\text{Ni}_{80}$ (permalloy) na koncentraci V, Gd a Pt příměsových atomů spočtená na základě exaktní teorie (vlevo) a pomocí zjednodušeného modelu (vpravo).

huje fyzikální podstatu problému a vede ke stejným výsledkům (obr. 36) jako přesný, leč na výpočetní kapacitě velmi náročný výpočet.

V práci [15] jsme studovali spin-nematický stav LiCuVO_4 pomocí pulzního magneto-kalorického efektu (MCE) a ultrazvukových měření na vysoce kvalitních monokrystalech. Výsledky ukázaly, že přechod do spin-nematické fáze je doprovázen akumulací entropie, což dokazuje, že krystalová mřížka je zapojena do spinové dynamiky systému. Teoretické zpracování dat naznačuje, že spin-nematicita LiCuVO_4 je řízena interakcemi spin-dipól-napětí a kvadrupol-napětí. V práci [16] se nám podařilo jako prvním dokázat, že k mikroskopické rotaci individuálních spinů

lokalizovaných ve dvou oddělených podmřížkách dochází prostřednictvím polem indukovaného fázového přechodu (obr. 37). K důkazu jsme použili ojedinělé technologicky náročné XMCD experimenty provedené v transmisním režimu v pulzních magnetických polích až do 30T, spolu s zero-field neutronovými rozptylovými technikami. Na výsledku spolupracovali spoluautoři z nejvýznamnějších evropských neutronových a synchrotronových zdrojů.

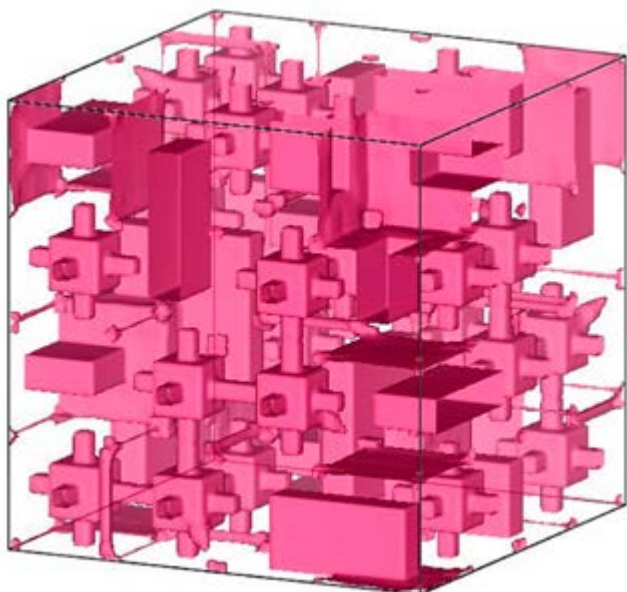
Výzkum v oblasti **matematické krystalografie** byl prováděn v rámci speciálně zaměřeného projektu GA ČR No. 18-10438S nazvaného „Kvantitativní strukturní deskriptory pro standardní a modulované krystaly: systematika, interpretace a predikce krystalových struktur“. Vyvinuli jsme specializovaný software pro mapování nepravidelnosti distribuce atomů v prostoru (Mapping of the Irregularity of Distribution of Atoms in Space, MIDAS) založený na aplikaci univerzálních distribučních principů, jako je tzv. „star discrepancy“ či diafonie na krystalové struktury. Program umožňuje zadávání dat krystalové struktury různými způsoby, po jedné i po dávkách, a počítá ukazatele tzv. uniformní distribuce, které následně analyzuje pomocí grafických nástrojů, například pomocí rovnoběžných souřadnicových grafů. Rovněž umožňuje výpočet míry informačně-teoretické složitosti založený na předchozí práci Krivovicheva (např. Angew. Chem. Int. Ed. 53 (2014) 654-661), kterou dále modifikuje a rozšiřuje (publikace je připravována). MIDAS také zahrnuje metody generování různých referenčních struktur (bodových sad), které byly použity jako interní benchmarky. Mapy míry uniformní distribuce mohou ukázat pozoruhodnou, doposud nepochopenou složitost zkoumané struktury. Obr. 38 ilustruje případ inverzní „star discrepancy“ pro skupinu krystalových struktur střední složitosti.



Obr. 37 Teplotní závislost spontánního magnetického momentu, M_s , stanoveného z magnetizačních měření objemového materiálu (symboly čtverce) a celkového magnetického momentu podmřížky holmia (M_{Ho} - kolečka) a železa (M_{Fe} - trojúhelníky). Černá kolečka/trojúhelníky jsou vypočtené hodnoty, odpovídající červené symboly jsou hodnoty získané z neutronové difrakce. Vložený obrázek ukazuje magnetickou strukturu HoFe_5Al_7 stanovenou programem Jana2006 při teplotě 2K, kde jsou zobrazeny pouze magnetické atomy s příslušným magnetickým momentem redukováným pro Ho faktorem 0,5.

Literatura

- [1] Brázda, P., Palatinus, L., Babor, M. (2019): "Electron diffraction determines molecular absolute configuration in a pharmaceutical nanocrystal". Science **364**, 667–669



■ **Obr. 38** Mapa inverzní „star discrepancy“ pro krystalovou strukturu složenou z 36 atomů, se třemi osami vyznačujícími tři volné parametry (x , y , z) v systému atomových souřadnic 24 atomového subsetu formujícího dílčí strukturu.

- [2] Palatinus, L., Brázda, P., Jelínek, M., Hrdá, J., Steciuk, G., Klementová, M. (2019): "Specifics of the data processing of precession electron diffraction tomography data and their implementation in the program PETS2.0", *Acta Cryst. B* **75**, 512–522
- [3] Steciuk, G., Palatinus, L., Rohlíček, J., Ouhenia, S., Chateigner, D. (2019): "Stacking sequence variations in vaterite resolved by precession electron diffraction tomography using a unified superspace model". *Scientific Rep.* **9**, 9156
- [4] Drínek, V., Remeš, Z., Klementová, M., Palatinus, L., Jarošová, M., Lugstein, A., Sistani, M., Kostejn, M., Jandova, V., Fajgar, R. (2019): "Ytterbium silicide nanostructures prepared by pulsed laser ablation in oven: Structural and electrical characterization". *Mater. Lett.* **246**, 17–19
- [5] Drínek, V., Klementová, M., Palatinus, L., Dytrych, P., Fajgar, R., Jandova, V., Kostejn, M., Kupcik, J. (2019): "Synthesis and characterization of nanostructured molybdenum oxynitride films fabricated by sub-atmospheric chemical vapor deposition". *J. Alloys and Comp.* **808**, UNSP 151470
- [6] Smeets, S., Zones, S.I., Xie, D., Palatinus, L., Pascual, J., Hwang, S.J., Schmidt, J.E., McCusker, L.B. (2019): "SSZ-27: A Small-Pore Zeolite with Large Heart-Shaped Cavities Determined by using Multi-crystal Electron Diffraction". *Angew. Chem. Int. Ed.* **58**, 13080–13086
- [7] Gemmi, M., Mugnaioli, E., Gorelik, T., Kolb, U., Palatinus, L., Boullay, P., Hovmoller, S., Abrahams, J. P. (2019): "3D Electron Diffraction: The Nanocrystallography Revolution". *ACS Cent. Sci.* **5**, 1315–1329
- [8] G. Steciuk, S. Ghazisaeed, B. Kiefer, J. Plášil: "Crystal structure of vyacheslavite, $U(PO_4)(OH)$, solved from natural nanocrystal: a precession electron diffraction tomography (PEDT) study and DFT calculations" *RSC Adv.* **9** (2019) 19657–19661.
- [9] S. Ghazisaeed, B. Kiefer, J. Plášil: "Revealing hydrogen atoms in a highly-absorbing material: an X-ray diffraction study and Torque method calculations for lead-uranyl-oxide mineral curite" *RSC Adv.* **9** (2019) 10058–10063.
- [10] A.R. Kampf, J. Plášil, T.A. Olds, B.P. Nash, J. Marty, H.E. Belkin: Meyrowitzite, $Ca(UO_2)(CO_3)_2 \cdot 5H_2O$, a new mineral with a novel uranyl-carbonate sheet" *Am. Mineral.* **104** (2019) 603–610.
- [11] V. V. Gurzhiy, J. Plášil: "Structural complexity of natural uranyl sulfates" *Acta Crystallogr. B* **75** (2019) 39–48.
- [12] J. Lovelace, V. Petříček, G. Murshudov & G.E.O. Borgstahl: "Supercell refinement: a cautionary tale" *Acta Crystallographica Section D-structural Biology*, **75**, (2019), 852–860.
- [13] M. Sztlyko, M. Malinska, V. Petříček, M.J. Gutmann & A.A. Hoser: "How Accurate Do X-ray Data Need To Be To Obtain a Reliable Order of Stability for Polymorphs? The Case Study of p-Hydroxyacetophenone Polymorphs" *Crystal Growth & Design*, **19**, (2019), 5132–5141.
- [14] O. Šipr, S. Mankovsky, and H. Ebert: "Spin wave stiffness and exchange stiffness of doped permalloy via ab initio calculations" *Physical Review B*, Vol. **100**, 024435 (2019) (11 pages).
- [15] M. Gen, T. Nomura, D. I. Gorbunov, S. Yasin, P. T. Cong, C. Dong, Y. Kohama, E. L. Green, J. M. Law, M. S. Henriques, J. Wosnitza, A. A. Zvyagin, V. O. Cheranovskii, R. K. Kremer, and S. Zherlitsyn, "Magnetocaloric effect and spin-strain coupling in the spin nematic state of $LiCuVO_4$ ", *Physical Review Research* **1**, 033065 (2019).
- [16] Gorbunov, D.I., Strohm, C., Henriques, Margarida Isabel Sousa, van der Linden, P., Pedersen, B., Mushnikov, N. V., Rosenfeld, E.V., Petříček, Václav, Mathon, O., Wosnitza, J., Andreev, Alexander V. "Microscopic nature of the first-order field-induced phase transition in the strongly anisotropic ferrimagnet $HoFe_5Al_7$ " *Physical Review Letters*. 2019, **122**(12), 1–6, 127205. ISSN 0031-9007 doi: 10.1103/PhysRevLett.122.127205

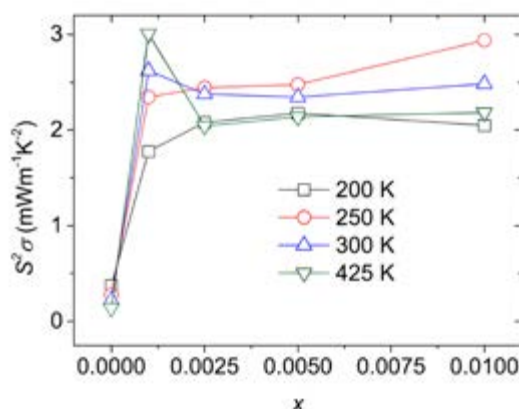
2.3.4 Magnetika a supravodiče

V oddělení magnetik a supravodičů studujeme materiály v rozličné podobě; monokrystaly, objemové keramiky i tenké vrstvy a nanoskopické částice, jejich kompozity a uskupení. Příprava nově zkoumaných látek probíhá zejména v naší Laboratoři syntetických nanomateriálů a na spolupracujících pracovištích – Ústavu geotechniky Slovenské akademie věd, Matematicko-fyzikální fakultě UK, Fakultě chemicko-technologické University Pardubice a Ústavu anorganické chemie AVČR. Klíčovým nástrojem výzkumu je experimentální popis fyzikálních vlastností, především magnetických, strukturních, elektrických a tepelných. Řada experimentálních dat může být přitom v našich laboratořích získána za extrémních podmínek, zejména ultranízkých teplot (až do 0,4 K), vysokých tlaků (~1–10 GPa) a magnetických polí do 14 T. Teoretické modely a výpočty pak doplňují, případně rozšiřují v rámci spolupráce, experimentální portfolio.

V souvislosti s dlouhodobě studovanou problematikou termoelektrické konverze tepelné v elektrickou energii jsme v aplikační sféře rozpracovali možnost využití odpadního tepla k výrobě elektrické energie. Zde v rámci projektu OP Praha-pól růstu (Efektivní využití odpadního tepla) posuzujeme zejména možnost lokálního využití horkých zplodin z procesu spalování komunálního odpadu (pražská spalovna v Malešicích – ZEVO) k elektrickému napájení potřebných monitorovacích systémů a současně analyzujeme možnost vylepšit energetickou bilanci, případně docílit úplné autonomie samostatného topení (KŽC Doprava, s.r.o.), které se využívá v dopravních pro-



■ Obr. 39 Umístění termoelektrického generátoru na kouřovod (1), který je upravený pro testování speciálním otvorem (2) a umožní tak instalaci termoelektrického generátoru. Jeho jádrem budou tepelné výměníky, jejichž konstrukce je podpořena předběžnými výpočty (3).



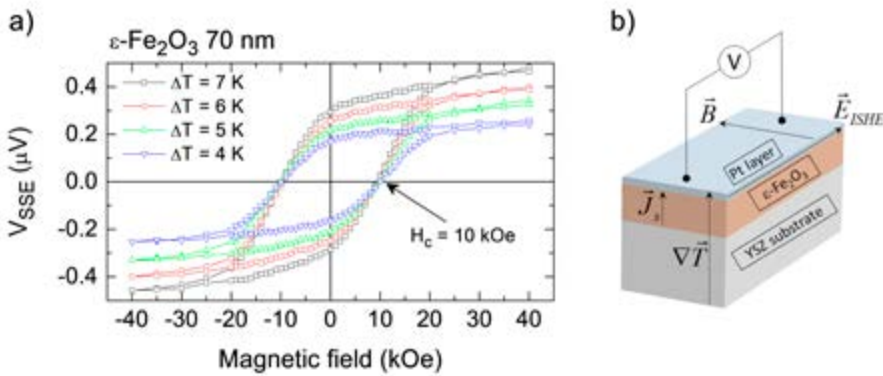
■ Obr. 40 Koeficient termoelektrického výkonu pro monokrystalické vzorky $Sn_{1-x}Tl_xSn$.

středních pražské integrované dopravy. Na obr. 39 dokládáme ilustrační obrázek umístění termoelektrického generátoru na kouřovod spalovny včetně detailů tepelných výměníků.

V souvislosti s výzkumem nových termoelektrických materiálů jsme pokračovali ve výzkumu sulfidů a selenidů. Zde stojí za zmínku studie sulfidu cínu SnS , strukturního analogu intenzivně studovaného selenidu $SnSe$. Na polykrystalických a monokrystalických vzorcích jsme prokázali, že dopování thalliem v systému $Sn_{1-x}Tl_xSn$ vede k pozoruhodně vysokému koeficientu termoelektrického výkonu (Power factor) jak i dokládá obr. 40 [1].

Navíc jsme prokázali, že velmi nízké dopování thalliem umožňuje získat vysoce kvalitní monokrystaly s pohyblivostí děr vyšší než je tomu za pokojové teploty u čistých monokrystalů. Tetraedrity základního složení $Cu_{12}Sb_4S_{13}$ získaly v posledních letech velkou pozornost nejen díky slibnému koeficientu termoelektrického výkonu, ale i kvůli tomu, že se vyskytují jako přírodní nerost a jsou složené ze snadno dostupných prvků. Pro případ substituce arsenu jsme ukázali, že jejich termoelektrické vlastnosti nejsou negativně ovlivněny záměnou Sb za As, což je důležitý poznatek pro uvažované dílčí využití přírodních tetraedritů (kde je tato záměna velmi častá) pro výrobu termoelektrických modulů [2]. Vliv substituce jsme dále sledovali v sérii $Cu_{12-x}M_xSb_4S_{13}$ ($M=Mg, Zn, \dots$) pomocí výpočtů elektronové struktury metodou DFT v kombinaci s výpočty elektrických transportních vlastností pomocí programu BoltzTrap založeném na Boltzmannově transportní teorii. Nejvyšší Seebeckův koeficient a nejlepší termoelektrická účinnost byla stanovena pro materiál o složení $Cu_9Zn_2Sb_4S_{13}$ [3].

Ve výzkumu spinového Seebeckova jevu (SSE) jsme studovali tenké filmy (40–70 nm) tzv. epsilon fáze $Fe_{2-x}Al_xO_3$ ($x=0$ a 0,3), které byly za účelem generování a snímání inverzního spinového Hallova jevu opatřeny 5 nm



■ Obr. 41 Spinový Seebeckův jev pro tenký film epsilon-Fe₂O₃ v několika teplotních gradientech (a), schéma experimentálního uspořádání (b), kde jsou ukázány směry spinového proudu (J_s), teplotního gradientu (∇T), vnějšího magnetického pole (B) a elektrického pole vzniklého díky inverznímu spinovému Hallovu jevu (E_{ISHE}).

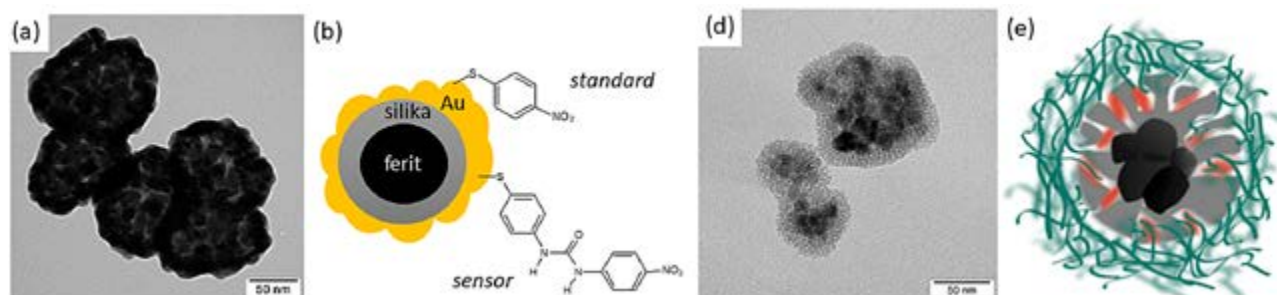
vrstvou platiny [4]. Signál SSE pro $x = 0$ je charakterizován obrovským koercitivním polem až 10 kOe a systém $\epsilon\text{-Fe}_2\text{-}_x\text{Al}_x\text{O}_3$ je tak vhodným materiálem pro využití SSE bez vnějšího magnetického pole, obr. 41.

Dále jsme se zaměřili na magnetické materiály s kovovým typem elektrické vodivosti, jako např. spinelové fáze Fe_3S_4 a CuSr_2Se_4 , kde plánujeme studovat souvislosti mezi spinovým Seebeckovým, anomálním Nernstovým a magneto-Seebeckovým jevem.

V kontextu s výzkumem komplexních magnetických nanočástic se v laboratoři syntetických nanomateriálů podařilo připravit několik pozoruhodných nanosystémů a demonstrovat jejich využití v aplikacích od řízeného uvolňování léčiv, přes diagnostiku rakoviny až po analytickou chemii. Byly vyvinuty komplexní nanočástice, jejichž jádra jsou tvořena nanokrystalita feritu o složení $\text{Mn}_{0,6}\text{Zn}_{0,4}\text{Fe}_2\text{O}_4$, na něž přisedá primární vrstva mezopórní siliky skýtající prostor pro zachycení léčiv, která je dále zapouzdřena termoresponsivním obalem nebo uzavřena látkou s vhodně zvolenou teplotou tání [5]. Takové částice, jsou-li vystaveny střídavému magnetickému poli, tak vlivem hypertermického efektu jádra a následného rozrušení sekundární vrstvy uvolňují zachycená léčiva. Magnetické nanočástice Mn-Zn feritu byly využity i v komplexních částicích s magnetickým

jádrem, primární silikonovou vrstvou a sekundární zlatou nanovrstvou, která vykazuje povrchovou plasmonovou rezonanci. Tyto kompozitní nanočástice byly využity spolupracovníky na Chemickém ústavu Slovenské akademie věd ke konstrukci vysoce citlivého biosensoru pro detekci a analýzu prostatového antigenu PSA prostřednictvím elektrochemické impedanční spektroskopie, která dovlila detekci PSA ve femtomolární koncentraci v reálných krevních vzorcích [6]. Nanočástice se zlatou nanovrstvou byly v našich laboratořích rovněž úspěšně funkcionalizovány molekulárním senzorem fluoridových iontů, jehož odezva byla sledována pomocí povrchově zesílené Ramanovy spektroskopie, jak je ukázáno na obr. 42.

Tunelovací magnetorezistence byla studována v sérii kompozitních nanočástic s tzv. 0-3 konektivitou, jejichž střed je tvořen 25nm nanočásticemi elektricky vodivé feromagnetické fáze $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ ($x = 0,35$) a jsou obalené izolační maticí oxidu křemičitého s řízenou tloušťkou v rozsahu 1–5 nm. Měření prokázala zajímavý jev, a to že relativní změna elektrického odporu v závislosti na magnetickém poli je prakticky nezávislá na tloušťce izolačního obalu, přestože absolutní hodnoty odporu se mění v rozsahu 5 řádů. Námí navržené vysvětlení je spojeno s prohnutím dna vodivostního pásu v povrchové vrstvě zrn $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$, která je na rozdíl od středu zrn magneticky



■ Obr. 42 Schéma (a) a elektron-mikroskopický snímek (b) nanočástic feritu $\text{Mn}_{0,6}\text{Zn}_{0,4}\text{Fe}_2\text{O}_4$ obalených primární silikovou vrstvou a sekundární zlatou nanovrstvou, které nalézají využití ve vysoce citlivých senzorech. Na schématu je naznačena funkcionalizace zlaté nanovrstvy molekulovým receptorem na bázi N,N' -disubstituované močoviny, jejíž spektrální odezva v povrchově zesílené Ramanovy spektroskopie je využita v analýze koncentrace fluoridových aniontů. Další snímek z transmisního elektronového mikroskopu (c) ukazuje tatáž magnetická jádra obalená mesopórní vrstvou siliky, v jejichž pórech lze zachytit léčiva a následně ji obalit sekundární termoresponsivní vrstvou, jak ukazuje poslední schéma (e).

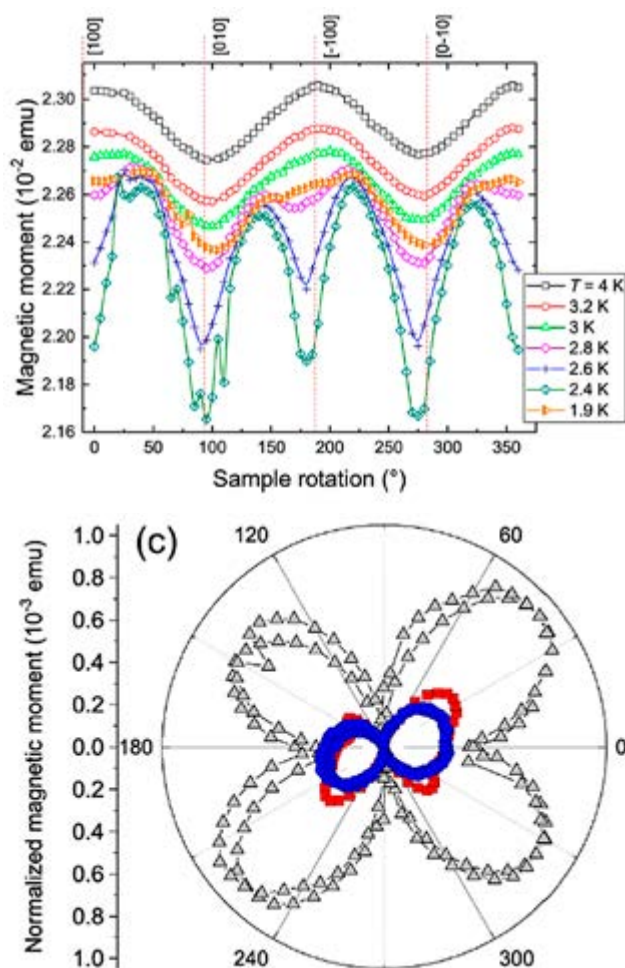
neuspořádaná. Spinově polarizované nosiče, které vznikají v magneticky uspořádaném středu zrn, jsou v této povrchové vrstvě zpomaleny a částečně depolarizovány. Vliv prohnutí dna pásu se makroskopicky projeví jako povrchový odpor závislý na magnetickém poli. Mezizrnný průchod elektrického proudu přes silikový obal se realizuje jako spinově nezávislé tunelování elektronů [7].

V rámci studia magnetismu intermetalických sloučenin kovů vzácných zemin byla pozornost věnována vzorkům z rodiny sloučenin $R_nT_mIn_{3n+2m}$ (R = vzácná zemina, T = přechodné kovy) s ohledem na hojnost komplexních struktur a zajímavé vlastnosti v blízkosti jejich kvantově kritických bodů. Zaměřili jsme se na studium magnetizace a tepelné kapacity tetragonální sloučeniny těžkých fermionů Ce_2RhIn_8 v závislosti na směru magnetického pole aplikovaného kolmo k ose c [8]. Jelikož úhlová závislost tepelné kapacity neindikuje žádnou další fázi, usuzujeme, že pozorovaná magnetizační anizotropie (obr. 43) je intrinsickou vlastností Ce_2RhIn_8 . Byla také odhalena jasná úhlová závislost hranic magnetické fáze na aplikovaném magnetickém poli. Též jsme zkoumali teplotní vývoj krystalových struktur monokrystalů VI_3 pomocí rentgenové difrakce s důrazem na fázové přechody [9]. Výzkum byl motivován Van der Waalsovým charakterem chemických vazeb a s tím souvisejícím nízkodimenzionálním magnetismem s vysokým aplikačním potenciálem. Při postupném snižování teploty dochází ke snížení symetrie z trigonální při pokojové teplotě na monoklinickou fázi při $T_s \sim 79$ K. VI_3 přechází do feromagnetického uspořádání při teplotě $T_{FM1} \sim 50$ K a při dalším ochlazení se monoklinická struktura transformuje na triklinickou při 32 K. Pozorované jevy jsou předběžně připisovány silným magnetoelastickým interakcím.

Teoretická skupina podpořila aktivitu oddělení týkající se termoelektrických vlastností implementací dvou programových systémů důležitých pro studii tohoto jevu: WIEN2k_19.1 pro výpočty elektronových struktur metodou DFT (Density Functional Theory) and BoltzTraP2 pro výpočty transportních vlastností. Rovněž jsme se účastnili studia krystalového pole a magnetismu sloučenin vzácných zemin. Příkladem může být Er^{3+} dopovaný $Yb_3Al_5O_{12}$, kde jsme potvrdili, že tento granát představuje vynikající optický materiál kombinující Er^{3+} NIR fotoluminiscenční vlastnosti s magnetooptickým potenciálem spojeným se substitucí Al iontů za magnetické ionty jako Fe^{3+} [10].

Literatura

- [1] P. Čermák, J. Hejtmánek, T. Plecháček, J. Navrátil, J. Kašparová, V. Holý, Z. Zmrhalová, M. Jarošová, L. Beneš, Č. Drašar, "Thermoelectric properties and stability of

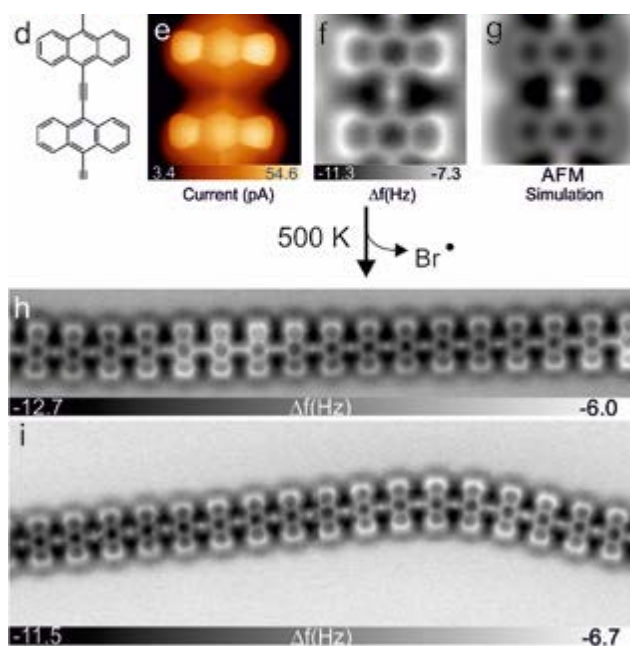


■ Obr. 43 Úhlová závislost magnetizace Ce_2RhIn_8 měřená v magnetickém poli 4 T a rozmezí teplot 1,9 – 4 K uvnitř magneticky uspořádané AF fáze, jasně demonstrující změnu symetrie magnetické struktury.

- Tl-doped SnS ", J. Alloy. Compd. **811** (2019) 151902(1)–151902(9). <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2019.151902>
- [2] P. Levinský, C. Candolfi, A. Dauscher, J. Tobola, J. Hejtmánek, and B. Lenoir, "Thermoelectric properties of the tetrahedrite–tennantite solid solutions $Cu_{12}Sb_{4-x}As_xS_{13}$ and $Cu_{10}Co_2Sb_{4-y}As_yS_{13}$ ($0 \leq x, y \leq 4$)", Phys. Chem. Chem. Phys. **21** (2019) 4547–4555.
- [3] K. Knížek, P. Levinský, and J. Hejtmánek, "LDA+U Calculation of Electronic and Thermoelectric Properties of Doped Tetrahedrite $Cu_{12}Sb_4S_{13}$, J". Electron. Mater. **48** (2019) 2018–2021.
- [4] K. Knížek, M. Pashchenko, P. Levinský, O. Kaman, J. Houdková, P. Jiříček, J. Hejtmánek, M. Soroka, and J. Buršík, "Spin Seebeck effect in epsilon- Fe_2O_3 thin layer with high coercive field", J. Appl. Phys. **124** (2018) 213904(1)–213904(8).
- [5] J. Stergar, Z. Jiráček, P. Veverka, L. Kubičková, T. Vrba, J. Kuličková, K. Knížek, F. Porcher, J. Kohout, O. Kaman, "Mn-Zn ferrite nanoparticles coated with mesoporous

silica as core material for heat-triggered release of therapeutic agents", *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, **475** (2019) 429–435. <https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2018.11.020>.

- [6] T. Bertok, L. Lorencova, S. Hroncekova, V. Gajdosova, E. Jane, M. Hires, P. Kasak, O. Kaman, R. Sokol, V. Bella, A.A. Eckstein, J. Mosnacek, A. Vikartovska, J. Tkac, "Advanced impedimetric biosensor configuration and assay protocol for glycoprofiling of a prostate oncomarker using Au nanoshells with a magnetic core", *Biosensors and Bioelectronics*, **131** (2019) 24–29. <https://doi.org/10.1016/j.bios.2019.01.052>.
- [7] O. Kaman, Z. Jiráček, J. Hejtmánek, A. Ndayishimiye, M. Prakasam, G. Goglio, "Tunneling magnetoresistance of hydrothermally sintered $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ -silica nanocomposites", *J. Magn. Magn. Mat.* **479** (2019) 135–143.
- [8] A. Bartha, M. Mišek, M. Žáček, V. Sechovský, J. Prokleška, "Basal plane anisotropy in Ce_2RhIn_8 ", *Phys. Rev. B* **100** (2019) 184425(1)–184425(5). <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.100.184425>
- [9] P. Doležal, M. Kratochvílová, V. Holý, P. Čermák, V. Sechovský, M. Dušek, M. Mišek, T. Chakraborty, Y. Noda, Suhan Son, and Je-Geun Park, "Crystal structures and phase transitions of the van der Waals ferromagnet V_1S_3 ", *Phys. Rev. Mater.* **3** (2019) 121401(1)–121401(6).
- [10] D. Sedmidubský, V. Jakeš, K. Rubešová, P. Nekvindová, T. Hlásek, R. Yatskiv, P. Novák, "Magnetism and optical properties of $\text{Yb}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ hosted Er^{3+} ion – experiment and theory.", *J. Alloys and Compounds*, **810**, 151903 (2019).



■ Obr. 44 Povrchová syntéza π -konjugovaného polymeru antracenu na povrchu zlata Au(111) a zobrazení pomocí mikroskopu atomárních sil.

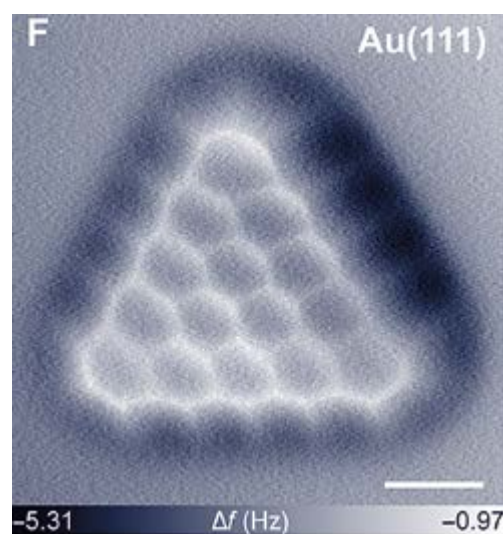
2.3.5 Tenké vrstvy a nanostruktury

Oddělení tenkých vrstev a nanostruktur má tradici výzkumu nanostruktur se škálou velikostí od jednotlivých molekul či atomárního uspořádání na površích, přes nanočástice, nanodráty až po tenké vrstvy. Takto rozsáhlý záběr je sjednocován zaměřením na nanostruktury křemíku nebo uhlíkatých materiálů, především nanodiamantů nebo grafenu, a odvozených 2D materiálů. Tyto struktury jsou předmětem zájmu vzhledem k roli v nanoelektronice, senzorce, fotonice i ve fotovoltaické přeměně sluneční energie.

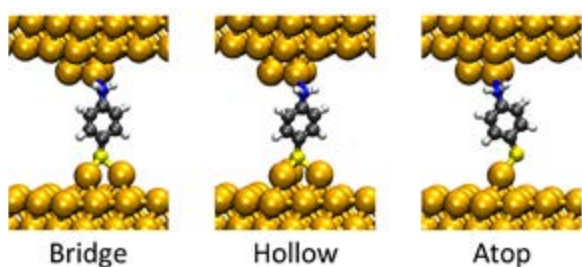
Výsledky dosažené v jednotlivých skupinách oddělení jsou ilustrovány následujícími příklady.

Ve skupině Nanosurf vedené P. Jelínkem jsme představili nový protokol [1] syntézy π -konjugovaných polymerů na bázi acenů na povrchu krystalu zlata Au (111) (obr. 44). K tomuto účelu jsme použili prekurzor chinoidního antracenu s $=\text{CBr}_2$ skupinami na pozicích 9 a 10 a žháním na 400 K, což vede k tvorbě polymerů na bázi antracenu. Měření nc-AFM s vysokým rozlišením ukázala molekulární a elektronickou strukturu polymeru. Teoretické simulace ilustrovaly mechanismus chemické reakce a zdůrazňují tři hlavní kroky: dehalogenaci, difúzi povrchově stabilizovaných karbenů a homo provázání, což umožňuje vytvoření ethynylenového můstku. Naše výsledky zavádějí nový chemický protokol pro navrhování π -konjugovaných polymerů založených na prekurzorech oligoacenů a připravují nové cesty pro pokrok na poli syntézy na površích pevných látek.

Obdobně se podařilo zavést nový syntetický postup [2] pro získání π -rozšířeného triangulenu s atomovou



■ Obr. 45 π -konjugovaný [5] triangulen na povrchu zlata Au(111) zobrazený pomocí rastrovacího mikroskopu atomárních sil.



■ **Obr. 46** Simulace tří stabilních vazebných konfigurací molekuly (zleva: v přemostění mezi dvěma atomy, nad vmezeřenou pozicí mezi více atomy, nad jedním atomem)

přesností a s využitím strategie zdola-nahoru pomocí povrchově asistované cyklodehydrogenace navrženého molekulárního prekursoru na kovových površích (obr. 45). Měření mikroskopie atomárních sil jednoznačně ukazuje chemickou strukturu, která se skládá z 15 kondenzovaných benzenových kruhů, zatímco měření skenovací tunelové spektroskopie odhalují přítomnost elektronických stavů lokalizovaných na okrajích molekuly. Výpočty na základě teorie funkcionálu hustoty (DFT) ukazují, že trianguleny syntetizované na Au(111) si zachovávají v základním stavu otevřený π -konjugovaný charakter s magnetickými vlastnostmi.

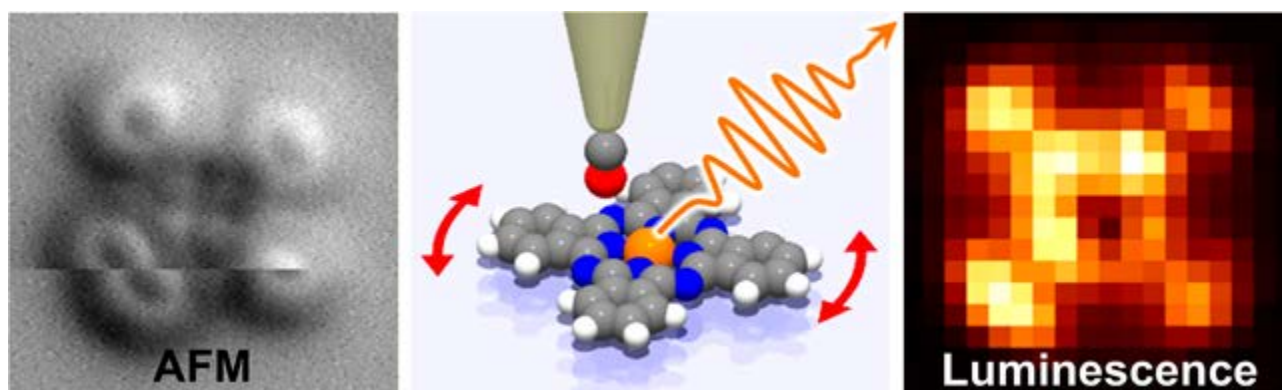
Spolupráce teoretické skupiny H. Vázquez se skupinou Manabu Kiguchiho v Tokijském technologickém institutu vedla k dalšímu kroku pro miniaturizaci elektronických obvodů [3]. Při zkoumání vlastností molekul potenciálně využitelných v miniaturních obvodech vědci narážejí na řadu problémů. Jedním z nich je porozumění konfiguraci kontaktů molekul s kovovými povrchy elektrod, která ovlivňuje důležité vlastnosti spojů, např. vodivost. Využitím numerických simulací tak bylo možno ztožnit japonská experimentální měření s konkrétními typy vazby (obr. 46). Souběžná měření povrchem zesíleného Ramanova rozptylu a voltampérové charakteristiky byla modelována pomocí DFT. Změny vodivosti a Ramano-



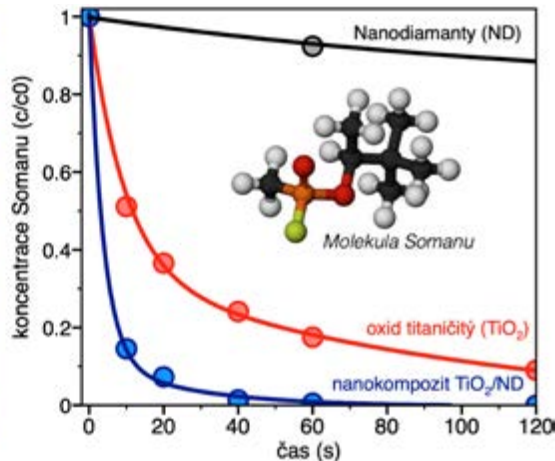
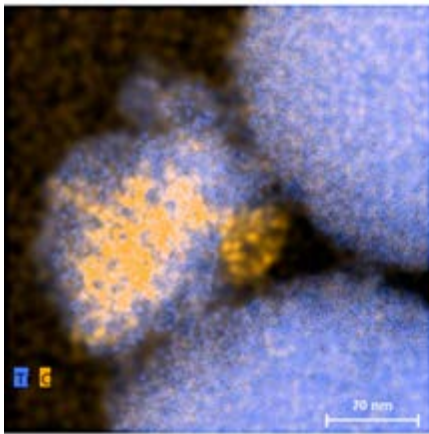
■ **Obr. 48** Lukáš Ondič přebírá prémii z rukou předsedkyně Akademie věd ČR Evy Zažímalové.

vých frekvencí charakteristických pro molekulu změřené experimentálně tak byly nejen přiřazeny k jednotlivým prostorovým konfiguracím, ale bylo možno i řízeně vyvolat přesuny mezi různými vazebnými místy přivedením malého napětí. Výsledek je mj. součástí MSCA-IF III projektu MOLECOR, v rámci kterého Enrique Montes Muñoz zlepšuje modely molekulárních interakcí.

Příbuzné experimenty jsou také možné v nově ustanovené skupině M. Švece, která zkoumá elektroluminiscenci jednomolekulárních fotonových emitorů na vrstvách NaCl nesených Ag(111) a Au(111) se submolekulárním rozlišením pomocí nízkoteplotního rastrovacího tunelovacího mikroskopu, jenž dokáže měřit tunelový proud, atomární síly a emisi světla zároveň [4]. Technika elektroluminiscence měřené s atomárním rozlišením je v současnosti dostupná jen v několika málo laboratořích světa. Byla studována role stavu hrotu ve fotonových mapách archetypálního fotoemitoru - ftalocyaninu zinku (ZnPc) - pomocí hrotů čistě kovových a CO-funkcionalizovaných. Ukázalo se, že funkcionizace CO má zásadní dopad na rozlišení a kontrast fotonových map díky lokál-



■ **Obr. 47** Kombinovaná mikroskopie atomárních sil a mapování elektroluminiscence na jediné molekule ZnPc, prováděná pomocí hrotu funkcionalizovaného molekulou CO.



■ Obr. 49 Prvkově rozlišený snímek z transmisního elektronového mikroskopu ukazující strukturu nanokompozitu TiO₂/nanodiamant (vlevo). Zvýšená reaktivita nanokompozitu TiO₂/nanodiamant vůči bojové chemické látce somanu (vpravo).

nímu překryvu p-orbitalů hrotu a molekulárních orbitalů emitoru. Byla prokázána možnost užití stejného hrotu funkcionalizovaného CO jak na hrotem zesílenou detekci fotonů tak i na měření atomárních sil.

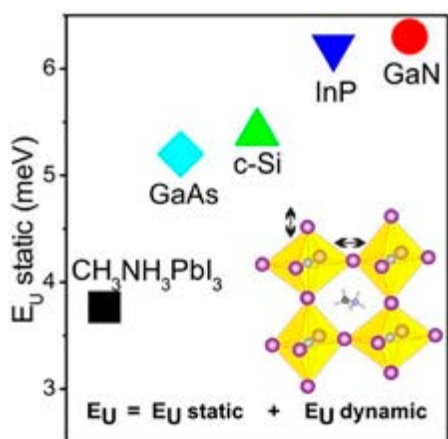
Uvedená práce vznikla ve spolupráci se skupinou křemíkové a diamantové nanofotoniky, která se tradičně zabývá luminescencí křemíkových nanokrystalů [5,6]. Další výzkum v tomto směru povede Lukáš Ondič v rámci programu AV ČR na podporu excelence Prémii Lumina quaeruntur (obr. 48), díky které založí vlastní vědecký tým, který se bude věnovat studiu nových nanofotonických platform na bázi diamantu vhodných pro kvantovou fotoniku a sensoriku.

Výzkum nanodiamantů je tématem skupiny Š. Stehlíka, jehož tým ve spolupráci s Ústavem anorganické chemie AV ČR a dalšími představil nový typ nanokompozitů TiO₂/nanodiamant (ND) pro rychlou dekontaminaci [7] chemických bojových látek a toxických průmyslových sloučenin na bázi organofosfátů. Vynikající kompatibili-

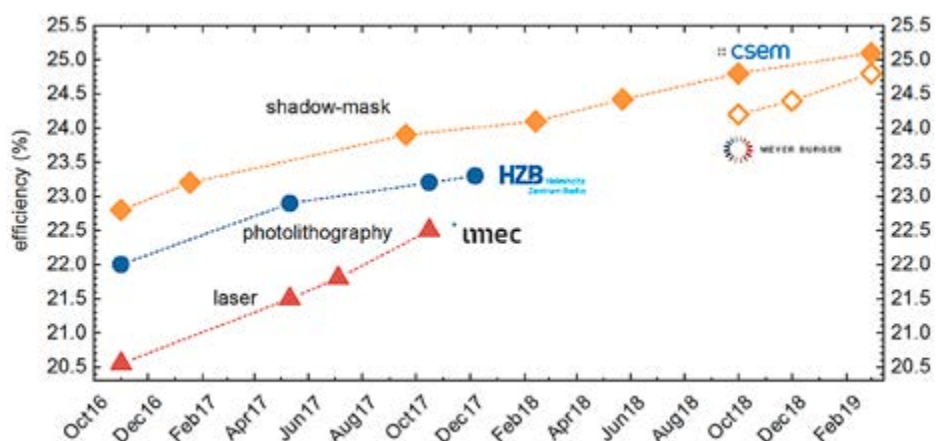
ta ND s vodou zajistila jejich dobrou dispergaci v matrici TiO₂, což vedlo ke vzniku vzájemně propojených nanostruktur. Výsledky ukazují, že dobře dispergované ND tvoří heteropřechod s TiO₂ a spolu s vysokou porozitou a vhodnou povrchovou chemií přispívají ke zvýšené reaktivitě nanokompozitů (obr. 49).

Ve skupině M. Ledinského jsou zkoumány tenké vrstvy s aplikacemi ve fotovoltaice. Skupina se věnuje nejmodernějšímu materiálu poslední doby, tedy olovnatojodidovým perovskitům, a podařilo se detailně prozkoumat teplotní závislost absorpce na hraně zakázaného pásu. Výsledky byly publikovány v článku [8], který získal na Web of Knowledge statut vysoce citovaného článku. Zkoumání absorpčního spektra halidových perovskitů je nepostradatelným nástrojem pro pochopení jejich fotovoltaických a luminescenčních vlastností. V tomto článku se skupina soustředila na teplotní závislost absorpčních spekter jodidových tenkých perovskitových vrstev (CH₃NH₃PbI₃) s důrazem na změny absorpce na hraně zakázaného pásu (tzv. Urbachovy energie). Z naměřených dat (obr. 50) je zřejmá univerzální relace mezi Urbachovou energií a ztrátami článků v napětí naprázdno. Navíc je z nich možné určit relativní hustotu rekombinačně aktivních defektů v tomto materiálu, která v našem případě je $3,8 \pm 0,7$ meV. Tato hodnota je výrazně menší než odpovídající hodnota pro monokrystaly křemíku, galium arsenidu, indium fosfidu či galium nitridu, což jasně ukazuje na výjimečné optoelektronické vlastnosti halidových perovskitů.

Tradiční téma skupiny, tedy tenké vrstvy křemíku, kdysi považované za kandidáta na sluneční články pro masové použití, prožilo velký útlum daný konkurencí deskových článků a následnou renesancí v kombinaci s křemíkovými deskami v tzv. článcích s heteropřechodem. Výzkum v M. Hývla v tomto směru s názvem „Nanoscale Study of Hole-Selective Passivating Contacts for High-Efficiency Silicon Solar Cells Using C-AFM Tomography“ byl oceněn na konferenci ICANS (28. International Confe-



■ Obr. 50 Porovnání velikostí statické Urbachovy energie, získané z její tepelné závislosti, pro monokrystaly optoelektronicky významných polovodičů a tenkou vrstvu halidových perovskitových mikrokystalů CH₃NH₃PbI₃. Perovskity mají velmi nízkou hustotu aktivních defektů.

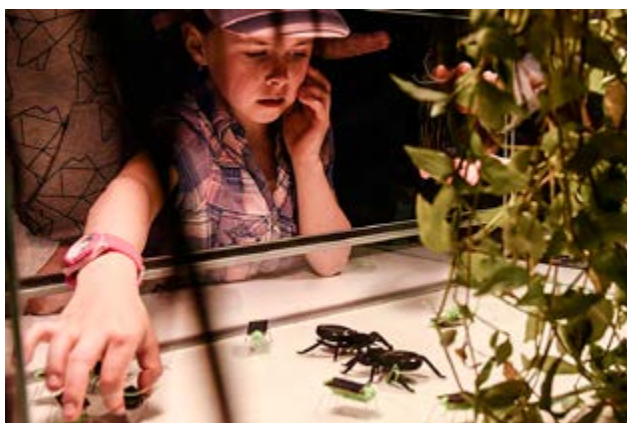


■ **Obr. 51** Nárůst účinnosti slunečních článků dosažený v rámci H2020 projektu NextBase, který skončil v září 2019 a pro který tým FZÚ rozvíjel charakterizaci kontaktních struktur.

rence on Amorphous and Nanocrystalline Semiconductors) cenou za nejlepší poster.

V září 2019 byl úspěšně dokončen evropský projekt H2020 NextBase, který zahrnoval 8 předních evropských výzkumných institucí a 6 firem a byl zaměřen na vývoj inovativních křemíkových slunečních článků a modulů s vysokou účinností. Využil koncept křemíkových desek s heteropřechody a zadními interdigitálními kontakty (IBC-SHJ) s perspektivou dosažení účinnosti přeměny v článcích ~26 % a v modulech ~22 %. Projekt přinesl řadu nových prvků v návrhu desek, článků a modulů, které nastavily nový standard současného stavu poznání a technologie. Projekt dosáhl svého cíle, tedy technicky a ekonomicky reálného procesu pro výrobu slunečních článků s účinností 25,4 %, tedy blíží se současným rekordním hodnotám (současný rekord v účinnosti křemíkových článků je 26,7 %), obr. 51. Optimalizační proces přitom intenzivně využíval optickou profilometrii vyvinutou ve FZU a založenou na Ramanově rozptylu.

Oddělení také hraje tradičně silnou roli v popularizaci výzkumu a v komunikaci s veřejností. 16. května 2019 se uskutečnila ve Fyzikálním ústavu AV ČR akce na oslavu Mezinárodního dne světla. Na Veletrhu vědy (obr. 52)



■ **Obr. 52** Robotický hmyz poháněný světlem (součást expozice FZU o fotovoltaice)

děti ocenily světlem poháněné vláčky, šváby i pavouky (a dospělí mezitím zjistili, jak pokračuje vývoj moderních solárních panelů). V sobotu 21. září proběhla v rámci akce Zažít město jinak sousedská slavnost v Cukrovarnické ulici ve Střešovicích (obr. 53). Vpravdě celosvětový dosah mělo vystoupení A. Fejřara jako zástupce AV a ČR v Organizaci spojených národů v New Yorku na dvoudenním Fóru o vědě, technologii a inovacích pro udržitelný rozvoj (STI Forum) ve dnech 14. a 15. května 2019. STI Forum je důležitou součástí speciálně zřízeného mechanismu OSN pro využívání potenciálu vědy, technologií a inovací pro plnění cílů udržitelného rozvoje 2030.



■ **Obr. 53** Hravé pokusy před FZÚ areálem Cukrovarnická v rámci Zažít město jinak přilákaly pozornost davů.

Literatura

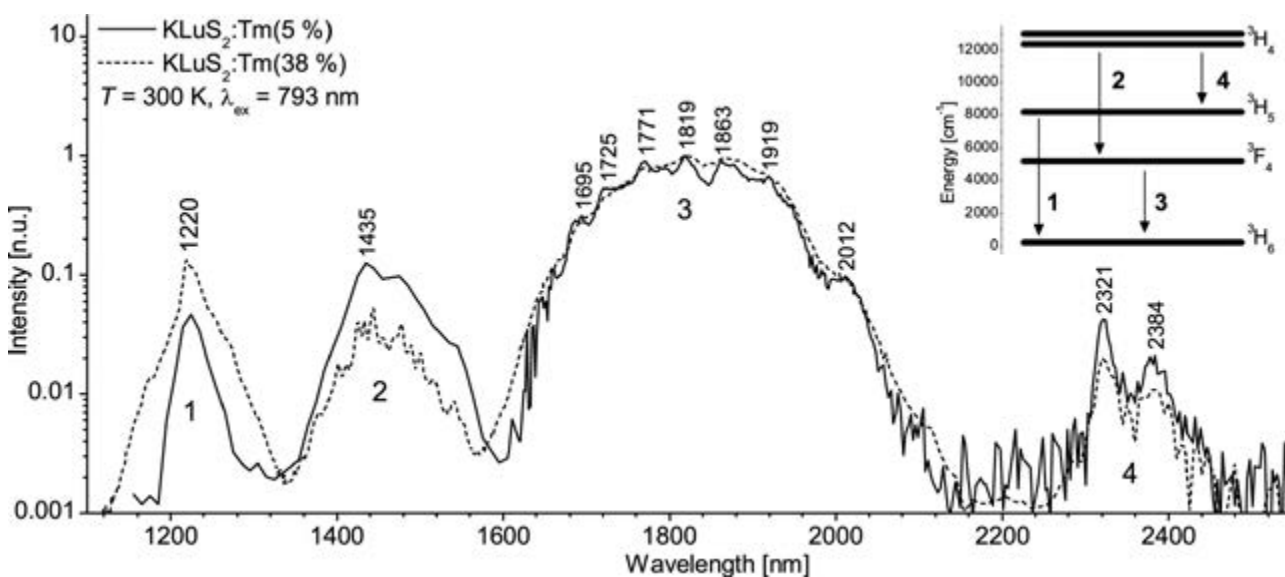
- [1] A. Sánchez-Grande, B. de la Torre, J. Santos, B. Cirera, K. Lauwaet, T. Chutora, S. Edalatmanesh, P. Mutombo, J. Rosen, R. Zbořil, R. Miranda, J. Björk, P. Jelínek, N. Martín, D. Écija, *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.* **58**, 6559 (2019).
- [2] J. Su, M. Telychko, P. Hu, G. Macam, P. Mutombo, H. Zhang, Y. Bao, F. Cheng, Z.-Q. Huang, Z. Qiu, S.J.R. Tan, H. Lin, P. Jelínek, F.-C. Chuang, J. Wu, J. Lu, *Science Advances* **5**, eaav7717 (2019).
- [3] S. Kaneko, E. Montes, S. Suzuki, S. Fujii, T. Nishino, K. Tsukagoshi, K. Ikeda, H. Kano, H. Nakamura, H. Vázquez, M. Kiguchi, *Chem. Sci.* **10**, 6261 (2019).
- [4] J. Doležal, P. Merino, J. Redondo, L. Ondič, A. Cahlík, M. Švec, *Nano Lett.* **19**, 8605 (2019).
- [5] P. Galář, T. Popelář, J. Khun, I. Matulková, I. Němec, K. D. Newell, A. Michalcová, V. Scholtz, K. Kůsová, *Faraday Discuss.* (2020), in press.
- [6] I. Pelant, K. Kůsová, *Crystals* **9**, 624 (2019).
- [7] J. Henych, Š. Stehlík, K. Mazanec, J. Tolasz, J. Čermák, B. Rezek, A. Mattsson, L. Österlund, *Applied Catalysis B: Environmental* **259**, 118097 (2019).
- [8] M. Ledinsky, T. Schönfeldová, J. Holovský, E. Aydin, Z. Hájková, L. Landová, N. Neyková, A. Fejfar, S. De Wolf, *J. Phys. Chem. Lett.* **10**, 1368 (2019).

2.3.6 Optické materiály

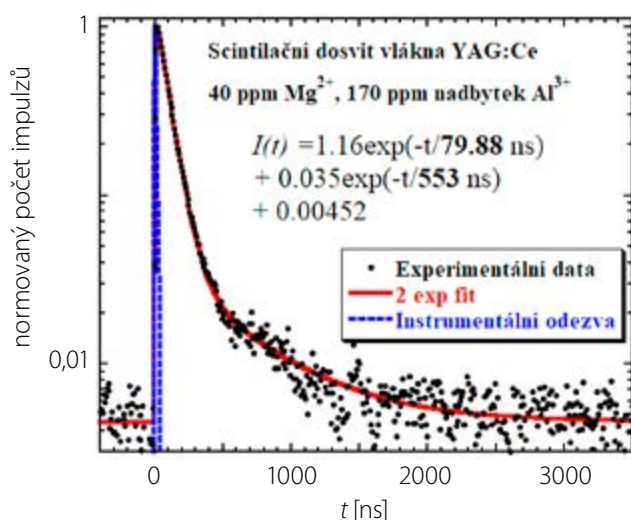
Výzkumné aktivity oddělení v roce 2019 byly zaměřeny na studium bodových defektů ve struktuře látek, je-

jih vlivu na materiálové charakteristiky a souvislost jejich výskytu s použitou technologií. Pozornost byla věnována též rozvoji technologie přípravy objemových a tenkovrstvých materiálů. S využitím optických, luminiscenčních, magnetických a fotoelektronových spektroskopických metod jsme řešili výzkumné programy v rámci projektů (celkem 7 mezinárodních a 12 domácích projektů) v několika skupinách převážně optických materiálů.

Ve skupině *luminiscenčních a scintilačních materiálů* probíhal výzkum nových perspektivních materiálů vhodných k detekci ionizujícího záření, ke konstrukci la-
ditelných zdrojů bílého světla na bázi LED nebo k použití v pevnolátkových laserech pro infračervenou oblast. Z této poslední oblasti stojí za zmínku zcela unikátní skupina ternárních sulfidů na bázi KLuS₂ dopovaných ionty Yb³⁺ a Tm³⁺ [1]. Materiály (matrice) s nízkou hodnotou energie fononů dopované ionty vzácných zemin jsou obecně velmi důležité pro konstrukci pevnolátkových laserů operujících v infračervené oblasti (takzvané mid-infrared lasery). Energie fononů ovlivňuje jednak celkový rozsah transparentnosti v IR, dále míru multifononové relaxace, a v neposlední řadě fononově-zprostředkovaný přenos energie, který může depopulovat (nebo populovat) energetické hladiny materiálu laseru. Spolu s kolegy katedry Fyzikální elektroniky při ČVUT a Univerzity Bicocca v Miláně jsme jako první na světě syntetizovali (Ing. Lubomír Havlák) a popsali vibrační a optické vlastnosti matrice KLuS₂ dopované ionty Yb³⁺ a Tm³⁺. Výsledky měření Ramanových spekter ukázaly na hodnotu energie fononů matrice KLuS₂ E_f ≈ 220 cm⁻¹, což je srovnatelné s dalšími materiály s nízkou hodnotou energie fononů, jako jsou



■ Obr. 54 Fotoluminiscenční spektra vzorků KLuS₂ dopovaných ionty Tm³⁺ v různých koncentracích (5 a 38%) měřená při pokojové teplotě pro excitační vlnovou délku 793 nm. V pravém horním rohu je vložený energetický diagram hladin iontu Tm³⁺, který slouží k přiřazení emisních pásmů daným přechodům.



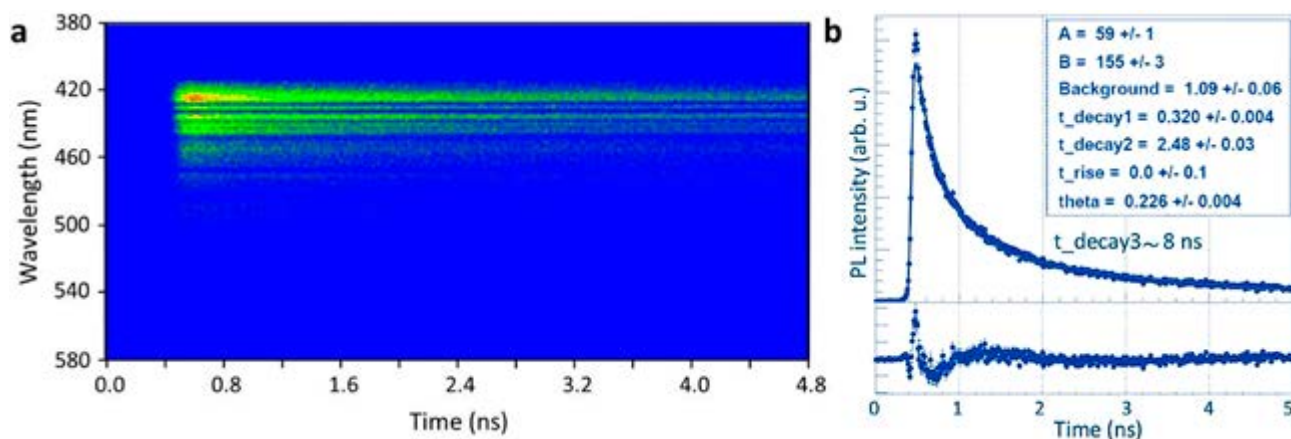
■ Obr. 55 Scintilační dosvity (excitované ¹³⁷Cs) vybraných scintilačních vláken s různou koncentrací nadbytku Al³⁺ v tavenině a ko-dopantu Mg²⁺.

např. ZnSe ($E_f \approx 250 \text{ cm}^{-1}$), K₂Pb₂Cl₅ ($E_f \approx 200 \text{ cm}^{-1}$). Emisní linie při 0,81, 1,43 a 2,4 μm pramenící z hladiny ³H₄ iontu Tm³⁺, které jsou ve většině materiálů dopovaných ionty Tm³⁺ zhasáeny, jsou v matici KLuS₂ mimořádně intenzivní. Příslušné fotoluminiscenční emisní spektrum můžeme vidět na obr. 54. Navíc, monoexponenciální dosvit s hodnotou doby života 430 μs poukazuje na to, že Tm-Tm cross-relaxační proces depopulace hladiny ³H₄ je silně potlačen, právě díky nízké hodnotě energie fononů a přechody z hladiny ³H₄ tedy mohou být využity ke generaci laserového záření. Navíc za pomoci metod elektron-paramagnetické rezonance (EPR) bylo zjištěno, že ionty Yb³⁺ jsou v materiálu KLuS₂:Yb distribuovány homogenně, protože žádný EPR signál, který by mohl pocházet z párových Yb³⁺-Yb³⁺ center, nebyl pozorován.

V oblasti materiálů vhodných k detekci ionizujícího záření na poli fyziky vysokých energií můžeme vyzdvihnout spolupráci skupiny luminiscenčních a scintilačních

materiálů s ústavem scintilačních materiálů v Charkově, ústavem Lumière Matière na universitě v Lyonu, CERNem a Evropským synchrotronovým komplexem v Grenoblu při vývoji scintilačních vláken na bázi granátů dopovaných ionty Ce³⁺ a Mg²⁺. Krystalická scintilační vlákna jsou v dnešní době považována za potenciální náhradu objemových scintilačních materiálů pro budoucí detektory na urychlovačích. Například možnost současné detekce Čerenkovova záření a scintilačního světla byla popsána u nedopovaného LuAGu a LuAGu dopovaného ionty Ce³⁺. Pro podobné aplikace jsou nutná dostatečně dlouhá vlákna (> 20 cm) s vysokou transparentností (lineární délka zeslabení > 40 cm), aby se minimalizovaly ztráty světla. Dalším požadavkem je pak scintilační doba života pod 40 ns. Významného pokroku v transparentnosti vláken na bázi YAGu dopovaného Ce³⁺ bylo dosaženo v [2] přidáním nadbytku Al³⁺ do taveniny a následným optimalizováním teplotních podmínek krystalizace při pěstování vláken metodou μ-PD. Výsledkem byla vlákna s lineární délkou zeslabení až 38 cm pro 22 cm dlouhé vlákno YAGu dopovaného ionty Ce³⁺. Přidání Mg²⁺ iontů nezlepšuje lineární délku zeslabení. Scintilační doba života dominantní komponenty měřená ve vláknech na bázi YAG:Ce se snížila ze 142 ns na 80 ns ko-dopováním ionty Mg²⁺ s relativně nízkou koncentrací, obr. 55. Protože v případě vláken rostlých a žíhaných v optimalizovaných podmínkách ko-dopování Mg²⁺ ionty příliš neovlivňuje lineární délku zeslabení, vlákna s vyšší koncentrací Mg²⁺ iontů by měla být schopná poskytnout scintilační dobu života pod kýžených 40 ns.

Jak již bylo naznačeno výše, anorganické scintilátory se běžně používají pro detekci ionizujícího záření v různých aplikacích. Velká část zájmu se dnes zaměřuje na aplikace typu zobrazovacích systémů pro lékařské diagnostiky. Pro zobrazování pozitronovou emisní tomografií (PET) jsou klíčovými parametry kvalita rekonstruovaného



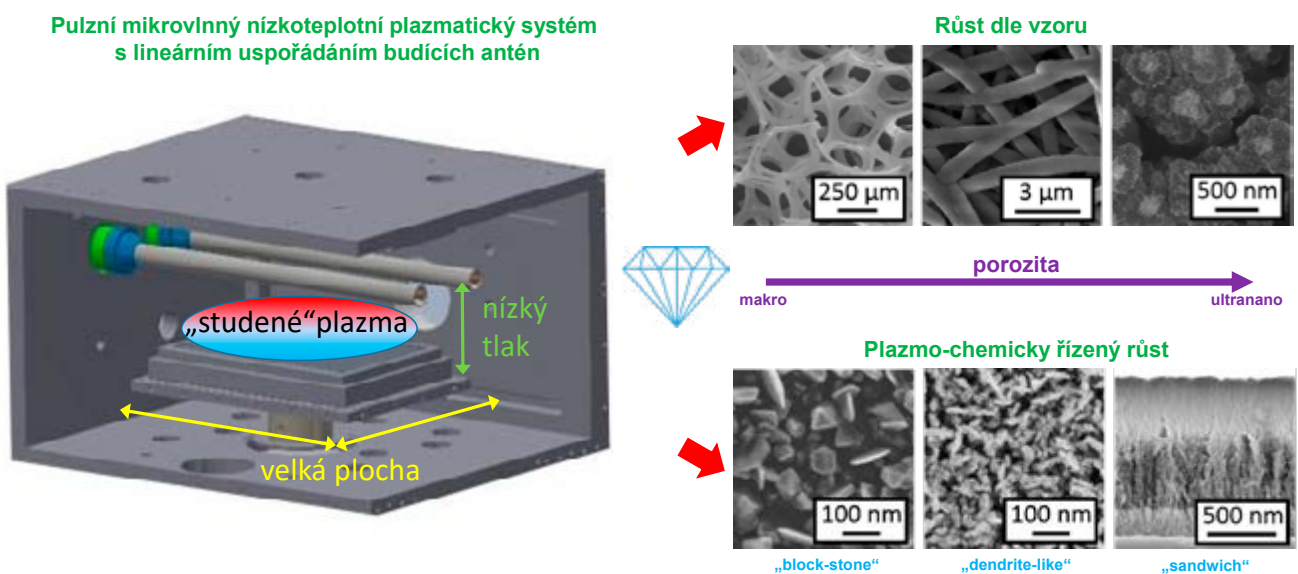
■ Obr. 56 Časově rozlišené fotoluminiscenční spektrum modré emise koloidního vzorku nanočásticových CsPbBr₃ s maximem při 425 nm (a) a jeho dosvitová křivka (b).

obrazu spolu s možností detekce malých nádorů a přístupu k dynamicky odlišným molekulárním drahám s minimální radioaktivní dávkou injektovanou pacientovi. To klade zvláštní požadavky na vlastnosti scintilačního materiálu. Požadovaného rozlišení časové koincidence (CTR) v řádu 100 ps lze dosáhnout využitím materiálu s vysokým scintilačním světelným výtěžkem a velmi rychlými časy náběhu a dosvitu scintilace. Ve snaze posunout CTR ještě níže až na 10 ps je třeba využít mechanismů emise superychlých fotonů. Jednou z možností je využít koloidní (nanočásticové) perovskity na bázi halogenidů cesno-olovnatých, na jejichž výzkumu spolupracují autoři ze skupiny luminiscenčních a scintilačních materiálů s kolegy z katedry Jaderné chemie fakulty jaderné a fyzikálně inženýrské a CERNu [3]. Jedná se o polovodičové materiály se subnanosekundovou excitonovou emisí, obr. 56. Tyto materiály se vyznačují vysokými kvantovými výtěžky (blížíci se se 100%) a úzkými emisními pásy. Jedna z jejich největších výhod je snadná laditelnost vlnové délky emise. Tyto materiály emitují ve viditelné oblasti a barva emise nezávisí pouze na jejich rozměrech, jak je typické pro polovodičové kvantové tečky (typickými zástupci jsou např. selenidy kademnaté CdSe), ale také na tom, jaký konkrétní halogenid či jejich směs je v aniontu této struktury, obr. 56. V modré oblasti emitují chloridy, v zelené bromidy a v červené jodidy. Všech ostatních vlnových délek lze dosáhnout kombinováním Cl/Br a Br/I v různých poměrech. Tato kontrola vlnové délky emise je výhodnější oproti prosté kontrole velikosti částic v tom, že lze materiál ladit i po syntéze díky tzv. aniontové výměně.

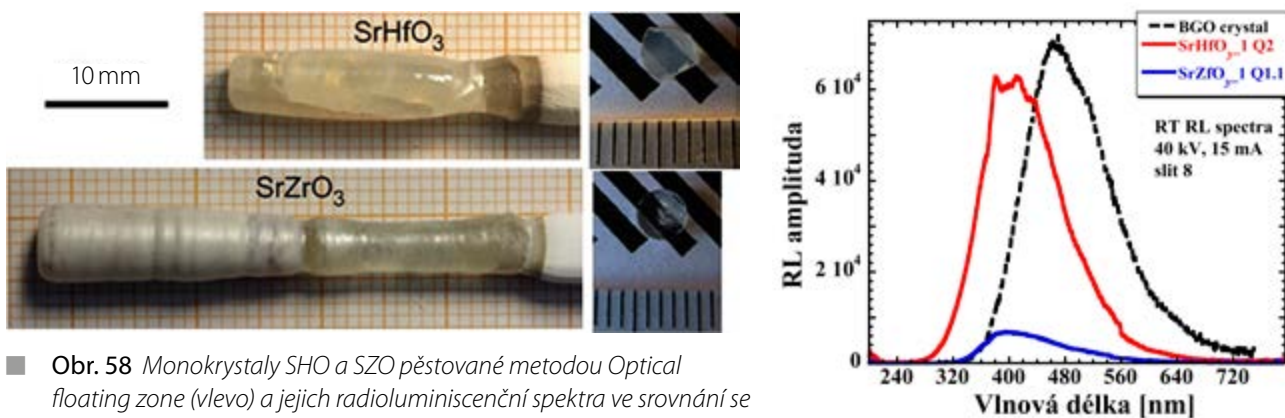
Ve skupině diamantových vrstev a uhlíkových nanostruktur jsme se intenzivně věnovali zejména: i) optima-

lizaci CVD technologie tvorby porézních diamantových struktur [4], ii) vývoji impedančních diamantových biosenzorů růstu kmenových buněk monitorovaných v reálném čase [5], iii) studiu katalyticky indukované grafitizace diamantové tenké vrstvy [6], iv) komplexnímu studiu interakce molekul albuminu s plazmaticky aminovaným povrchem diamantu [7], v) elektrochemickému čištění biologicky kontaminovaných vod použitím borem dopovaných elektrod, vi) pochopení tvorby biofilmu v prvotním stadiu růstu [8], vii) interakci lidských buněk s diamantovými polymerními kompozity, a viii) zabudováním opticky aktivních center v diamantu (Si-V, Ge-V) a jejich studiu pomocí realizovaných optických prvků [9]. Uvedené tematiky byly řešeny v úzké spolupráci s odděleními 26 a 15 Fyzikálního ústavu AV ČR a s externími pracovišti (Viedeňská univerzita, Danubia Nanotech, STU centrum pro diagnostiku, Přírodovědecká fakulta UK v Praze, Fyziologický ústav AV ČR, FEL ČVUT v Praze, a jiné). Výsledky získané v rámci řešení uvedených tématik byly publikovány ve 14 odborných publikacích.

V oblasti studia růstu porézních diamantových struktur použitím chemické depozice z par plynů (CVD) v MW plazmatickém systému s lineárním uspořádáním antén jsme úspěšně optimalizovali dvě různé metody, tj. růst diamantů na již strukturovaných (makro-, mikro- a nanorozměrných) porézních substrátech (metoda shora-dolů) a přímý růst ultrananoporézních diamantových vrstev (metoda zdolana-horu) – obr. 57. Samotná tvorba porézních struktur byla technologicky regulována plazmochemickým procesem (směs plynů, pracovní tlak a teplota) při růstu a procesem aktivace/nukleace povrchu substrátu před započítím růstu diamantové struktury. Výsledný charakteristický rozměr



■ Obr. 57 Schematický náčrt pulzního plazmatického mikrovlnného systému s lineárním uspořádáním antén (vlevo) a depozovaných různých porézních struktur na bázi diamantu (vpravo).



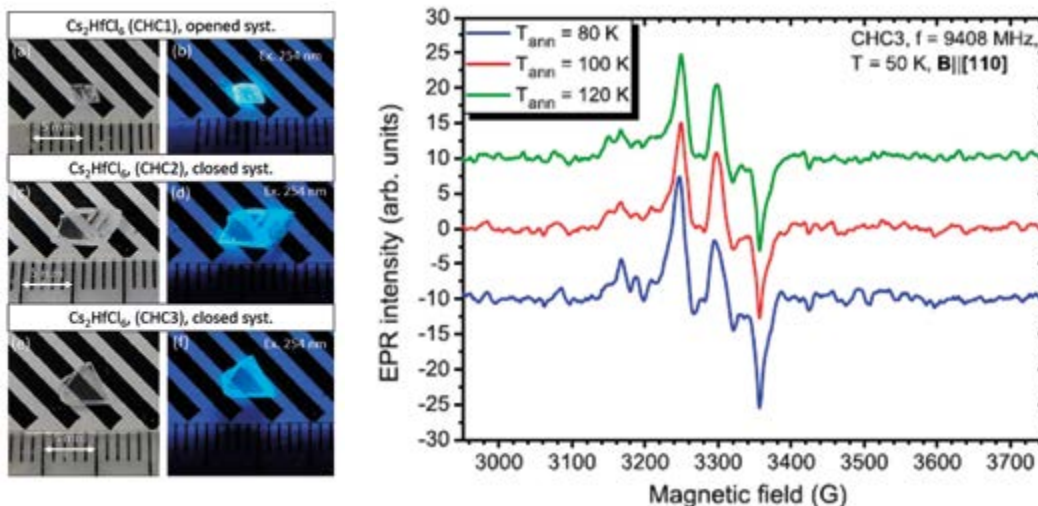
■ Obr. 58 Monokrystaly SHO a SZO pěstované metodou Optical floating zone (vlevo) a jejich radioluminiscenční spektra ve srovnání se standardem Bi₄Ge₃O₁₂ (BGO).

realizovaných pórů byl cíleně kontrolován v řádu jednotek milimetrů (makro) a snižován přes hodnoty mikrometrů (mikro) až na desítky nanometrů (nano). Uvedené široké spektrum poréznych diamantových struktur se jeví jako vysoce perspektivní pro interdisciplinární oblasti aplikovatelné například jako filtry pro chromatografii nebo biomedicínu, uchovávání energie, elektrochemie a (bio-) senzorka, fotokatalytické materiály apod.

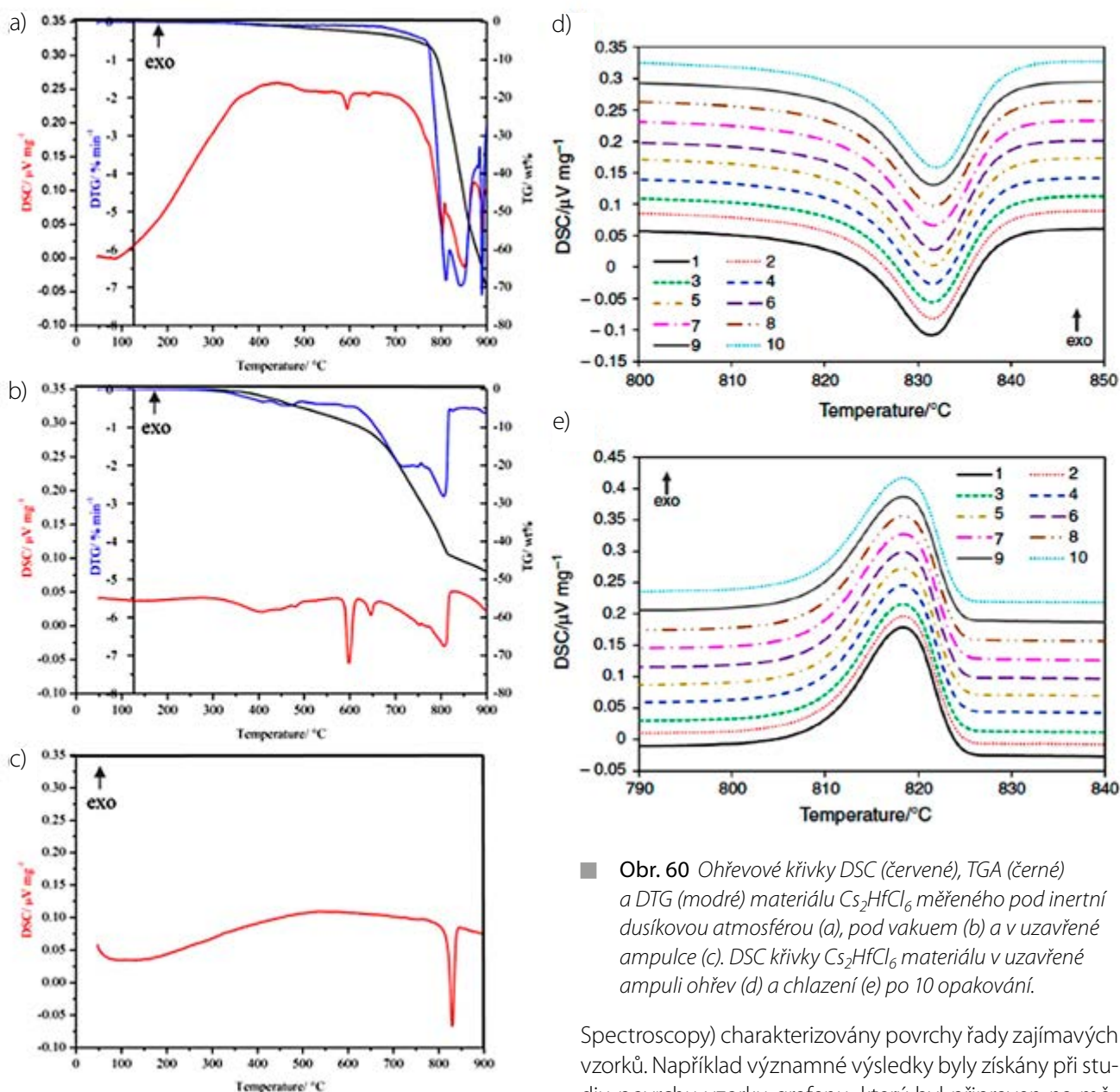
Ve skupině přípravy optických materiálů a termické analýzy byly ve spolupráci s německým IKZ (Leibniz-Institut für Kristallzüchtung) a s VŠCHT v Praze připraveny a studovány monokrystaly hafničitanu strontnatého, SrHfO₃ (SHO) a zirkoničitanu strontnatého SrZrO₃ (SZO). Dřívější výzkumy ukázaly, že tyto materiály mají velmi zajímavé scintilační vlastnosti, jako je vysoká scintilační účinnost a rychlá odezva. Tyto výzkumy ovšem byly prováděny pouze na materiálech v práškové formě, neboť jejich vysoké teploty tání (2730 °C pro SHO a 2646 °C pro SZO) doposud bránily jejich přípravě ve formě monokrystalů. Unikátní metodou Optical floating zone (OFZ) se podařilo vypěstovat transparentní monokrystaly (obr. 58) a vůbec poprvé studovat jejich luminiscenční a scintilační charakteristiky. Byly zjištěny překvapivě odlišné charakteristiky

ve srovnání s práškem, jako je poměrně výrazný posun emise obou materiálů k delším vlnovým délkám a zrychlení luminiscenční odezvy. Celková scintilační účinnost (intenzita časově nerozlišené radioluminiscence) SHO byla zhruba srovnatelná s účinností standardního scintilátoru Bi₄Ge₃O₁₂ (BGO), zatímco účinnost SZO byla ještě nižší (obr. 27-5). Změny ve scintilačních vlastnostech monokrystalů ve srovnání s práškovými analogy byly způsobeny modifikací luminiscenčních center a defektů v materiálu v extrémních podmínkách při růstu krystalů [10]. Probíhá další výzkum s cílem optimalizovat přípravu materiálů a vylepšit jejich parametry.

Dále pokračovalo studium materiálu a krystalů chloridu cesno-hafničitého (Cs₂HfCl₆), které byly připraveny vertikální Bridgmanovou metodou. Z připravených monokrystalů byly připraveny vzorky (obr. 59, vlevo) pro následná měření teplotních závislostí optických, luminiscenčních a magnetických vlastností. Na obr. 59, vpravo, je zobrazeno spektrum elektronové paramagnetické rezonance (EPR) zachycené při třech různých teplotách. V kombinaci se stimulovanou termoluminiscenční analýzou (TSL) bylo možné popsat vliv nestechiometrie scintilační mechanismus v Cs₂HfCl₆ matici [11].



■ Obr. 59 Vzorky tří krystalů Cs₂HfCl₆ (vlevo) a EPR spektrum vzorku CHC3 měřeného při třech různých teplotách (vpravo).



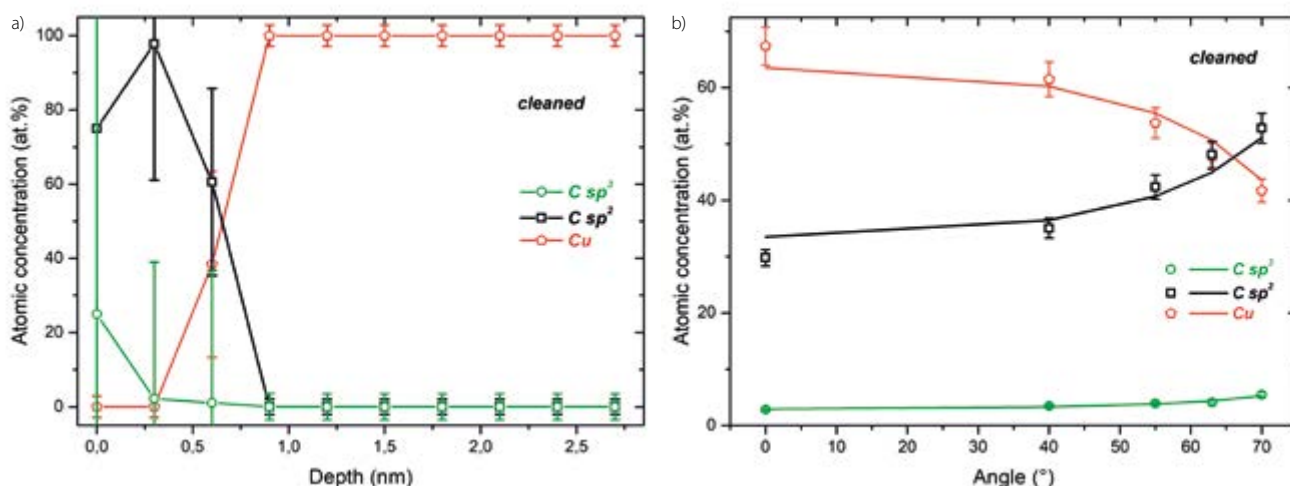
■ Obr. 60 Ohřevové křivky DSC (červené), TGA (černé) a DTG (modré) materiálu Cs_2HfCl_6 měřeného pod inertní dusíkovou atmosférou (a), pod vakuem (b) a v uzavřené ampulce (c). DSC křivky Cs_2HfCl_6 materiálu v uzavřené ampuli ohřev (d) a chlazení (e) po 10 opakování.

Dále byly studovány tepelné vlastnosti stechiometrického syntetizovaného materiálu Cs_2HfCl_6 s pomocí simultánní diferenciální termické analýzy (DSC) a termogravimetrie (TGA) měřené pod inertní dusíkovou atmosférou (obr. 60a), pod vakuem (obr. 60b) a v uzavřené ampuli (obr. 60c). Měření ukázala velkou nestabilitu Cs_2HfCl_6 materiálu při tepelném zatížení jak pod dusíkovou atmosférou, tak pod vakuem a jeho významný rozklad nad eutektickou teplotou. Naopak, v uzavřené ampuli byl Cs_2HfCl_6 stabilní a bylo možné určit jeho teplotu tání (obr. 60c). Opakovaná měření potvrdila stabilitu Cs_2HfCl_6 i při opakovaném tepelném zatížení, viz ohřevové (obr. 60d) a chladičí (obr. 60e) DSC křivky [12].

Ve skupině fotoelektronové spektroskopie byly v průběhu roku 2019 pomocí metody XPS (X-ray Photoelectron

Spectroscopy) charakterizovány povrchy řady zajímavých vzorků. Například významné výsledky byly získány při studiu povrchu vzorku grafenu, který byl připraven na měděné polykrystalické folii metodou depozice z chemických par.

Grafen je v současné době jedním z nejlépe studovaných materiálů. Důvodem pro tento extrémní zájem jsou jeho vynikající vlastnosti, které předurčují využití grafenu v mnoha oblastech vědy a techniky. Existuje celá řada metod, které jsou používány pro jeho přípravu. Avšak vzniklý grafen není ve většině případech tvořen homogenní sítí pravidelně uspořádaných atomů uhlíků. Ve vrstvách grafenu se vyskytují různé poruchy, které mění jeho vlastnosti. Rovněž podložky, na kterých je grafen narostlý, ovlivňují některé jeho specifické parametry. Grafen připravený jednou z metod je po vyjmutí z aparatury vystaven působení okolní atmosféry. Tím dojde k pokrytí jeho povrchu adsorbáty složenými z uhlíku a kyslíku.



■ **Obr. 61** a) Hloubkové koncentrační profily atomů uhlíku a mědi očistěného grafenu narostlého na polykrystalické měděné folii. Chybové intervaly dokumentují spolehlivost výpočtů získaných průběhů koncentrací. Plné čáry na obr. b) představují úhlovou závislost zdánlivých koncentrací uvedených prvků. Tyto koncentrace byly vypočteny z rekonstruovaných hloubkových profilů podle křivek zobrazených v grafu a). Chybové intervaly v grafu b) zobrazují experimentální neurčitosti a body představují experimentálně získané koncentrace sloužící jako vstupní data pro výpočet koncentračních profilů.

Následně může kyslík proniknout pod grafenovou vrstvu v důsledku nehomogenit v této vrstvě a reagovat s atomy substrátu. Proto byla učiněna řada pokusů zbavit povrch připravených systémů grafen/podložka od nežádoucích prvků. Experimenty ukázaly, že nejúčinnější způsob, jak vyčistit povrchu takového systému, je vyhřátí vzorku v podmínkách ultravysokého vakua.

Znalosti o hloubkovém rozložení prvků na povrchu systému grafen/podložka nejsou známy. Při studiu této problematiky jsme se zaměřili na grafen připravený na povrchu polykrystalické měděné fólie [13]. Uvedený systém byl nejprve detailně charakterizován pomocí Ramanovy spektroskopie. Dále bylo zaznamenáno Augerovo spektrum uhlíku C KLL a změněna úhlově závislá spektra fotoelektronových linií C 1s, O 1s a Cu 3p. Následně byl z těchto spekter pomocí programu MEM (Maximum Entropy Method) určen hloubkový koncentrační profil uhlíku, kyslíku a mědi.

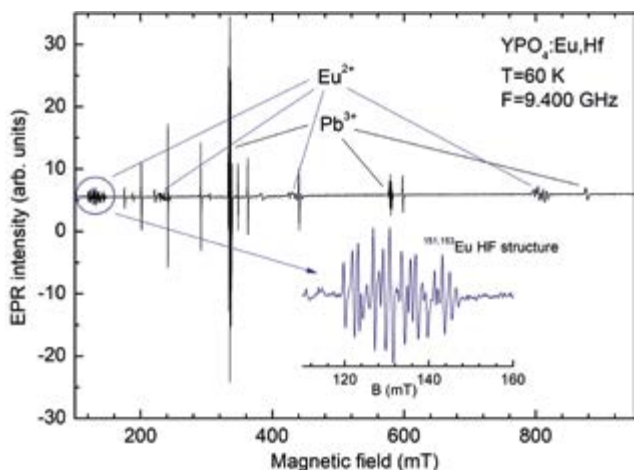
Rozložením fotoelektronových spekter lze stanovit přítomnost různých chemických stavů daného prvku na povrchu studovaného vzorku. Na základě tohoto byla určena přítomnost chemických vazebních stavů C-O, Cu-O, $C\ sp^2$ a $C\ sp^3$ v různých hloubkách pod povrchem vzorku grafen/Cu. Na obr. 61a je ukázána rekonstrukce hloubkových koncentračních profilů vyčištěného vzorku grafenu narostlého na polykrystalické měděné folii. Hloubkový profil uhlíku ukazuje dominantní příspěvek vazby $C\ sp^2$ a menší podíl chemického stavu $C\ sp^3$. Vazba $C\ sp^3$ je lokalizována na povrchu vzorku, jak lze očekávat z přítomnosti poruch vzniklých při vyhřívání vzorku. Koncentrace mědi je nulová až do hloubky 0,3 nm. To dokazuje homogenní pokrytí substrátu vrstvou grafenu. Obr.

61b dokládá dobrý souhlas mezi hodnotami koncentrací určenými na základě dat získaných z fotoelektronových spekter a stejnými údaji, avšak vypočtenými z rekonstruovaných koncentračních profilů z obr. 61a. Výsledky získané v tomto článku potvrzují, že nedestruktivní hloubkové profilování poskytuje cenné kvantitativní informace o složení a o struktuře chemických stavů prvků systému grafen/měď. Vzájemné doplnění informací získaných z úhlově rozlišených fotoelektronových spekter a programu MEM rovněž ukazuje na velký aplikační potenciál, který je možné využít při aplikaci obou metod ke studiu povrchových vlastností 2D materiálů.

Aktivity skupiny magnetických rezonančních spektroskopii se soustředily na detailní výzkum přenosu energie a procesy záchytu náboje ve scintilačních materiálech a také na fyziku defektů v pevných látkách.

Záchyt náboje (elektrony nebo díry) byl studován v yttritých ($Y_3Al_5O_{12}$) a lutecitých ($Lu_3Al_5O_{12}$) hlinitých granátech, protože obě tyto látky dopované luminiscenčními ionty Ce^{3+} nebo Pr^{3+} působí jako velmi účinné scintilátory. Naše studium ukázalo, že F^+ -centra, přítomná v krystalech vypěstovaných s nedostatkem kyslíku, vykazují chování v závislosti na teplotě stejné jako donory v polovodiči [14]. Pokud víme, je to úplně první pozorování donorového chování F^+ -center v dielektrických krystalech se širokým pásem zakázaných energií. Záchyt elektronů a děr byl studován korelovanými experimenty EPR a TSL také v $PbMoO_4$, Cs_2HfCl_6 a $Lu_2Si_2O_7$ krystalech perspektivních pro aplikace jako nové scintilátory [11, 15].

EPR spektroskopie v X- a Q-pásech byla použita pro sledování záchytu nosičů nábojů po ozáření rentgenovými paprsky v $LuPO_4: Eu$, $LuPO_4: Eu$, Hf a $YPO_4: Eu$, Hf mo-

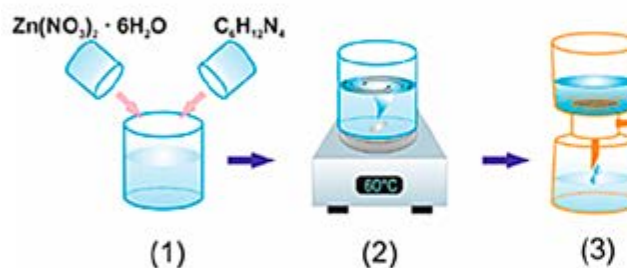


■ Obr. 62 Spektrum EPR v krystalu $\text{YPO}_4:\text{Eu,Hf}$ po rentgenovém ozáření. Výřezový obrázek ukazuje hyperjemnou strukturu od izotopů ^{151}Eu a ^{153}Eu .

nokrystalech pěstovaných z roztoku a také v sintrovaných keramikách $\text{LuPO}_4:\text{Eu}$ [16]. Tato data byla doplněna termoluminiscenčními (TL) studii stejných kompozic. Korelované výsledky EPR a TL spektroskopii prokázaly (obr. 62), že v ortofosfátech je Eu^{3+} účinným centrem záchytu elektronů, zatímco díry mohou být zachyceny jak na příměsových iontech, jako Pb^{2+} , tak i lokalizovány na kyslíkových aniontech, případně stabilizovány blízkými defekty, např. vakancemi Lu.

Takto získaná data o podstatě barevných center a příslušných záchytných poloh a povaze aktivačních iontů jsou kriticky důležitá pro další optimalizaci všech skupin oxidových a halogenidových scintilačních materiálů.

Skupina optické spektroskopie tenkých vrstev se dlouhodobě zaměřuje na základní výzkum vlastností tenkých vrstev, nanostruktur, vlivu plasmatické modifikace na chemické a fyzikální vlastnosti povrchu a rozhraní a na optické vlastnosti nových materiálů pro budoucí generace solárních článků, optoelektronických zařízení, plynových senzorů a biosenzorů. Ve spolupráci s Ústa-



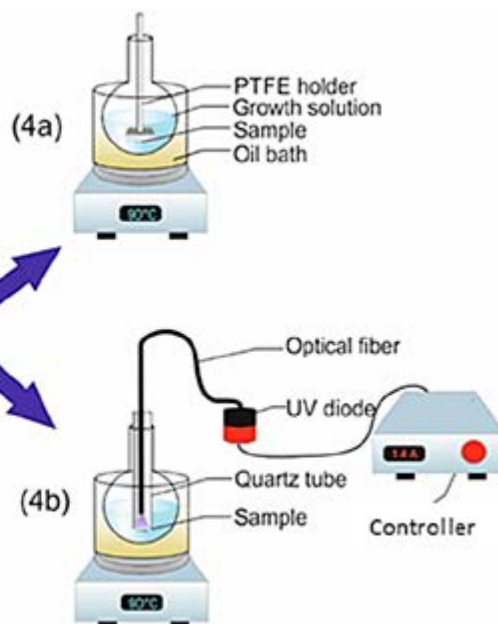
■ Obr. 63 Schematický popis technologie růstu tenkých vrstev uspořádaných ZnO nanosloupků zahrnující přípravu roztoku a míchání (1), zahřívání (2), filtraci (3) a růst ZnO nanosloupků na podložkách za tmy (4a) a pod UV osvětlením (4b).

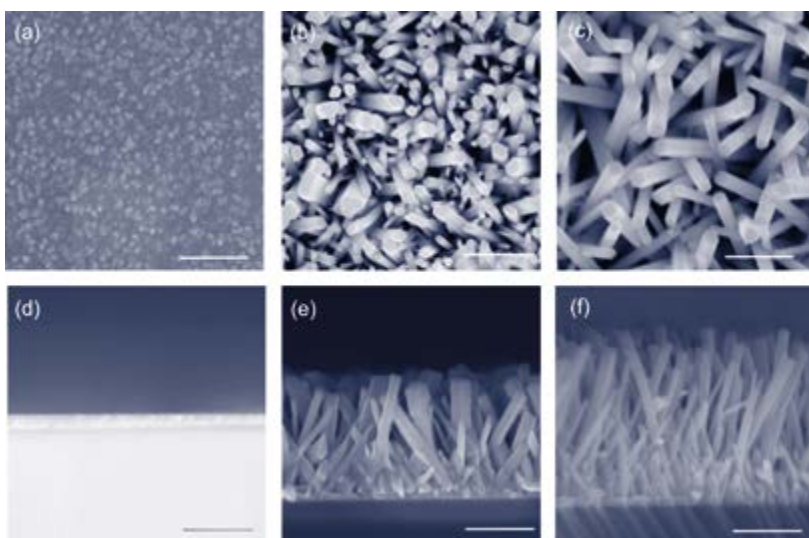
vem makromolekulární chemie Akademie věd ČR, v. v. i., jsme v roce 2019 úspěšně dokončili projekt *Studium optoelektronických procesů v hybridních systémech pro solární články třetí generace a projekt aplikovaného výzkumu Rozšíření plazmochemického reaktoru pro modifikaci povrchu hybridních nanostruktur*, který byl řešen ve spolupráci s českou firmou SVCS Process Innovation s. r. o. Ve spolupráci s Fakultou elektrotechnickou ČVUT v Praze řešíme projekt *Manipulace vlastností rozhraní oxidů přechodových kovů* Projekt GA ČR v programu mezinárodní spolupráce *Přenos náboje a mikrobiologické interakce hybridních nanostruktur oxidů kovů* řešíme ve spolupráci s Fakultou elektrotechnickou ČVUT v Praze a National Pingtung University, Taiwan.

V rámci běžících projektů jsme vyvinuli hydrotermální syntézu tenkých vrstev kolmo orientovaných nanosloupků ZnO pod UV osvětlením, viz obr. 63 a obr. 64. Výsledky ukázaly významné prodloužení délky ZnO nanosloupků, zlepšení jejich uniformity a zvýšení kvality [17].

V roce 2019 jsme vyvinuli ve spolupráci s Centrem pokročilé fotovoltaiky na Fakultě elektrotechnické ČVUT v Praze solární článek na bázi hybridních perovskitových materiálů s účinností přes 17 % [18]. Vysoké účinnosti bylo dosaženo optimalizací koncentrace lithia v mezoporézní struktuře $\text{TiO}_2/\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$, obr. 65.

Fotodegradační procesy doprovázené nárůstem koncentrace hlubokých defektů souvisejících s lokalizovanými elektronovými stavy v oblasti zakázaného pásu polovodiče byly studovány na našem pracovišti ve spolupráci s předním švýcarským pracovištěm v oblasti fotovoltaiky Institute of Microengineering (IMT), École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), Neuchâtel. Pro detekci defektů využíváme především dvě unikátní spektroskopické





■ Obr. 64 Skenovací elektronové mikrofotografie (SEM) ZnO nukleační vrstvy v pohledu shora (a, d), ZnO nanosloupeků vypěstovaných ve tmě (b, e) a pod UV osvětlením (c, f) v pohledu shora a v řezu. Měřítko: 500 nm

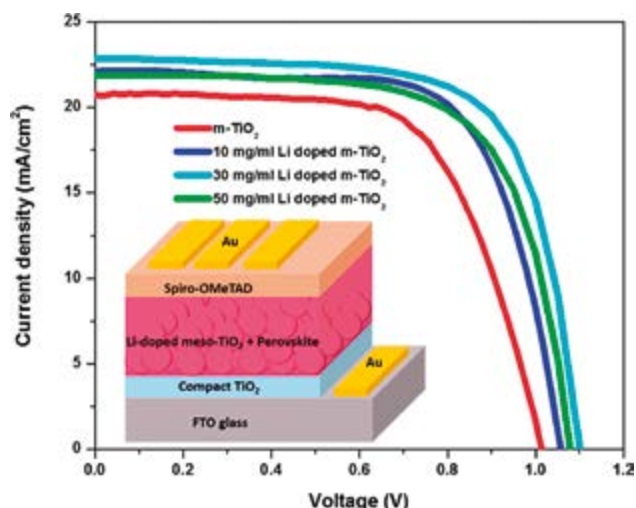
techniky vyvinuté v naší skupině v posledních dvou desetiletích – spektroskopii fotoproudu FTPS (Fourier Transform Photocurrent Spectroscopy) a fototermální spektroskopii PDS (Photothermal deflection spectroscopy). Pokročilé metody charakterizace eliminující přechodné jevy odhalily podrobnosti o reverzibilní degradaci hybridních perovskitů indukovanou světlem a to i bez přítomnosti kyslíku, obr. 66. Systematické srovnání materiálů perovskitu připravených různými metodami ukazuje, že toto chování je způsobeno zbytkovou fází halogenidu olova, která je přítomna v materiálu připraveném dvoustupňovou metodou [19].

Dne 3. 7. 2019 nám byl udělen národní patent [20] na otočný držák práškového vzorku do nízkotlakého plazmového reaktoru. Držák rozšiřuje možnosti laboratorního

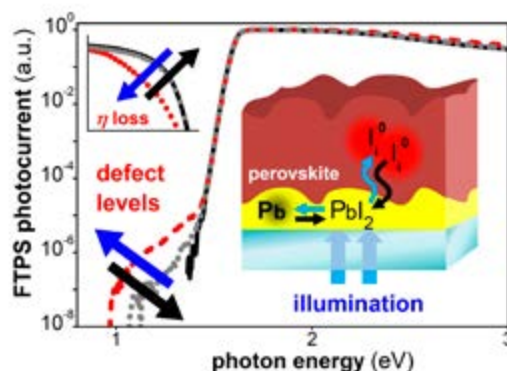
plazmochemického reaktoru firmy SVCS Process Innovation, s. r. o. používaného na našem pracovišti pro plazmovou úpravu povrchů nanostrukturovaných tenkých vrstev a práškových vzorků.

Literatura

- [1] J. Šulc, R. Švejkar, M. Fibrich, H. Jelínková, L. Havlák, V. Jarý, M. Ledinský, M. Nikl, J. Bárta, M. Buryi, R. Lorenzi, F. Cova, A. Vedda: "Infrared spectroscopic properties of low-phonon lanthanide-doped KLuS₂ crystals." *J. Lumin.* **211** (2019) 100–107.
- [2] O. Sidletskiy, K. Lebbou, D. Kofanov, V. Kononets, I. Gerasymov, R. Bouaita, V. Jary, R. Kucerkova, M. Nikl, A. Polesel, K. Pauwels, E. Auffray: "Progress in fabrication of long transparent YAG:Ce and YAG:Ce,Mg single crystalline fibers for HEP applications". *CrystEngComm* **21** (2019) 1728–1733.



■ Obr. 65 Schematické znázornění n-i-p mezoskopické struktury perovskitových solárních článků a charakteristiky proudové hustoty a napětí nejúčinnějších článků vyrobených na mezoporézních substrátech TiO₂ (m-TiO₂) nedopovaných a dopovaných lithiem.



■ Obr. 66 Schematické znázornění struktury perovskitových tenkých vrstev a charakteristiky spektrálně závislého fotoproudu měřeného metodou FTPS s optickou absorpční hranou u 1,5 eV a nárůstem koncentrace defektů pod absorpční hranou po ozáření modrým světlem.

- [3] K. Tomanová, V. Čuba, M. G. Brik, E. Mihóková, R. Martinez Turtos, P. Lecoq, E. Auffray, M. Nikl: "On the structure, synthesis, and characterization of ultrafast blue-emitting CsPbBr₃ nanoplatelets". *APL Mater.* **7** (2019) 011104 (12 pages).
- [4] M. Varga, S. Potocký, M. Domonkos, T. Izak, O. Babcenko, A. Kromka: Great variety of man-made porous diamond structures: "Pulsed microwave cold plasma system with a linear antenna arrangement". *ACS Omega* **4** (2019) 8441–8450.
- [5] V. Procházka, R. Matějka, T. Ižák, O. Szabó, J. Štěpanovská, E. Filová, L. Bačáková, V. Jirásek, A. Kromka: "Nanocrystalline diamond-based impedance sensors for real-time monitoring of adipose tissue-derived stem cells". *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces* **177** (2019) 130–136.
- [6] S. Tulic, T. Waitz, M. Caplovicova, G. Habler, M. Varga, M. Kotlar, V. Vretenar, O. Romanyuk, A. Kromka, B. Rezek, V. Skakalova: "Covalent Diamond–Graphite Bonding: Mechanism of Catalytic Transformation", *ACS Nano* **13** (2019) 4621–4630.
- [7] H. Kozak, A. Artemenko, E. Ukrainsev, A. Choukurov, B. Rezek, A. Kromka: "Infrared absorption spectroscopy of albumin binding with amine-containing plasma polymer coatings on nanoporous diamond surfaces". *Langmuir* **35** (2019) 13844–13852.
- [8] P. Štenclová, S. Freisinger, H. Barth, A. Kromka and B. Mizaikoff: "Cyclic changes in the amide bands within Escherichia coli biofilms monitored by real-time infrared attenuated total reflection spectroscopy". *Appl. Spectros.* **73** (2019) 424–432.
- [9] J. Fait, M. Varga, K. Hruška, Z. Remeš, V. Jurka, A. Kromka, B. Rezek, L. Ondič: "Maximized vertical photoluminescence from optical material with losses employing resonant excitation and extraction of photonic crystal modes". *Nanophotonics* **8** (2019) 1041–1050.
- [10] J. Pejchal, C. Guguschev, M. Schulze, V. Jary, E. Mihokova, K. Rubesova, V. Jakes, J. Barta, M. Nikl: "Luminescence and scintillation properties of strontium hafnate and strontium zirconate single crystals". *Opt. Mater.* **98** (2019) 109494 (7 pages).
- [11] M. Buryi, R. Král, V. Babin, J. Páterek, V. Vaněček, P. Veverka, M. Kohoutková, V. Laguta, M. Fasoli, I. Villa, F. Cova, A. Vedda, M. Nikl: "Trapping and Recombination Centers in Cesium Hafnium Chloride Single Crystals: EPR and TSL Study". *J. Phys. Chem. C* **123** (2019) 19402–19411.
- [12] R. Král, P. Zemenová, V. Vaněček, A. Bystřický, M. Kohoutková, V. Jary, S. Kodama, S. Kurosawa, Y. Yokota, A. Yoshikawa, M. Nikl: "Thermal analysis of cesium hafnium chloride using DSC–TG under vacuum, nitrogen atmosphere, and in enclosed system". *J. Therm. Anal. Calorim.* (2019).
- [13] J. Zemek, J. Houdková, P. Jiříček, T. Ižák, M. Kalbáč: "Non-destructive depth profile reconstruction of single-layer graphene using angle-resolved X-ray photoelectron spectroscopy". *Appl. Surf. Sci.* **491** (2019) 16–23.
- [14] V. Laguta, M. Buryi, P. Arhipov, O. Sidletskiy, O. Laguta, M. G. Brik, M. Nikl: "Oxygen-vacancy donor-electron center in Y₃Al₅O₁₂ garnet crystals: Electron paramagnetic resonance and dielectric spectroscopy study", *Phys. Rev. B* **101** (2020) 024106(1)–024106(10). DOI: 10.1103/PhysRevB.101.024106.
- [15] M. Buryi, V. Laguta, M. Fasoli, F. Moretti, K. Jurek, M. Trubitsyn, M. Volnianskii, S. Nagorny, V. Shlegel, A. Vedda, M. Nikl: "Charge trapping processes and energy transfer studied in lead molybdate by EPR and TSL". *J. Lumin.* **205** (2019) 457–466.
- [16] V. Laguta, M. Buryi, M. Nikl, J. Zeler, E. Zych, M. Bettinelli: "Electron and hole trapping in Eu- or Eu,Hf-doped LuPO₄ and YPO₄ tracked by EPR and TSL spectroscopy", *J. Mater. Chem. C* **7** (2019) 11473–11482.
- [17] N. Neykova, Y. Y. Chang, M. Buryi, M. Davydova, R. Kucerkova, D. Simek, Z. Remes, O. Pop-Georgievski: "Study of ZnO nanorods grown under UV irradiation", *Appl. Surf. Sci.* **472** (2019) 105–111.
- [18] A. P. Amalathas, L. Landová, B. Conrad, J. Holovský: "Concentration-Dependent Impact of Alkali Li Metal Doped Mesoporous TiO₂ Electron Transport Layer on the Performance of CH₃NH₃PbI₃ Perovskite Solar Cells". *J. Phys. Chem. C* **123** (2019) 19376–19384.
- [19] J. Holovský, A. P. Amalathas, L. Landová, B. Dzurňák, B. Conrad, M. Ledinský, Z. Hájková, O. Pop-Georgievski, J. Svoboda, T. Ch.-J. Yang, Q. Jeangros: "Lead Halide Residue as a Source of Light-Induced Reversible Defects in Hybrid Perovskite Layers and Solar Cells". *ACS Energy Lett.* **4** (2019) 3011–3017.
- [20] Z. Remeš, Yu Ying Chang, "Otočný držák práškového vzorku, vakuová sestava vhodná pro umístění do nízkotlakého plazmového reaktoru, jejich použití a způsob plazmové modifikace práškového vzorku. PV2018-644", patent udělen 3. 7. 2019 pod č. CZ307913.



2.4 Sekce optiky v roce 2019

Výzkum v Sekci optiky je zaměřen na klasické a kvantové vlastnosti šíření optického záření, charakterizaci a optimalizaci optických materiálů a funkčních struktur pro široké spektrum aplikací. Dlouhodobě se zabýváme studiem a realizací nových plazmatických a optických technologií přípravy a modifikace povrchů, tenkovrstvých systémů a nanostruktur. Výrazného pokroku jsme dosáhli především v oblasti depozičních metod nízkoteplotního plazmatu a pulzní laserové ablace. Klíčovým tématem je problematika kvantové a nelineární optiky, kde jsme pokračovali ve výzkumu kvantových korelací a generace neklasických stavů na úrovni jednotlivých fotonů i klasických intenzit. V oblasti zpracování kvantové informace jsme se dále zabývali problematikou kvantové provázanosti. Významně jsme rozvinuli metody charakterizace mechanických vlastností tenkých vrstev a přispěli optickými technologiemi k pokrokům výzkumu ve velkých mezinárodních kolaboracích astročásticové fyziky. Důležitý je také nový mezioborový výzkum zaměřený na vývoj a aplikaci fyzikálních metod v regenerační medicíně a biologii. V tomto směru se podařilo dosáhnout velice zajímavých výsledků spojených s biofyzikou nanočástic, vysokogradientním magnetickým polem, laserovým zářením a nízkoteplotním plazmatem.

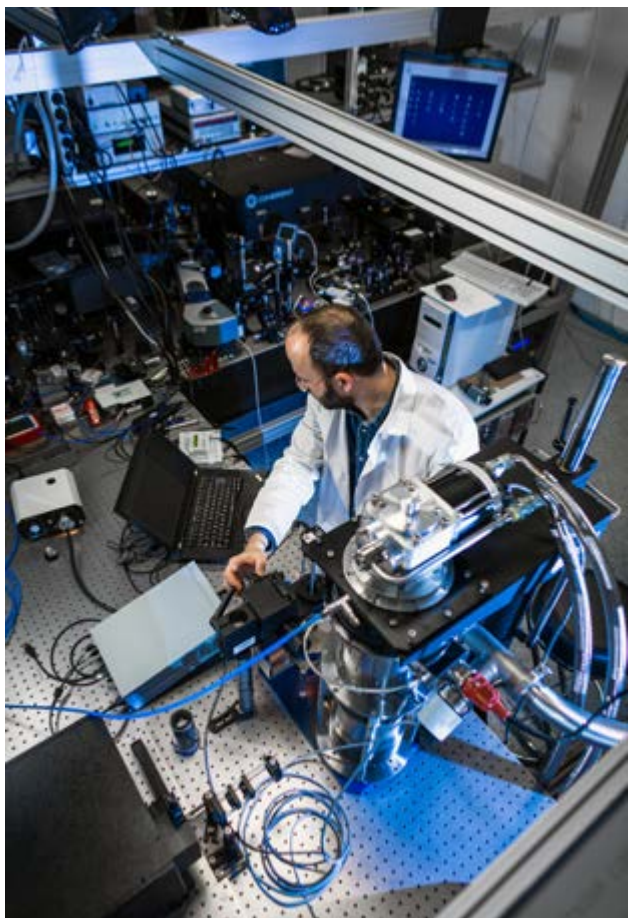
V listopadu 2019 byla úspěšně završena pětiletá doba udržitelnosti projektu FUNBIO-CZ.2.16/3.1.00/21568 financovaného z projektu OPPK. V rámci projektu bylo ve spolupráci skupin z FZÚ a vědeckých pracovišť zaměřených na biologii a lékařství prezentováno celkem 41 publikací v impaktovaných časopisech. V rámci spolupráce vznikla synergická spolupráce vědců napříč obory. V rámci velké výzkumné infrastruktury SAFMAT (www.fzu.cz/en/safmat), která rokem 2019 ukončila svůj provoz, byl prováděn materiálový výzkum široké škály materiálů zahrnující diamantové a nanodiamantové vrstvy, topologické izolátory a 2D materiály, Heuslerovy slitiny a slitiny s tvarovou pamětí, krystaly SiC, materiály pro luminofory a scintilátory, dopované feroelektrické materiály a v neposlední řadě organické materiály a biomateriály. V roce 2019 se na vědecké práci v infrastruktuře podíleli vědečtí pracov-

níci ze šesti oddělení FZÚ (Oddělení analýzy funkčních materiálů, Oddělení optických a biofyzikálních systémů, Oddělení nízkoteplotního plazmatu, Oddělení funkčních materiálů, Oddělení tenkých vrstev a nanostruktur, Oddělení optických materiálů). V roce 2019 bylo s jejím využitím publikováno vědeckými týmy z FZÚ celkem 48 publikací v impaktovaných časopisech.

Díky existujícím pokročilým technologiím, patentům a know-how je Sekce optiky ideálním partnerem pro vývoj špičkových aplikací. Výsledkem dialogu s průmyslovými partnery bylo mnoho projektů v oblasti smluvního a aplikovaného výzkumu. Tato spolupráce vedla v roce 2019 k vytvoření národního kompetenčního centra MATCA (www.matca.cz) – robustního centra aplikovaného výzkumu.

2.4.1 Kvantová a nelineární optika

V rámci řešení grantových projektů GAČR byly v oblasti kvantového zpracování informace řešeny dva hlavní okruhy. Prvním je okruh kvantové komunikace na platformě lineární optiky, a s tím spojený výzkum fundamentálních vlastností multipartitních stavů světla. Konkrétněji bylo v rámci této aktivity publikováno experimentální ověření několika teoreticky navržených testů a měř kvantové provázanosti na tříqubitovém (qubit = kvantový bit) zobecněném GHZ stavu [1]. S tímto kvantovým stavem je spojen také zřejmě nejvýznamnější výsledek: implementace kontrolované teleportace na diskrétních fotonech. Této teleportace se účastní tři strany: odesílatel, příjemce a kontrolor. Zásadní jsou dva aspekty. Prvním je fakt, že jej lze provést i s biseparabilním stavem, a stále může kontrolor teleportaci povolit nebo blokovat. Dále je pak zásadní skutečností symetrie celého procesu, která z něj dělá elementární buňku kvantového internetu s možností dalšího škálování [2]. Dokončili jsme zároveň výzkum praktičtější povahy, kdy jsme testovali odolnost některých schémat pro kvantové peníze vůči útoku. Ukázali jsme zásadní slabinu praktické implementace kvantových peněz



■ **Obr. 67** Laboratoř kvantové a nelineární optiky ve SLO UP a FZÚ AV ČR.

využívající takzvaných *quantum retrieval games*. Útočnick může za určitých okolností získat schopnost generovat kvantové peníze nerozlišitelné od pravých [3]. Druhý okruh řešených témat spojuje problematika kvantového strojového učení. Implementovali jsme hradlo, které se pomocí strojového učení samo přizpůsobuje, aby dosáhlo požadované transformace. Naše hradlo se díky zpětné vazbě naučilo provádět optimální klonování kvantových stavů [4]. Některé algoritmy pro kvantové strojové učení spoléhají na efektivní měření vzdálenosti mezi dvěma body v prostoru vlastností, který kvantifikuje vybrané aspekty vzorku. S výhodou lze tohoto dosáhnout pomocí kvantových měření, kdy jsou souřadnice bodů zapsány do kvantových stavů, a následně je měřena vzdálenost mezi těmito stavy v Hilbertově prostoru. Po předchozí teoretické studii publikované začátkem roku byla publikována na konci roku ve *Physical Review Letters* i experimentální práce [5].

V oblasti čítání fotonů u optických polí generovaných v procesu sestupné frekvenční konverze jsme dále rozpracovali metodu generace neklasických polí postselekci ze slabých párových polí pomocí měření s detektorem

rozlišujícím počty fotonů [6]. Generovali jsme sub-poissonská pole s neklasickými momenty intenzity vyšších řádů, a také neklasičností vyššího řádu posuzovanou přímo pomocí prvků fotonpulzního rozdělení. Experimentálně jsme pozorovali sub-poissonské pole s neklasickými momenty intenzity 5. řádu, a též i pole s neklasičností založenou na pravděpodobnostech detekce až 11 fotonů. Také jsme se zabývali efekty saturace čerpacího pole pozorovanými ve spektrálních a prostorových profilech intenzivních párových polí. Ukázali jsme, že jak ve spektrálním profilu, tak i v radiálním prostorovém profilu dochází za vhodných podmínek k šíření koherenčních vln. Existence těchto vln byla experimentálně potvrzena [7].

Zabývali jsme se neklasickými vlastnostmi optických polí generovaných ve dvoumodovém systému kerrovských oscilátorů se vzájemnou vazbou a tlumením (zesílením) v prvním (druhém) módu, zejména v konfiguraci vykazující symetrii parity a času (PT-symetrické systémy). Provedli jsme analýzu také pro speciální případ, kdy je v systému přítomna pouze křížová kerrovská nelinearita [8].

2.4.2 Optická interferometrie

V roce 2019 bylo dosaženo pokroku ve výzkumu přesných optických 3D senzorů s aktivními optickými prvky ve formě tandemových interferometrů. První z dvojice interferometrů, modulační, je vláknový Michelsonův interferometr. Druhý interferometr, měřicí, je objemový Michelsonův interferometr. Vláknový interferometr obsahuje piezoelektrický modulátor, který periodicky mění dráhový rozdíl mezi rameny interferometru. Měřený předmět je umístěn místo jednoho zrcadla v měřicím interferometru. Tím, že se mění dráhový rozdíl v modulačním interferometru, není nutné předmět při měření posouvat. V zobrazovací soustavě měřicího interferometru je zabudovaná elektricky laditelná čočka, která zajišťuje ostré zobrazení při podélném skenování měřeného předmětu. Tandemový interferometr byl úspěšně testován při praktickém měření různých předmětů, například kovové součástky nebo křemíkového waferu [9]. Následně byl vláknový modulační interferometr doplněn o Faradayovy rotátory, což přispělo k podstatnému zlepšení vizibility a stability [10].

2.4.3 Charakterizace technických materiálů a tenkých vrstev

Pro potřeby různých pracovišť FZÚ AV ČR, UP i pro náš vlastní výzkum a vývoj uplatňovaný např. v rámci velkých kolaborací částicové fyziky (Observatoř Pierra Auger,

Cherenkov Telescope Array), nebo externí spolupráce s průmyslovými partnery vyvíjíme techniky charakterizace mechanických vlastností povrchů a vrstev. Významný přínos našich technik spočívá v kontinuálním snímání signálů akustických emisí (AE) v průběhu mechanických a tribologických testů. Vyhodnocení detekovaných signálů probíhá jak v časové, tak i frekvenční oblasti. Přínos implementace snímání AE v průběhu lokálně mechanických testů byl publikován v přehledovém článku [11], kde jsou prezentovány možnosti AE při testování strukturní stability materiálů a jejich povrchů. Bylo ukázáno, že pomocí AE lze studovat aktivaci skluzových systémů, vytváření a růst trhlin v systémech vrstva/substrát nebo odolnost mikrokrytalů. Potenciál metody AE při zpřesňování závěrů vrypové zkoušky je patrný z [12], kde je testována adhezně/kohezní stabilita kompozitních tenkých vrstev na bázi krystalů diamantu v matici tvořené nanokrytalickým SiC. Ukazuje se, že AE je aplikovatelná také při analýze mechanické odolnosti laserově přetavených povrchů (*laser cladding*). V souvislosti s problematikou AE byly prováděny intenzivní vývojové práce jak v oblasti hardwaru, tak i softwaru a metodiky vyhodnocení lokálně mechanických experimentů. Byla testována teplotní stabilita AE holderů a ověřena funkčnost nového způsobu fixace vzorků, který byl následně zaveden do standardní laboratorní praxe.

2.4.4 Optické technologie pro experimentální astrofyziku

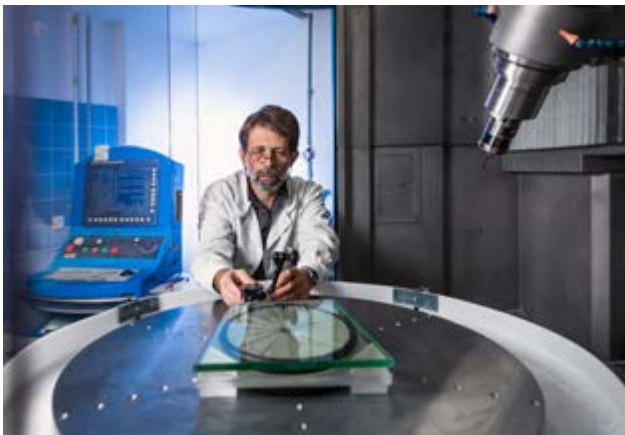
Skupina optických technologií pokračovala v podpoře velkých mezinárodních kolaborací v oblasti experimentální astrofyziky jako jsou Observatoř Pierra Augera (PAO), Cherenkov Telescope Array (CTA) nebo Fluorescence detector Array of Single-pixel Telescopes (FAST). Na PAO roce 2019 pokračovala spolupráce s Karlsruhe Institute of Technology (KIT, Karlsruhe, SRN) a Bergische Universität Wuppertal (BU, Wuppertal, SRN) na vývoji nové metody absolutní kalibrace fluorescenčních detektorů (FD). Pracoviště SLO na základě numerického modelu postupně optimalizovalo a maximalizovalo parametry prostorové a úhlové homogenity ve výstupním portu technicky vhodné integrační koule, která byla zvolena jako světelný zdroj, a tento zdroj byl v rámci kolaborace přijat jako nejvhodnější [13]. Proběhly další dílčí zkušební instalace a testování prototypu XY-skeneru přímo na observatoři PAO. Během roku 2019 také pokračovalo dlouhodobé měření vybraných optických parametrů primárního zrcadla na teleskopech FD, nově i pro potřebu dodavatele německých typů teleskopů. Dlouhodobým cílem jsou



■ Obr. 68 Laboratoř mechanických vlastností povrchů a vrstev ve SLO UP a FZÚ AV ČR, která využívá nanoindentor rozšířený o metodu registrace akustické emise.

analýzy stavu znečištění a degradace reflexních vrstev těchto zrcadlových ploch, doporučené způsoby a frekvence čištění zrcadel s ohledem na správnou funkčnost FD a jejich požadovanou dlouhodobou životnost, respektive analýzy vlivu reálné kvality zrcadlových ploch na vyhodnocení experimentálních dat.

V rámci kolaborace FAST pokračoval vývoj fluorescenčního detektoru jako nové generace ultravysokoenergetického detektoru kosmického záření, společně iniciovaný UP a University of Chicago. Byly realizovány některé technické úpravy a opravy především elektroniky a softwaru pro řízení a sběr dat. Byla průběžně vyhodnocována a analyzována získaná fyzikální data, v přípravě je poměrně obsáhlá publikace hodnotící hardware, software a získaná data. V souvislosti se snahou o instalaci detektoru FAST také na jižní polokouli byl první prototyp instalován a zprovozněn v 05/2019 na observatoři Auger – Los Leones. Byl tak realizován první FD nové generace a stejného technického provedení, který bude schopen sledovat oblohu nad oběma polokoulemi; první tři prototypy jsou v provozu na observatoři TA (Telescope Array) v Utahu, USA. Byly provedeny kalibrace fotonásobičů, proměřeny parametry optických prvků a byly také realizovány různé technické úpravy elektroniky zohledňující počasí v zimních měsících v lokalitě Los Leones. Od října 2019 již teleskop rutinně nabírá fyzikální data v koincidence s teleskopem Los Leones č. 4. Řízení a provozování teleskopu je částečně automatizováno s nutnou asistencí vzdáleného operátora provádějícího jednoduchý dohled z Olomouce nad měřicí procedurou (s využitím infrastruktury observatoře Auger). Návrh nové generace pozemního fluorescenčního detektoru odstraňuje ekonomickou



■ **Obr. 69** Laboratoř optických technologií ve SLO UP a FZÚ AV ČR, která vyvíjí optické technologie pro velké mezinárodní kolaborace (astro)částicové fyziky.

náročnost instalace a nemá zatím ve vědecké praxi analogické řešení. Vzájemné a „konkurenční“ ověření výsledků Observatoře Pierra Augera a Telescope Array za stejných experimentálních a atmosférických podmínek v lokalitě observatoře Telescope Array, Delta, Utah, USA, a Observatoře Pierra Augera v Argentině představuje perspektivní reálnou technickou možnost srovnání výsledků obou experimentů.

V rámci projektu CTA, který je určen pro výzkum kosmického gama záření a nachází se ve stádiu přípravy stavby observatoří, pokračoval vývoj detektoru SST-1M měřením optickým parametrů komponent teleskopu a vývojem softwaru pro automatizaci celého měřicího řetězce detektoru. Velká pozornost byla věnována justážnímu systému teleskopu, který zahrnuje rovněž funkci bezpečné defokuse zrcadlových segmentů v případě expozice slunečním zářením. Pokračovaly také aktivity vývoje, inovace, optimalizace a testování softwaru pro analýzu a řízení celooblohových kamer pro monitorování noční oblohy. V roce 2019 byla česká skupina přijata do kolaborace institucí vyvíjejících tzv. středně velký teleskop MST (Medium-Sized Telescope) typu Davies-Cotton. Jednou

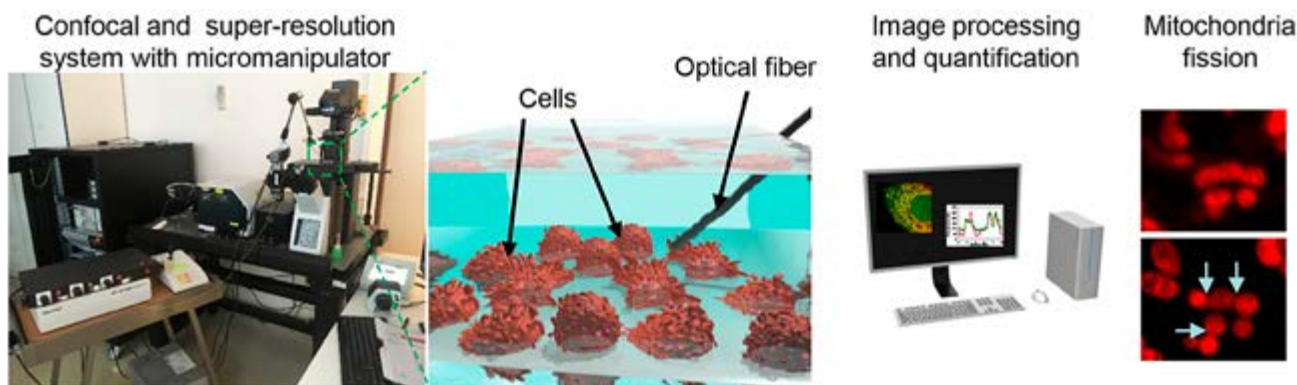
z hlavních aktivit české účasti budou rozsáhlé optické simulace MST teleskopu. Vstoupili jsme do kooperace s polským partnerem IFJ Krakov, který vyrábí zrcadlové segmenty pro MST teleskopy, s cílem vyvinout možnou budoucí technologii pro výrobu tzv. *Back Side Reflecting Mirrors*.

2.4.5 Lasery jako modulátory mitochondrií

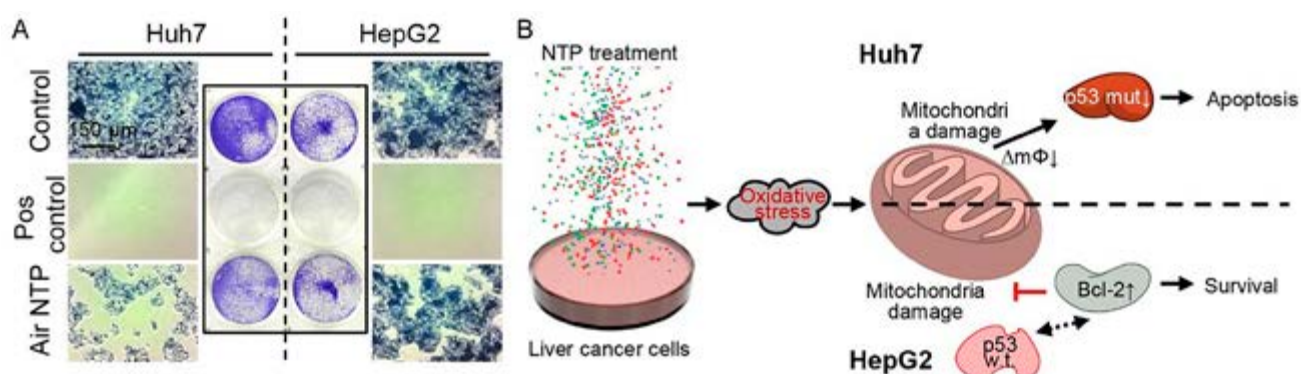
V posledních letech začíná být velice populární terapeutická aplikace červeného a blízko-infračerveného vysocefluentního nízkovýkonného laseru (angl. high fluence low power red, near infrared light) převážně zacílená na podporu hojení ran, růst vlasů, regenerace tkání, tlumení bolesti atd. Bohužel mnohé studie v tomto směru mají nedostatky v experimentálním designu a nejsou reprodukovatelné, což nás vedlo k nastartování výzkumu detailních biofyzikálních mechanismů interakcí mezi buňkami a laserem.

Kromě terapeutických aplikací se vysocefluentní nízkovýkonný laser využívá v superrozlišovací lokalizační mikroskopii. Bohužel tato mikroskopická technika využívaná k zobrazování živých buněk prozatím ignoruje možný fototoxický důsledek (angl. phototoxic effects). Proto jsme se také zaměřili na pochopení molekulárního mechanismu, který ovlivňuje fototoxické účinky, aby bylo možné výrazně zlepšit zobrazovací techniky (obr. 70).

V průběhu výzkumu jsme odhalili odlišné signální dráhy buněčné smrti, které jsou zapojeny v odpovědi na laserové záření o různé intenzitě [14]. Prokázali jsme, že mitochondrie slouží jako buněčný „senzor“ a „efektor“ při nespecifické interakci buněk s laserovým světlem. Modré laserové záření inhibovalo aktivitu proteinového komplexu cytochromu c oxidázy, který je součástí elektronového transportního řetězce. Naopak červené laserové záření vedlo k nadměrné aktivaci cytochromu c oxidázy. Navíc



■ **Obr. 70** Experimentální schéma pro analýzu biofyzikálních mechanismů interakce mezi laserem a živými buňkami.



■ **Obr. 71** Použití NTP vykazuje antiproliferační aktivitu u jaterních nádorových buněk. Snížená schopnost růstu buněk linie HuH7 ovlivněných NTP. V tomto experimentu byl účinek NTP na buněčné linie HuH7 a HepG2 zkoumán testem zaměřeným na schopnost buněk tvořit kolonie. Pozitivní kontrola – 20 % etanol po dobu 60 minut. (B) Orientační schéma molekulárního mechanismu senzitivity u buněčné linie HuH7 a rezistence u buněčné linie HepG2 na NTP-indukovanou buněčnou smrt: $\Delta m\Phi$ – mitochondriální membránový potenciál.

jsme prokázali, že protein Bcl-2 inhibuje laserem indukovanou toxicitu pomocí stabilizace mitochondriálního membránového potenciálu [14].

Naše zjištění odhalují mechanismy působení laserového záření na buněčnou homeostázu a zdůrazňují, že použitím laserového záření je možné ovládat funkce mitochondrií bez použití chemického či biologického činidla.

2.4.6 Nízkoteplotní plazma jako nový fyzikálně-chemický nástroj k indukci redoxní nerovnováhy v živých buňkách

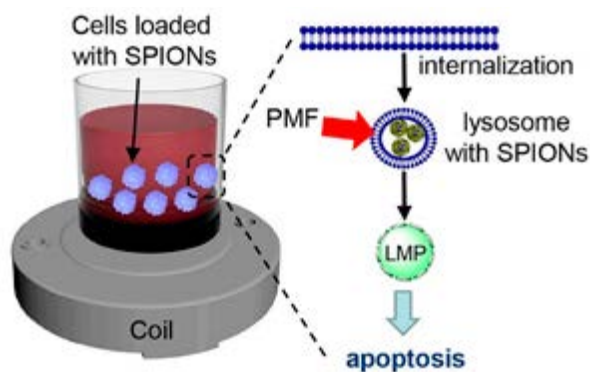
Změna redoxního stavu u rakovinových buněk byla uznána jako slibný terapeutický nástroj. V posledních letech se objevil nový přístup využívající nízkoteplotního plazmatu (NTP), který prokázal slibné využití v různých biomedicínských aplikacích. Unikátní chemické a fyzikální vlastnosti nízkoteplotního plazmatu vedly k jeho využití v terapii u různých druhů rakoviny. Dosud byl pozoruhodný protinádorový efekt nízkoteplotního plazmatu prokázán u desítek rakovinových buněčných linií. Pochopení molekulárních mechanismů vlivu plazmatu na buňky však zůstává neúplné. V naší studii jsme provedli precizní biochemickou analýzu interakcí mezi NTP a jaterními rakovinovými buňkami [15]. Prokázali jsme vliv NTP na tři lidské rakovinové jaterní buněčné linie (HuH7, Alexander a HepG2). Aplikace plazmatu vedla k vyššímu antiproliferačnímu účinku u rakovinových buněčných linií Alexander a HuH7 ve srovnání s rakovinovou buněčnou linií HepG2 (obr. 71). Naše data jasně ukázala, že

změna mitochondriálního membránového potenciálu a dynamiky mitochondrií po působení plazmatu vedlo k apoptóze zprostředkované ROS v rakovinových buňkách linie HuH7 a Alexander [15]. Zajímavé je, že působení plazmatu vedlo také ke změně regulace p53 u buňkách linie HuH7. Vysoké hladiny exprese Bcl-2 proteinu v buněčné linii HepG2 měly za následek jejich rezistenci na oxidační stres způsobený plazmou. Dále jsme prokázali přítomnost superoxidového aniontu v jádrech buněk po působení plazmatu [15].

V naší studii jsme ukázali, že použití nízkoteplotního plazmatu vede ke snížení životnosti jaterních rakovinových buněk, a následně k indukci apoptózy skrze akumulaci ROS a spuštění p53 signální dráhy (obr. 71).

2.4.7 Dálkově řízená magneto-mechanická inhibice nádorových buněk pomocí nanočástic oxidu železa

Apoptóza aktivovaná lyzozomem představuje alternativní způsob překonání nádorové rezistence ve srovnání s tradičními formami léčby. Pulzní magnetická pole otevírají novou cestu pro řízení a cílené zahájení lyzozomální permeabilizace v rakovinových buňkách pomocí mechanického ovládní magnetických nanomateriálů. V této studii jsme použili neinvazivní nástroj, a to stolní systém schopný vytvářet pulzní magnetické pole, který umožňuje dálkovou aktivaci apoptózy v jaterních rakovinových buňkách. Námi navržený magnetický systém představuje platformu, která může být použita v široké škále biomedicínských aplikací. Ukázali jsme, že jaterní rakovinové buňky lze naplnit superparamagnetickými



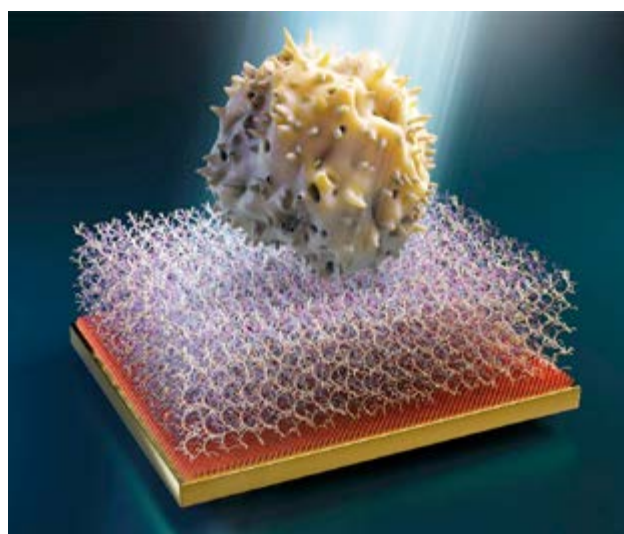
■ **Obr. 72** Princip dálkové indukce apoptózy pomocí pulzního magnetického pole (PMF). Schematická reprezentace permeabilizace lyzozomální membrány pomocí nanočástic SPIONs v pulzním magnetickém poli.

nanočásticemi oxidu železa (SPIONs) [16]. Tyto nanočástice jsou ukládány v lyzozomech, kam je lze efektivně nasměrovat pomocí pulzního magnetického pole (PMF) s vysokou intenzitou (až 8 T) a krátkou šířkou pulzu (cca. 15 μ s), což dále vede k permeabilizaci lyzozomální membrány (LMP) a inhibici smrti v rakovinových buňkách [16]. Zjistili jsme, že nanočásticemi naplněné lyzozomy podléhají LMP kvůli zvýšené aktivitě lyzozomálního proteinu katepsinu B v cytosolu. Rozsah buněčné smrti indukované LMP koreloval s akumulací reaktivních forem kyslíku v buňkách. Narušení lyzozomální membrány bylo zpozorováno pro matematicky odvozené síly 700 pN a víc. Navíc jsme náš přístup ověřili na 3D modelu buněčné kultury, abychom byli schopní napodobit podmínky *in vivo*. Celkově naše výsledky ukazují, že aplikace pulzního magnetického pole na lyzozomy, které obsahují nanočástice, lze použít jako neinvazivní nástroj k dálkové indukci apoptózy [16].

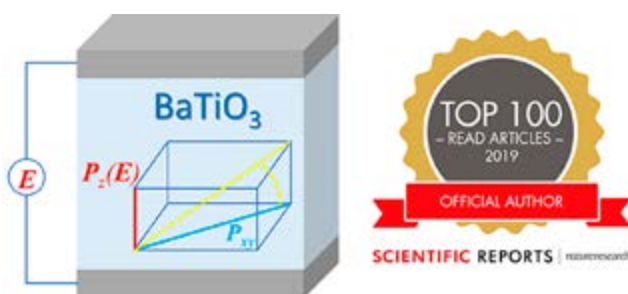
2.4.8 Výzkum funkčních biorozhraní

Nově nastartovaný výzkumný směr – Laboratoř funkčních biorozhraní se v roce 2019 nadále významně rozvíjel. Jedná se o vysoce interdisciplinární výzkumný program, pro který je třeba efektivně kombinovat znalosti z různých oblastí od materiálového výzkumu, optiky, polymerní chemie, biofyziky až po biologii podporované vhodnou infrastrukturou. Proto v roce 2019 bylo věnováno vysoké úsilí náboru nových pracovníků do výzkumného týmu a vybavení klíčových laboratoř. S významnou podporou *prémie Lumina quaeruntur* od Akademie věd ČR byly v roce 2019 vybudovány tři nové laboratoře (polymerační, biochemická a laboratoř pro charakterizaci funkčních vrstev) a byly vybaveny klíčovým vybavením.

Na základě výběrových řízení se v roce 2019 do výzkumných aktivit Laboratoře funkčních biorozhraní zapojilo několik špičkových a perspektivních výzkumných pracovníků se znalostmi potřebných expertiz z různých vědních oblastí. Díky budování potřebné infrastruktury a obrovského nasazení nově sestaveného výzkumného týmu se v roce 2019 dostavily i první výsledky, a to jak v oblasti základního výzkumu, tak i aplikovaného. V oblasti základního výzkumu byly výsledky shrnující pilotní poznatky interakcí tzv. ultrarezistentních polymerních kartáčů s živými buňkami (obr. 73) publikované v mezinárodně uznávaném odborném časopise [17] a prezentovány formou přednášek a posterů na špičkových mezinárodních konferencích a seminářích. Navíc byl obrázek z vydané publikace vybrán editiční radou na přední obálku časopisu. Mezi další výzkumné a vývojové aktivity patřil vývoj biosenzorů pro rychlou a přesnou detekci patogenních agens v potravinách. Byl sestaven funkční vzorek biosenzoru na bázi disipativního „quartz crystal microbalance“ (QCM) využívající vyvíjené ultrarezistentní funkční polymerní kartáče s optimalizovanými vlastnostmi. S pomocí tohoto biosenzoru byla detekována např. *E.coli* O157:H7 v homogenizovaném hamburgeru s vysokou citlivostí – mez detekce byla stanovena na 3 cfu/ml v potravinovém vzorku. Navíc tato detekce probíhá velmi jednoduše v jednom kroku s minimální přípravou vzorku pro měření a během dvaceti minut už jsou známy výsledky. Na základě těchto výsledků a aktivní spolupráce s potenciálními uživateli podporované projektem OP Praha – pól růstu se Fyzikální ústav AV ČR v prosinci 2019 přihlásil do výběrového řízení MV ČR na vývoj přenosného biodetekčního systému.



■ **Obr. 73** Snažíme se porozumět různorodosti reakce buněčných systémů na přítomnost polymerních kartáčů s laditelnými fyzikálně-chemickými vlastnostmi [17].

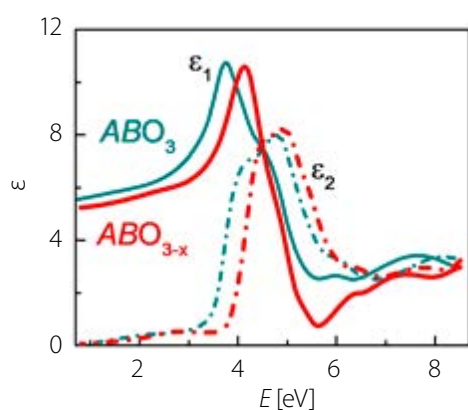


■ **Obr. 74** Schéma tenkovrstvého kondenzátoru na bázi BaTiO₃ a rotace polarizace. Dosahuje se vysoké kapacitní hustoty, dobré dielektrické ladičnosti, vynikající tepelné stability a konkurenceschopného skladování energie.

2.4.9 Tenké vrstvy na bázi perovskitových oxidů s pokročilými vlastnostmi

V této oblasti jsme pokračovali ve výzkumu a syntéze tenkých vrstev a heterostruktur na bázi perovskitových oxidů vykazující bezprecedentní elektrické, optické a mechanické funkce. K získání klíčových informací o základech růstu a vlastnostech těchto materiálů jsme rozvíjeli a používali velice sofistikované postupy a metody. V roce 2019 mezi naše hlavní úspěchy patří demonstrace koncepcí ferroelektrických tenkých vrstev pro ekologické a energetické technologie, a také objasnění nových optických jevů a jevů transportu náboje.

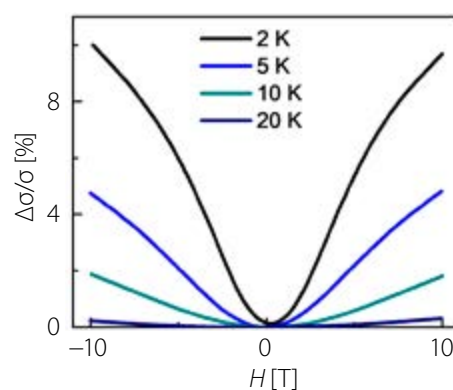
Moderní otázky životního prostředí a udržitelnosti spolu s rostoucí poptávkou po aplikacích v biologických vědách a medicíně kladou zvláštní požadavky na chemické složení mnoha funkčních materiálů. K dosažení požadovaného výkonu v rámci těchto požadavků jsou inovativní přístupy nezbytné. Například v naší práci [18] jsme prokázali, že tepelně indukované napětí může být účinně použito k úpravě krystalické struktury



■ **Obr. 75** Spektra dielektrické funkce ve stechiometrických vrstvách a vrstvách s nedostatkem kyslíku.

a vlastností relativně tlustých ferroelektrických perovskitových vrstev BaTiO₃, které jsou šetrné k životnímu prostředí, biokompatibilní a nízkonákladové. Na rozdíl od hystereze ferroelektrické polarizace v krystalech a keramice jsme dosáhli rotace polarizace v tenkých vrstvách. Tento efekt umožňuje vynikající výkon tenkovrstvých kondenzátorů na bázi BaTiO₃, podobně jako u ferroelektrických kondenzátorů obsahujících nebezpečné olovo (obr. 8). Práce vzbudila velký zájem po celém světě a v roce 2019 vstoupila mezi 100 nejčtenějších článků časopisu Scientific Reports.

Dále jsme prozkoumali možnost přizpůsobení vlastností oxidu perovskitu řízeným zavedením kyslíkových vakancí. V naší práci [19] jsme zjistili, že měnící se substrát-indukující napětí mřížky s malým deficitem kyslíku může vést k hlubokým změnám optických dielektrických funkcí ve ferroelektrických vrstvách (obr. 75). Změny znamenají, že uvolnění kyslíku způsobuje zvláštní vznik anizotrop-

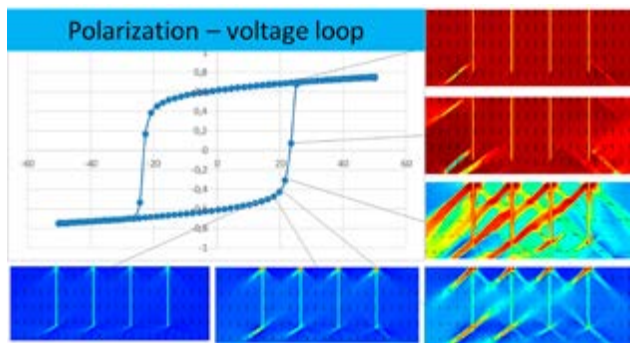


■ **Obr. 76** Tenká vrstva NdNiO₃. Relativní změna vodivosti v magnetickém poli při různých teplotách.

ního pnutí a elektrického pole, které mají silný dopad na strukturu a vlastnosti pásů elektronů.

Také nás zajímala možnost manipulace s transportem náboje ve filmech perovskitového oxidu s kovovým izolátorem. V práci [20] jsme detekovali nízkoteplotní magnetorezistenci v epitaxních filmech neodymového niklátu (obr. 76). Chování souvisí s magneticky indukovaným dělením stavů v zakázaném pásmu, díky kterému je uskutečněn skokový transport. Také jsme našli koexistenci kovových a izolátorových fází v mnohem širším teplotním rozmezí ve srovnání s objemnou keramikou.

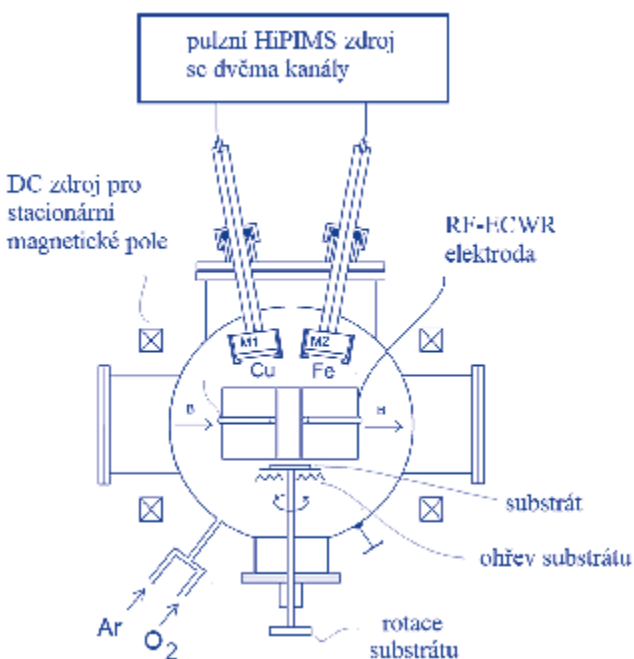
Dále jsme aplikovali experimentální metody a teoretické modelování k vývoji dynamického sběru energie na bázi ferroelektrických tenkých vrstev. Ve studii [21] jsme navrhli a optimalizovali termodynamický cyklus (obr. 77) pro přeměnu energie na bázi pyroelektrických a flexoelektrických jevů. Cyklus je obzvláště účinný při vysokých frekvencích, proveditelný v tenkých vrstvách.



■ Obr. 77 Teoreticky vypočítané polarizační komponenty (znázorněné různými barvami) během přepínání polarizace.

2.4.10 Depozice polovodivých tenkých vrstev pomocí nových plazmatických zdrojů

V rámci vědeckého výzkumu polovodivých tenkých vrstev jsme vyvinuli nový hybridní nízkotlaký plazmatický systém, který kombinuje reaktivní rozprašování dvou magnetronových terčů v pulzním režimu typu HiPIMS (high power impulse magnetron sputtering) a vysokofrekvenčním induktivně vázaném výboji, který je vybuzený pomocí elektronové cyklotronové vlny pracující s vlnovou rezonancí RF-ECWR. Schematické uspořádání je vidět na obr. 78, kde jsou vyznačena oba impulzní HiPIMS magnetrony, zdroj RF ECWR s elektrodou ve tvaru válce

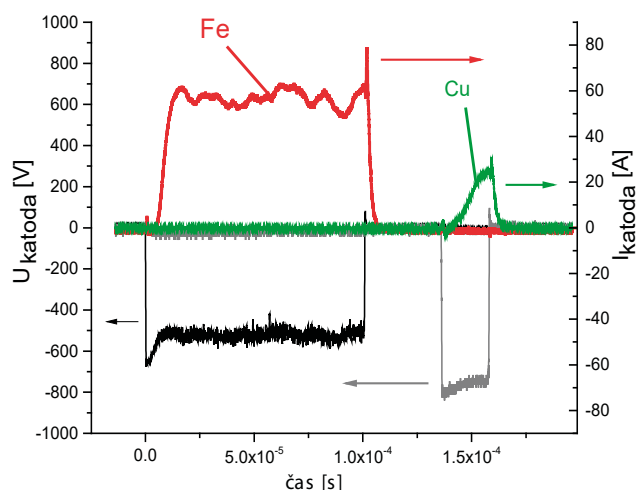


■ Obr. 78 Experimentální uspořádání depozičního systému se dvěma magnetrony a RF-ECWR plazmatem.



■ Obr. 79 Fotografie pulzního plazmatu generovaném v hybridním systému HiPIMS+RF ECWR.

a pomocným stejnosměrným magnetickým polem pro vytvoření prostředí šíření elektronové cyklotronové vlny ve vnitřním prostoru válcové elektrody. Účelem pomocné excitace RF-ECWR výboje před oběma magnetrony je zvýšení elektronové teploty, elektronové koncentrace v HiPIMS plazmatu a snížení minimálního tlaku pracovních plynů v plazmovém procesu. Fotografie plazmatu vybuzeného oběma HiPIMS magnetrony je vidět na obr. 79. Reaktivní naprašování v těchto podmínkách probíhá z měděného terče umístěného na prvním magnetronu a železného terče na druhém magnetronu v pracovních plynech Ar+O₂. Na otáčivém vyhřívaném substrátu byly v těchto podmínkách deponovány vrstvy ternárních sloučenin oxidu CuFeO₂ se strukturou delafossitu na sodnovápenatá skla s vodivou elektrodou ve formě vrstvy SnO₂:F. Správná stechiometrie tohoto materiálu byla zajištěna řízením pulzního výkonu v obou magnetronech. Na obr. 80 jsou vidět časové průběhy pulzních napětí a proudů na obou magnetronech, a je vidět, že množství rozprašených částic z obou terčů může být řízeno buď

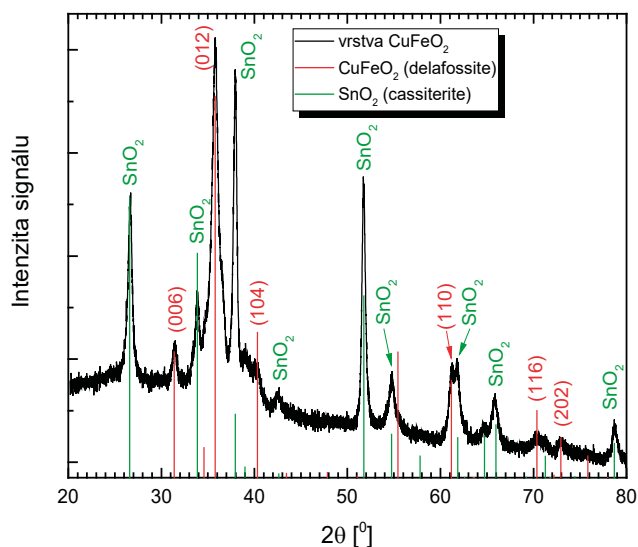


■ Obr. 80 Časové průběhy pulzních napětí a proudů na obou magnetronových katodách.

velikostí výkonu v pulzu nebo časovou délkou vlastního aktivního pulzu. Polovodivé vrstvy delafossitu CuFeO_2 vykazovaly vodivost typu P a relativně vysoké fotoproudy generované v elektrochemické cele při osvětlení solárním simulátorem. Příklad difrakčního spektra deponované vrstvy CuFeO_2 na skle s SnO_2 :F vodivou vrstvou je vidět na obr. 81. Z difraktogramu lze jasně identifikovat přítomnost krystalické fáze delafossitu CuFeO_2 . Výsledky výzkumu byly publikovány v [22].

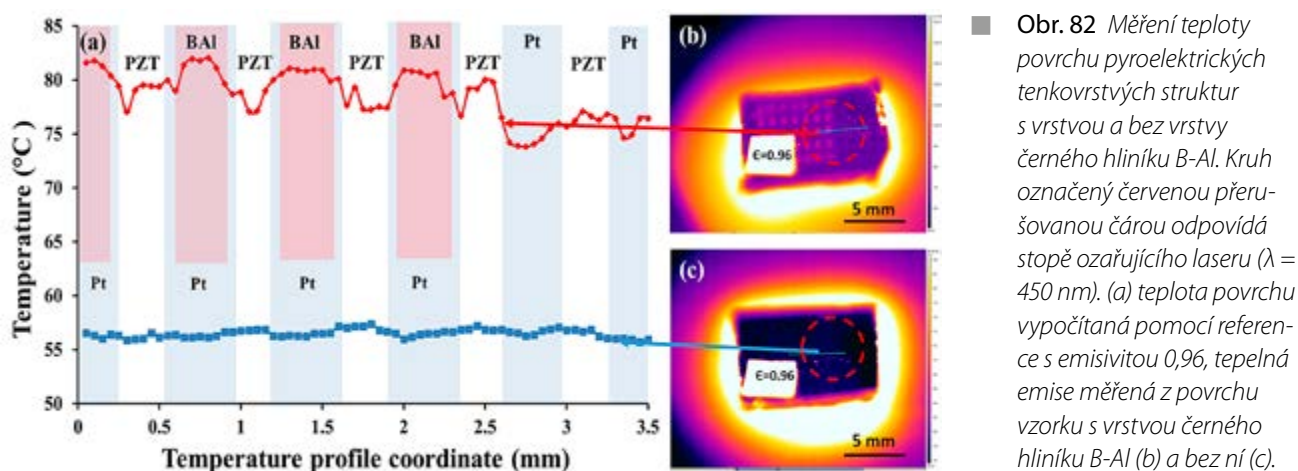
2.4.11 Vrstvy černých kovů ve strukturách pro získávání energie

Vývoj účinných technologií pro přeměnu energie s využitím obnovitelných zdrojů je v posledním desetiletí středem zájmu moderní energetiky. Zvláštní pozornost byla věnována možnosti převodu odpadního tepla do využitelné elektřiny. Přímoou přeměnu tepla na elektřinu umožňují dva typy zařízení. Jedná se o termoelektrická zařízení, která pracují při ustáleném teplotním

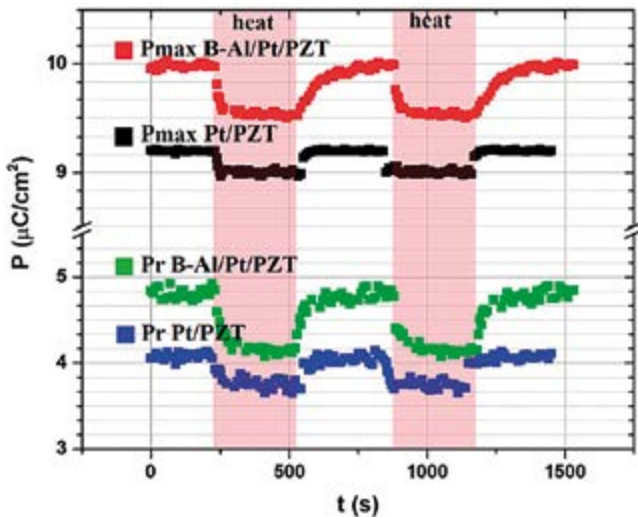


■ Obr. 81 Difrakční spektrum deponované polovodivé vrstvy CuFeO_2 na vodivém skle.

gradientu využívající Seebeckův efekt, a pyroelektrická zařízení, která naopak vyžadují časové teplotní oscilace. Náš výzkum byl zaměřen na pyroelektrická zařízení kombinující tenkovrstvé struktury na bázi feroelektrických materiálů – perovskitů a černých kovů. Aplikace svrchní vysoce absorpční tenké vrstvy černého kovu s vysokou tepelnou vodivostí umožňuje minimalizovat reakční dobu a tím dosáhnout maximálního využití potenciálu světelných zdrojů pro rychlé zahřátí konvertoru energie. Pro vrstvy černého kovu byl zvolen hliník (B-Al) a byla vyvinuta unikátní technologie jejich přípravy pomocí pulzního magnetronového naprašování. Jak materiál, tak i technologie přípravy struktur mají slibný potenciál pro průmysl. Tenkovrstvé struktury B-Al/Pt/PZT/Pt vykazovaly oproti struktuře Pt/PZT/Pt bez vrstvy černého kovu lepší konverzi světelné energie na teplo (změna teploty po ozáření laserem $\lambda = 450 \text{ nm}$ o $51,5 \text{ °C}$ oproti $26,5 \text{ °C}$) jak je znázorněno na obr. 82 a přibližně dvojnásobnou pyroelektrickou odezvu zachycenou na obr. 83 [23]. Experi-



■ Obr. 82 Měření teploty povrchu pyroelektrických tenkovrstvých struktur s vrstvou a bez vrstvy černého hliníku B-Al. Kruh označený červenou přerušovanou čarou odpovídá stopě ozařujícího laseru ($\lambda = 450 \text{ nm}$). (a) teplota povrchu vypočítaná pomocí referencie s emisivitou 0,96, tepelná emise měřená z povrchu vzorku s vrstvou černého hliníku B-Al (b) a bez ní (c).



■ Obr. 83 Pyroelektrická měření tenkovrstvých struktur s vrstvou a bez vrstvy černého hliníku B-Al. Změny maximální polarizace P_{max} (černé a červené tečky) a re-manentní polarizace P_r (zelené a modré tečky) v závislosti na čase. Růžové pruhy znázorňují periody ohřevu.

mentální výsledky jsou v dobrém souladu s teoretickými výpočty založenými na modelech vedení tepla. Získané výsledky potvrdily vysokou účinnost absorpčních vrstev černého hliníku pro rychlou přeměnu energie světelného záření na teplo.

2.4.12 Topologické izolátory a 2D materiály

Dvoudimenzionální (2D) a kvazidvoudimenzionální systémy, stejně jako jejich van der Waalovy krystaly, jsou nyní předmětem intenzivního výzkumu díky jejich často unikátním elektronovým, tepelným a optickým vlastnostem. Zvláštní význam mají systémy se silnou spin-orbitální interakcí, kde je umocněna formace spinově polarizovaných pásových struktur, komplexních magnetických uspořádání a topologických fázových přechodů. Vlastnosti takovýchto systémů slibují potenciál pro budoucí aplikace, například v oblasti spintroniky, termoelektrických materiálů nebo solárních panelů.

Zařízení NanoESCA ve Fyzikálním institutu v Praze se ukázalo býti velice vhodné pro studium vlastností a růstu 2D systémů v mikrometrové škále. Příslušné znalosti vyvolaly studie dalších 2D systémů jako funkcionalizovaného grafenu [24], ale také kovových chalcogenidů (SnS , FeTe , WS_2 a MoS_2) ve spolupráci s tuzemskými a mezinárodními výzkumníky zabývajícími se jejich přípravou. Těžké kovy jako telur a wolfram zesilují spinorbitální interakci v těchto systémech a přinášejí zajímavé možnosti základního výzkumu.

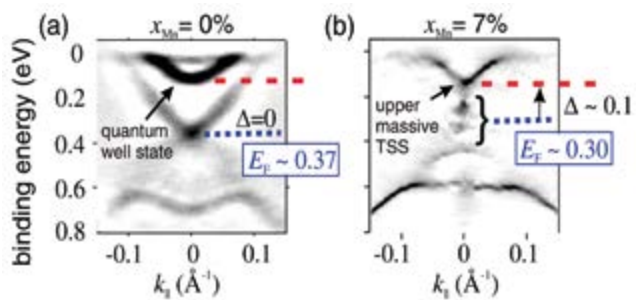
V oblasti topologických izolátorů vystupují fascinující jevy z blízkého vztahu topologie a symetrie časové záměny. Tato základní symetrie může být narušena přítomností magnetických spinů, které vytvářejí velký potenciál pro budoucí aplikace ve spintronice.

Projekty jako „Stavy topologických izolátorů vázaných na spinové stupně volnosti“ zabývající se Mn, Fe, Ni a Cu magnetickými momenty v kontaktu s $\text{Bi}_2(\text{Se}, \text{Te})_3$ byly realizovány v rámci národních grantů a mezinárodní spolupráce, například prostřednictvím společných experimentů v evropských synchrotronových zařízeních. Zásadní jsou práce o vlivu efektů magnetického dopování na pásové struktury povrchových stavů v heterostrukturách založených na Bi_2Se_3 , kde byla odhalena důležitost elektron-elektronové interakce k identifikaci topologických fázových přechodů [25].

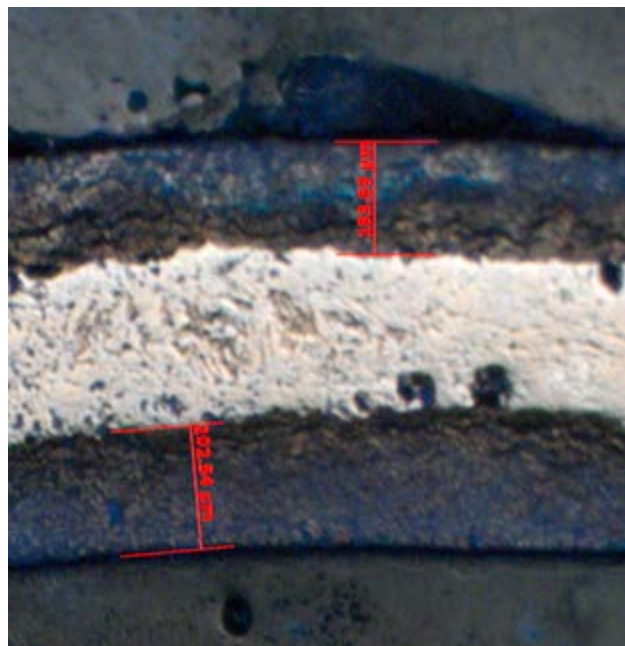
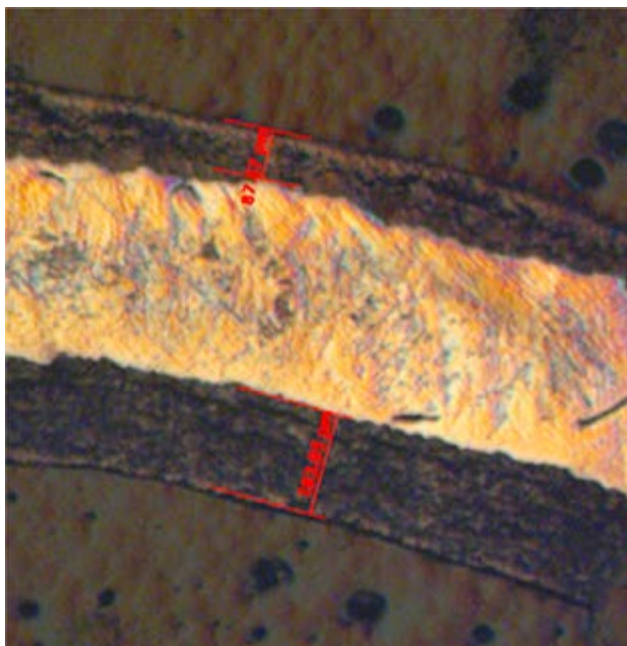
Dále pak potenciál generovat kompletně nové rodiny netriviálních topologických materiálů byl testován v případě GaAs [26] v rámci česko-italského bilaterálního programu (*Studie III-V slitin obsahujících bismut jako potenciálních kandidátů na nové třídídimenzionální topologické izolátory*). Tato práce je motivována nedávnou teorií předpovídající možné netriviální topologické fáze v bismutem dopovaných polovodičích III-V. třídy v koncentracích vyšších než 19%. Předpokládané drasticky zredukované zakázané pásy vlivem bismutu dělají také z BiGaAs slitin jedny z nejvíce slibných materiálů pro emitory světla, detektory s optickými vlákny a pro solární články.

2.4.13 Ochrana zirkoniových materiálů proti vysokoteplotní korozi v prostředí jaderných reaktorů

V roce 2019 byl představen nový koncept ochrany kovových povrchů proti degradaci způsobené vysoko-



■ Obr. 84 Vliv dopování manganem na strukturu pásů povrchového stavu měřená pomocí úhlově rozlišené fotoemisní spektroskopie (ARPES) pro a) $x\text{Mn} = 0\%$ a b) $x\text{Mn} = 7\%$, měřeno při $\hbar = 18 \text{ eV}$ a $T = 100 \text{ K}$.



■ **Obr. 85** Vlevo: Metalografický řez Zr trubky pokryté na vnějším povrchu dvouvrstvou CrAlSiN a PCD po 60 minutách v 1000 °C horké páře. Je patrné, že vnější – dvouvrstvou pokrytý povrch trubky je výrazně méně zkorodovaný, než vnitřní – nepokrytý povrch Zr trubky. Vpravo: Metalografický řez Zr trubky pokryté na vnějším povrchu dvouvrstvou CrAlSiN a PCD po 60 minutách v 1000 °C horké páře.

teplotní oxidací ve vodním prostředí. Jako první jsme vytvořili dvouvrstvý povlak sestávající z aktivní a pasivní části, který chrání povrch slitiny Zr před oxidací za vysokých teplot v prostředí horké vody. Standardně se jako ochrana proti korozi kovových materiálů a slitin používají vrstvy nepropouštějící molekuly vody. Neporušená pro vodu nepropustná vrstva perfektně brání přímému kontaktu kovového podkladu s vodním prostředím. Pokud ale při zvýšených teplotách následkem změn objemu podkladového materiálu dojde k popraskání vodou nepropustné ochranné vrstvy, dojde v místech nových prasklin k velmi rychlému rozvoji koroze podkladového kovového materiálu. Stupeň koroze podkladového kovového materiálu je typicky v okolí prasklin ochranného povlaku ještě vyšší než u nechráněného kovového materiálu. To je v případě antikorozi ochrany povrchu zirkoniového povlaku jaderného paliva značný problém.

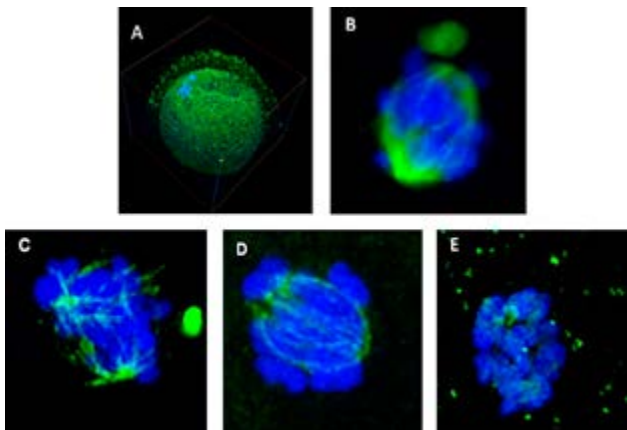
Hlavní antikorozi efekt polykrystalického diamantového povlaku (PCD) spočívá v tom, že uhlík z diamantové vrstvy při pracovních a vyšších teplotách postupně proniká do povrchu podkladového kovového materiálu, např. do Zr materiálu (vrstvy zoxidovaného Zr-ZrO₂ vrstvy) a mění jeho fyzikální a chemické vlastnosti tak, že významně snižuje pravděpodobnost koroze Zr slitin. PCD vrstva tak aktivně brání oxidaci kovového podkladu i v případě vzniku poruch a trhlin v PCD povlaku. Dvouvrstvé povlaky snižují oxidaci Zr povrchů o více než 88% ve srovnání s nepokrytými Zr materiály v obou případech

vystavenými pracovním podmínkám vodou chlazeného jaderného reaktoru. Výsledky jsou publikovány v [27] a patentovány [28]. V současnosti pokračujeme ve výzkumu korozi ochrany Zr slitin dvouvrstvou sestávající ze spodní PCD části a svrchní Cr slitiny. Cr slitiny jsou připraveny různými technologiemi (magnetronové naprašování, Cr „cold spray“).

Kombinace dvou vrstev aktivně (PCD) a pasivně (vodou nepropustná vrstva) bránící oxidaci Zr podkladu prodlouží provozuschopnost jaderného paliva, u něhož v současnosti typicky dochází k výměně nedostatečně vyhořelého paliva z důvodu přílišné oxidace povrchu Zr palivového povlaku. Kombinace vrstev aktivně a pasivně bránící oxidaci podkladu prodlouží také životnost jaderného paliva za havarijních podmínek ve vodou chlazených jaderných reaktorech (obr. 85). Ochrana povlaku paliva proti korozi za standardních i havarijních podmínek vodou chlazeného reaktoru tak povede k vyšší bezpečnosti a ekonomičtějším využití jaderného paliva.

2.4.14 Kryoprotekce

V časopise Langmuir byly publikovány výsledky studia vlivu kryoprotektantů na jádra a membrány kryoprezervovaných buněk [29]. Efektivní kryoprezervace specifických buněčných typů (zejména oocytů) zůstává i v současnosti nevyřešeným úkolem. V rámci projektu



■ **Obr. 86** Chromozomy a dělicí vřeténko rozmrazených lidských oocytů, zobrazeno konfokální fluorescenční mikroskopií.

jsme studovali vliv kryoprotektantů a specifických metodik na stav kryoprezervovaných oocytů. Korelací fyzikálně-chemických vlastností kryoprotektantů a jejich vlivu na mrazené buňky (stav jádra, membrány apod.) jsme vymezili vlastnosti kryoprotektantů zodpovědné za jejich účinek. Naším cílem bylo dosáhnout hlubšího porozumění procesu mrazení a rozmrazování buněk i mechanismu souvisejícího buněčného stresu zejména v oblasti jádra.

Dále jsme pokračovali ve studiu stavu lidských oocytů během maturace a následné kryoprezervace pomocí fluorescenční mikroskopie, jak je zobrazeno na obr. 86. Ve spolupráci s 1. lékařskou fakultou UK byl stav oocytů během jednotlivých fází maturace a po případném rozmrazení analyzován širokou škálou standardních i modifikovaných biofyzikálních a molekulárně-biologických metod. Součástí práce bylo stanovení pravděpodobnosti

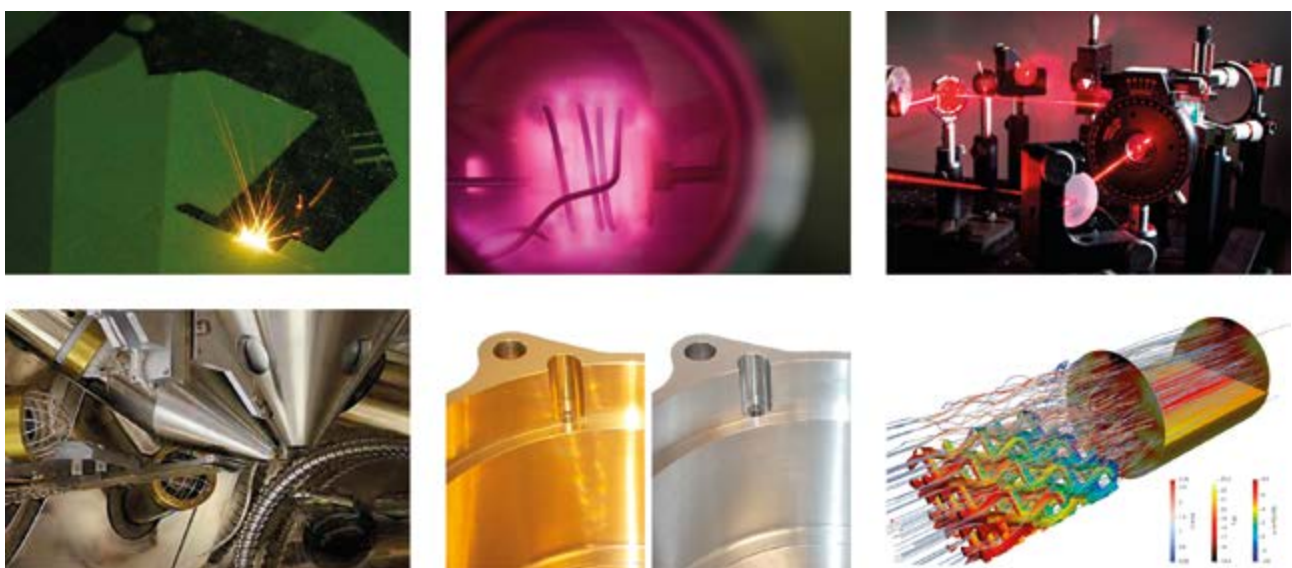
úspěšnosti oocytů v IVF cyklu, a to klinicky použitelnou metodou rozpoznávání obrazů, resp. klinických fotografických záznamů.

Ve spolupráci s katedrou kybernetiky ČVUT bude vytvořena neuronová síť, která stanoví pravděpodobnost úspěšnosti (tj. oplodnitelnosti) oocytů v IVF cyklu. Získané výsledky povedou k lepšímu pochopení vztahů mezi stavem oocytů a konkrétními parametry používaných maturačních, kultivačních a kryoprezervačních protokolů. Konečným, aplikačně zajímavým cílem bude návrh optimálních metodik práce s oocyty tak, aby pravděpodobnost jejich úspěchu v IVF cyklu byla co největší.

Dále jsme se zaměřili na nanočástice pro léčiva, vakcíny a diagnostické konstrukty, které kromě funkčních látek obsahují specifické vektory a nosiče (lipozomy a nanočástice diamantů). Optimalizovali jsme vlastnosti nanočástic z hlediska funkčnosti a stavu v různých biologických prostředích. V práci [30] jsme představili první in vitro studii demonstrující přímou aktivaci karbonylovaných diamantových nanočástic. U lipozomů pro konstrukci vakcíny proti lymfské borelióze jsme prokázali roli fosfolipidového dvojvrstevového fragmentu jako klíčového meziprojektu v mechanismu tvorby lipozomů pomocí mikrofluidního míchání v kanálu s geometrií „rybí kosti“.

2.0.15 Národní centrum kompetencí MATCA

V roce 2019 se rozběhly první dílčí projekty Národního centra kompetence MATCA podpořeného Technologickou agenturou České republiky v rámci projektu číslo



■ **Obr. 87** NCK MATCA rozvíjí zejména 3D tisk, plazmatické technologie, lasery, analytické metody, povrchové úpravy a numerické simulace.

TN01000038. Pod vedením Fyzikálního ústavu se seskupilo celkem devět akademických a osm komerčních subjektů spolupracujících na projektech aplikovaného výzkumu.

Posláním NCK MATCA je přinášet technologická řešení bez ohledu na složitost zadání – od náhlých problémů s kvalitou výroby po dlouhodobé, celospolečenské výzvy. Za tímto účelem přivádí konsorcium za jeden stůl špičkové odborníky z průmyslového i akademického světa, kteří s pomocí rozsáhlého experimentálního a výrobního zázemí dávají vzniknout neotřelým, inovačním řešením. Centrum se zaměřuje na rozvoj tří strategických oblastí: aditivních, plazmatických a laserových technologií. K tomu přirozeně patří i rozvoj přidružených témat jako jsou materiálový výzkum, numerické simulace či digitalizace.

V rámci dlouhodobých výzkumně-vývojových projektů pokrývá NCK MATCA celý životní cyklus výrobku – od chytrého návrhu, přes šetrnou výrobu, opravy a obnovu funkčních vlastností až po likvidaci nebezpečného odpadu. Výzkumná témata přímo vychází z aktuálních potřeb soukromého sektoru, který je do řešení projektů těsně zapojen. V roce 2019 byl řešen např. projekt snižování nákladů 3D tisku kovů při zachování či zvýšení kvality výsledných dílů, což významně rozšíří aplikovatelnost technologie napříč odvětvími. Dále byla rozvíjena aplikace čerstvě patentované povlakovací technologie zvyšující odolnost a životnost tvarově komplikovaných dílů. Významný posun byl dosažen i v technologii plazmatického zplyňování použité za účelem bezpečného zpracování škodlivého odpadu.

Kromě výzkumu, vývoje a poskytování služeb členové NCK MATCA aktivně působí i na poli popularizace a vzdělávání formou pořádání mezinárodních odborných konferencí, popularizačních aktivit či aktivním zapojením studentů do výzkumných témat i projektů samotných, ať již jde o studenty středoškolské, vysokoškolské či doktorandy.

■ Literatura

- [1] Barasiński, A; Černocho, A; Lemr, K; Soubusta, J: „Experimental verification of time-order-dependent correlations in three-qubit Greenberger-Horne-Zeilinger-class states“, *Phys. Rev. A* **99**, 42123 (2019).
- [2] Barasiński, A; Černocho, A; Lemr, K: „Demonstration of Controlled Quantum Teleportation for Discrete Variables on Linear Optical Devices“, *Phys. Rev. Lett.* **122**, 170501 (2019).
- [3] Jiráková, K; Bartkiewicz, K; Černocho, A; Lemr, K: „Experimentally attacking quantum money schemes based on quantum retrieval games“, *Sci. Rep.* **9**, 16318 (2019).
- [4] Jašek, J; Jiráková, K; Bartkiewicz, K; Černocho, A; Fürst, T; Lemr, K: „Experimental hybrid quantum-classical reinforcement learning by boson sampling: how to train a quantum cloner“, *Opt. Express* **27**, 32454–32464 (2019).
- [5] Trávníček, V; Bartkiewicz, K; Černocho, A; Lemr, K: „Experimental Measurement of the Hilbert-Schmidt Distance between Two-Qubit States as a Means for Reducing the Complexity of Machine Learning“, *Phys. Rev. Lett.* **123**, 260501 (2019).
- [6] Peřina, J; Haderka, O; Michálek, V: „Simultaneous observation of higher-order non-classicalities based on experimental photocount moments and probabilities“, *Sci. Rep.* **9**, 8961 (2019).
- [7] R. Machulka, J. Peřina Jr., O. Haderka, A. Allevi, M. Bondani: „Coherence waves in evolving intense twin beams“, zasláno k publikaci.
- [8] Peřina, J; Lukš, A: „Quantum Behavior of a PT-Symmetric Two-Mode System with Cross-Kerr Nonlinearity“, *Symmetry-Basel* **11**, 1020 (2019).
- [9] Pavlíček, P; Mikeska, E: „White-light interferometer without mechanical scanning“, *Opt. Lasers Eng.* **124**, UNSP 105800 (2020).
- [10] Pavlíček, P; Kučera, J: „Coherence scanning interferometry with a focus-tunable lens“, *Appl. Optics* **58**, G91–G95 (2019).
- [11] Čtvrtlík, R; Tomáščík, J; Václavěk, L; Beake, B; Harris, A; Martin, A; Hanák, M; Abrhám, P: „High-Resolution Acoustic Emission Monitoring in Nanomechanics“, *JOM* **71**, 3358–3367 (2019).
- [12] Taylor, A; Klimša, L; Kopeček, J; Remeš, Z; Vronka, M; Čtvrtlík, R; Tomáščík, J; Mortet, V: „Synthesis and properties of diamond-silicon carbide composite layers“, *J. Alloy. Compd.* **800**, 327–333 (2019).
- [13] Vacula M. et al.: „Integrating sphere as a homogeneous light source for FD calibration“. Auger Collaboration Meeting, Nov. 17–22, 2019, Malargüe, Argentina.
- [14] Lunova M, Smolková B, Uzhytchak M, Janoušková KŽ, Jirsa M, Egorova D, Kulikov A, Kubinová Š, Dejneka A, Lunov O. „Light-induced modulation of the mitochondrial respiratory chain activity: possibilities and limitations“. *Cell Mol Life Sci.* 2019; <https://doi.org/10.1007/s00018-019-03321-z>.
- [15] Smolková B, Lunova M, Lynnyk A, Uzhytchak M, Churpita O, Jirsa M, Kubinová Š, Lunov O, Dejneka A. „Non-thermal plasma, as a new physicochemical source, to induce redox imbalance and subsequent

- cell death in liver cancer cell lines". *Cell Physiol Biochem.* 2019; **52**: 119.
- [16] Lunov O, Uzhytchak M, Smolková B, Lunova M, Jirsa M, Dempsey NM, Dias AL, Bonfim M, Hof M, Jurkiewicz P, Petrenko Y, Kubinová Š, Dejneka A. „Remote actuation of apoptosis in liver cancer cells via magneto-mechanical modulation of iron oxide nanoparticles. *Cancers* 2019; **11**: 1873.
- [17] Visova, I., et al., „Modulation of Living Cell Behavior with Ultra-Low Fouling Polymer Brush Interfaces. *Macromol Biosci*“, 2020. **20**(3): p. e1900351.
- [18] M. Tyunina, O. Pacherova, J. Peräntie, M. Savinov, M. Jelinek, H. Jantunen, A. Dejneka. „Perovskite ferroelectric tuned by thermal strain“. *Scientific Reports* **9**, 3677 (2019) – open access.
- [19] M. Tyunina, D. Chvostova, A. Dejneka. „Optical revelation of defects in epitaxial barium titanate films“. *Phys. Chem. Chem. Phys.* **21**, 7874 (2019) – open access.
- [20] A. Stupakov, O. Pacherova, T. Kocourek, M. Jelinek, A. Dejneka, M. Tyunina. „Negative magnetoresistance in epitaxial films of neodymium nickelate“. *Phys. Rev. B* **99**, 085111 (2019).
- [21] A. Yurkov, A. Dejneka, and P. Yudin. „Flexoelectric polarization induced by inhomogeneous heating and implications for energy harvesting“. *Int. J. Solids Struct.* **162**, 96 (2019).
- [22] Z. Hubička, M. Zlámal, J. Olejníček, D. Tvarog, M. Čada, J. Krýsa, „Semiconducting p-Type Copper Iron Oxide Thin Films Deposited by Hybrid Reactive-HiPIMS +ECWR and Reactive-HiPIMS Magnetron Plasma System“, *Coatings* 2020, **10**, 232; doi:10.3390/coatings10030232.
- [23] J. More-Chevalier, P. V. Yudin, Ch. Cibert, P. Bednyakov, P. Fitl, J. Valenta, M. Novotný, M. Savinov, M. Poupon, T. Zikmund, G. Poullain, J. Lančok, Black aluminum-coated Pt/Pb(Zr_{0.56}Ti_{0.44})O₃/Pt thin film structures for pyroelectric energy harvesting from a light source, *J. Appl. Phys.* **126**, 214501 (2019); doi: 10.1063/1.5130538
- [24] M. Wehrhold, T. J. Neubert, A. Yadav, M. Vondráček, R. M. Iost, J. Honolka, K. „Balasubramanian, pH sensitivity of interfacial electron transfer at a supported graphene monolayer“, *Nanoscale* **11** (2019) 14742–14756
- [25] V. Tkáč, K. Výborný, V. Komanický, J. Warmuth, M. Michiardi, A. S. Ngankeu, M. Vondráček, R. Tarasenko, M. Vališka, V. Stetsovych, K. Carva, I. Garate, M. Bianchi, J. Wiebe, V. Holý, Ph. Hofmann, G. Springholz, V. Sechovský, J. Honolka, „Influence of an Anomalous Temperature Dependence of the Phase Coherence Length on the Conductivity of Magnetic Topological Insulators“, *Phys. Rev. Lett.* **123** (2019) 036406
- [26] J. Honolka, C. Hogan, M. Vondráček, Y. Polyak, F. Arciprete, E. Placidi, „Electronic properties of GaAsBi(001) alloys at low Bi content“, *Physical Review Materials* **3** (2019) 044601-1-044601-14
- [27] I. Kratochvílová, P. Ashcheulov, J. Škarohlíd, R. Škoda, J. Kopeček, P. Sajdl, J. Macák, M. Lajčínová, A. Nováková, J. Neethling, A. Janse van Vuuren, S. Ngongo, P. Xu, J. Lorinčík, M. Steinbrück, „Zr alloy protection against high-temperature oxidation: Coating by a doublelayered structure with active and passive functional properties“, *Corrosion Science* **163** (2020) 108270(1)–108270(11).
- [28] PV 2019 – 330, Povlak vhodný pro ochranu vnějšího povrchu pokrytí jaderného paliva, použití povlaku, způsob výroby povlaku a jaderné palivo
- [29] I. Kratochvílová, O. Kopečná, A. Bačíková, E. Pagáčová, I. Falková, S. E. Follett, K. W. Elliott, K. Varga, M. Golan, and M. Falk: „Changes in cryopreserved cell nuclei serve as indicators of processes during freezing and thawing“, *Langmuir*, **2**, 1-13, DOI:10.1021/acs.langmuir.8b02742
- [30] P. Turánek Knötigová et al: „Application of Advanced Microscopic Methods to Study Interaction of Carboxylated Fluorescence Nanodiamonds With Membrane Structures in Immune Cell Line THP-1 and Activation of Inflammasome NLRP3 as the Result of Lysosome Destabilisation“, *Mol. Pharmaceutics* 2019, **16**, 3441–3451





2.5 Sekce výkonových systémů v roce 2019

Naší misí je přispívat k rozvoji výkonové fotoniky, k posouvání hranic laserových technologií nad rámec jejich současných mezí, a k lepšímu pochopení základních aspektů interakce laserového záření s hmotou a fyziky vysokých hustot energie. Klíčovým pilířem sekce je laserové centrum HiLASE v Dolních Břežanech. V této výzkumně-vývojové infrastruktuře se unikátním způsobem spojuje vědecká excelence s aplikačním potenciálem orientovaným na technologický vývoj a high-tech aplikace laserů podle konkrétních potřeb průmyslové a vědecké sféry. Dlouhodobou ambicí HiLASE je totiž stát se Centrem excellence, které bude sloužit široké vědecké a průmyslové komunitě uživatelů, stimulovat inovace a rozvíjet vlastní laserové technologie, aby byla zajištěna dlouhodobá udržitelnost a konkurenceschopnost centra. Primárním cílem výzkumu v centru HiLASE je experimentální vývoj nové generace pulzních pevnolátkových diodově čerpaných laserů s vysokým průměrným výkonem v řádu kW. V rámci aplikačního výzkumu využíváme tyto lasery pro zvyšování únavové životnosti a odolnosti materiálů, přesné mikroobrábění, testování odolnosti optických povrchů, a přípravu funkčních materiálů. Naším posláním je být spolehlivým partnerem pro vývoj nových průmyslových postupů, pro něž na současném trhu dosud neexistují vhodné laserové zdroje.

Společně s Ústavem fyziky plazmatu AV ČR, v.v.i., se také podílíme na provozu a dalším rozvoji společného vědeckého pracoviště Centrum PALS. Naši vědci jsou členy velkých mezinárodních týmů, které realizují komplexní experimenty v předních světových laboratořích. Kromě laserové fyziky působí naši experti v řadě mezinárodních vědních oborů, např. fyzika plazmatu a ionizovaných prostředí, fyzika vysokých hustot energie a extrémních stavů hmoty, chemie vysokých energií, atomová, iontová a molekulární spektroskopie, laboratorní astrofyzika, planetologie, astrobiologie, biofyzika, nanofotonika a plazmonika.

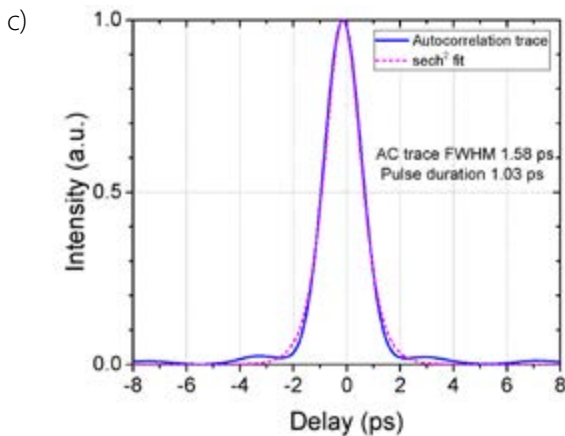
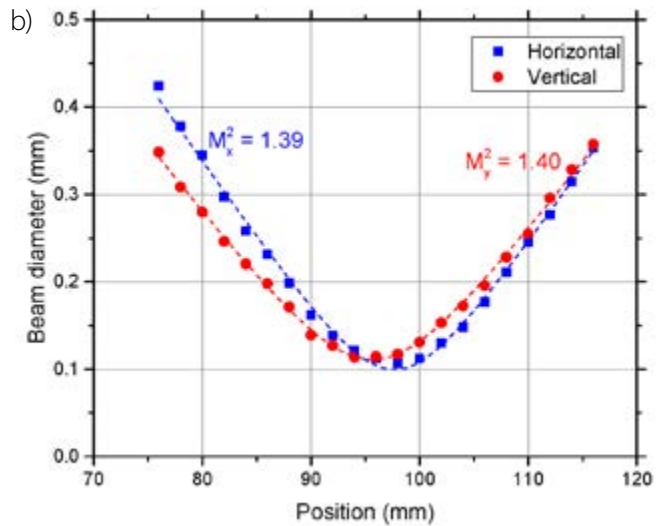
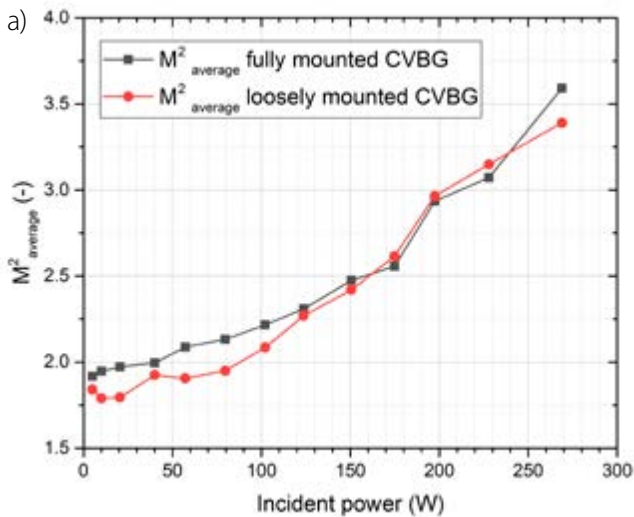
Laserová centra HiLASE a PALS jsou členy mezinárodní sítě laboratoří Laserlab Europe a poskytují významnou

část kapacity pro experimenty externích uživatelů v rámci otevřeného přístupu (Open Access).

2.5.1 Vývoj kompaktních pevnolátkových laserů

V rámci optimalizace tenkodiskového laserového systému se středním výkonem do 500 W pokračovaly studie na téma využití objemových čirpovaných braggovských mřížek (CVBG - Chirped Volume Bragg Gratings) pro kompresi sub-pikosekundových pulsů s energií do 5 mJ a opakovací frekvencí 50 – 100 kHz. Testovali jsme několik variant objemových mřížek a provedli srovnání s kompresorem standardní konstrukce na bázi dielektrických transmisních difrakčních mřížek s koncovým koutovým odražečem. Ukázalo se, že objemové braggovské mřížky jsou velmi citlivé ke způsobu uchycení a s rostoucím středním výkonem laserového svazku dochází k jeho výrazné degradaci (popsáno parametrem M^2 , obr. 88a). I v nejlepším případě pro výkony do 50 W však hodnota parametru neklesá pod 1,6. Navíc se projevuje silná tepelná čočka vzniklá vlivem absorpce laserového záření ve skle. Kompresi svazků s výkonem nad 250 W je tedy při současném stavu technologie těžko představitelná. Při použití dielektrických difrakčních mřížek však tento problém odpadá a kvalita komprimovaného svazku je na středním výkonu prakticky nezávislá. Při jejich použití bylo dosaženo kvality svazku $<1,4$ i při středním výkonu laseru > 400 W. Oproti objemovým mřížkám se navíc podařilo redukovat dobu trvání laserového pulsu na hodnotu 1 ps bez výrazných vedlejších maxim (obr. 88c).

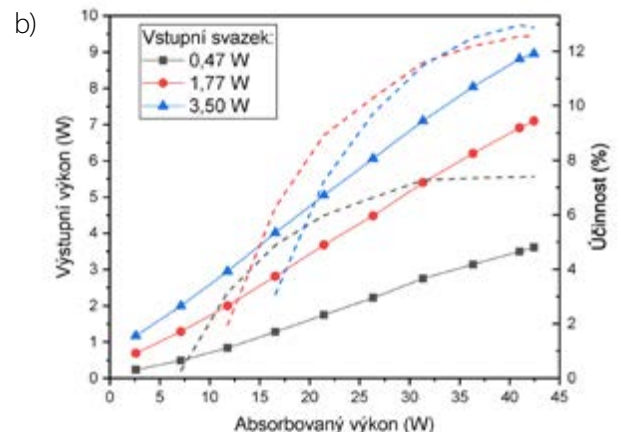
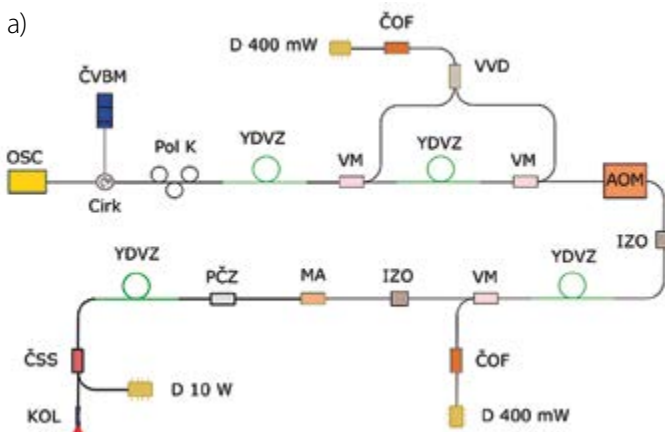
Pro systém Perla 500 byl zkonstruován a otestován nový vláknový předzesilovač na bázi Yb-dopovaných křemenných optických vláken. Systém se skládá z vláknového femtosekundového oscilátoru, prodlužovače pulsů, selektoru pulsů a systému čtyř vláknových předzesilovačů (obr. 89a). Energie pulsů byla zvýšena na 10 μ J čtyřprůchodovým tyčovým Yb:YAG předzesilovačem (obr. 89b). Systém je kvůli potlačení zesílené spontánní emise



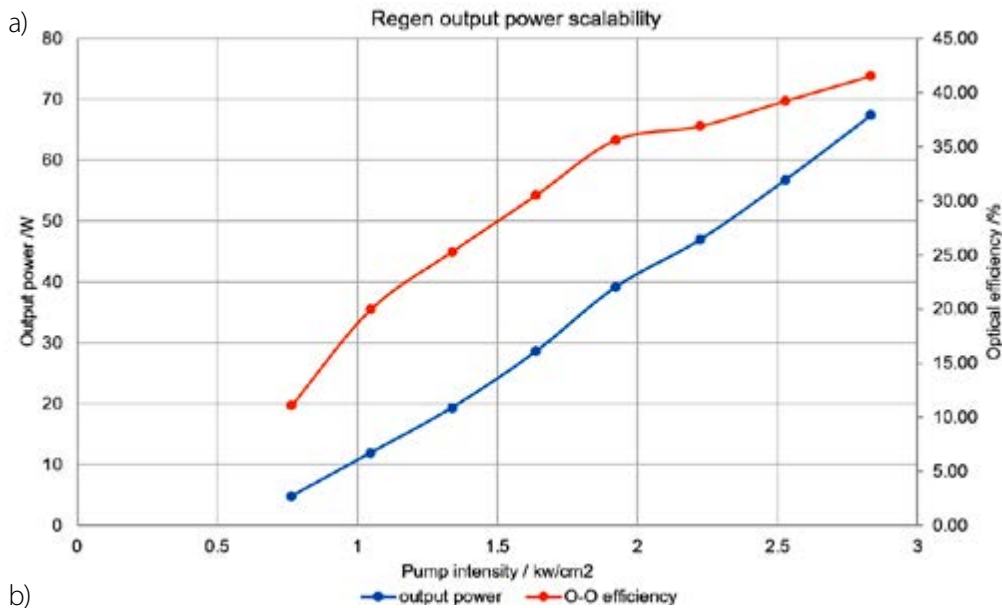
■ Obr. 88 (a) Vliv středního výkonu laseru na kvalitu laserového svazku v CVBG popsanou parametrem M^2 . (b) Kaustika fokusovaného svazku při měření parametru M^2 laseru Perla C 500 s kompresorem z dielektrických difrakčních mřížek při výkonu > 350 W. (c) Intenzitní autokorelace pulsu z laseru Perla C 500 s kompresorem z dielektrických difrakčních mřížek prokazuje velmi dobrou kompresi pulsů na 1 ps.

Do závěrečné fáze dospěl vývoj komerční verze laserového systému Perla 100 [1]. Do masivního hliníkového boxu byl nově instalován systém tepelných fólií stabilizující teplotu boxu na pevně nastavené teplotě. Systém, který volitelně obsahuje kromě základního regenerativního zesilovače též selektor pulsů, kompresor pulsů, bezpečnostní závěrky a atenuátory, je optimalizován pro energie pulsů do 10 mJ (v budoucnu > 20 mJ) a opakovací frekvence pulsů 1–200 kHz. Optická účinnost hlavního

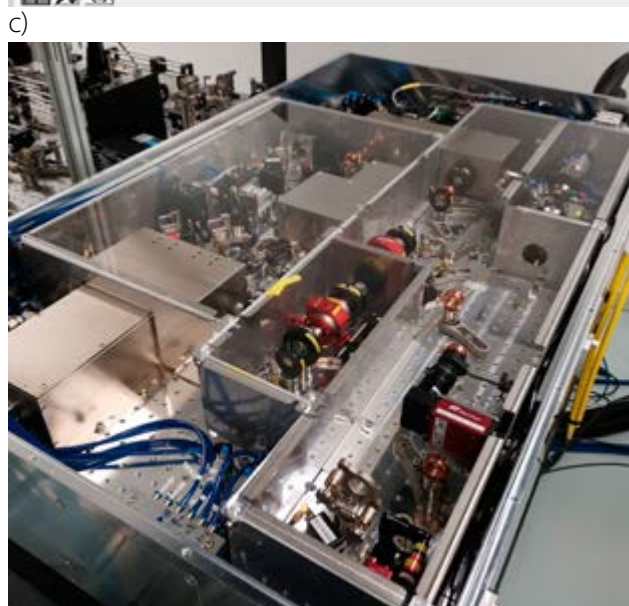
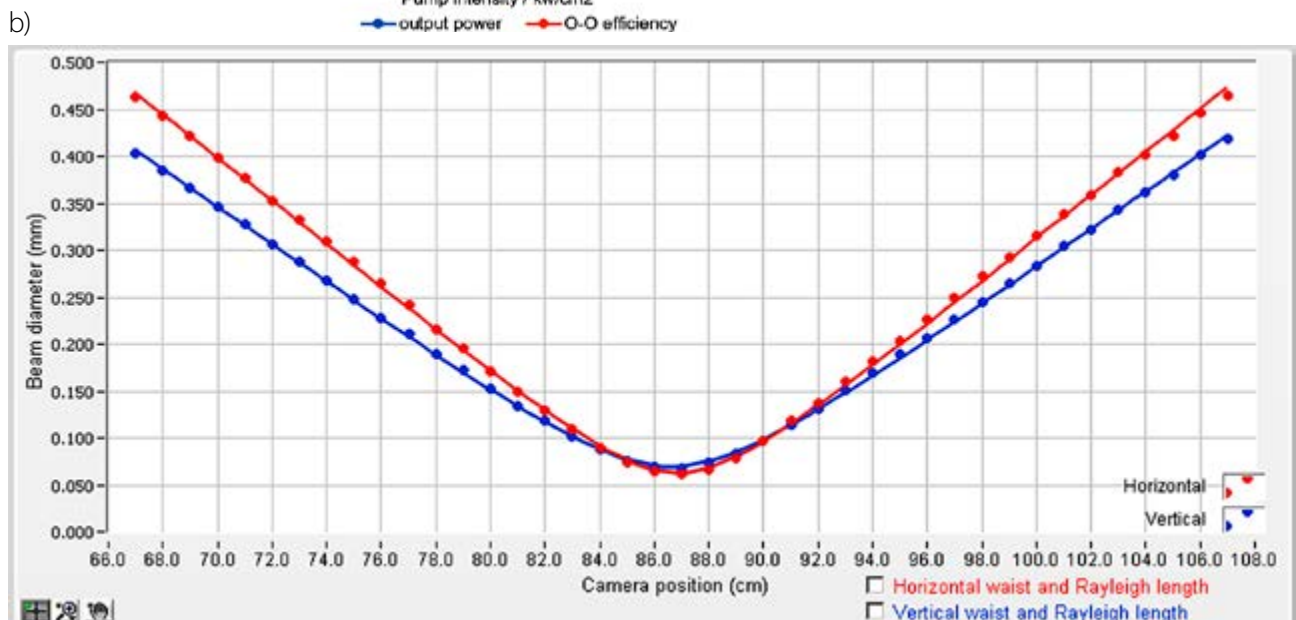
optimalizován na opakovací frekvenci pulsů 1 MHz, která je přizpůsobena akustooptickým modulátorem tenkodiskovému regenerativnímu zesilovači Perla C 500. Do systému plánujeme integrovat tvarovač pulsů optimalizující celkovou disperzi zesilovacího řetězce.



■ Obr. 89 (a) Optické schéma vláknové části nového předzesilovače pro Perlu C 500: OSC – oscilátor, CIRK – cirkulátor, POL K – polarizační kontroler, YDVZ – Yb dopované optické vlákno, VM – vlnový multiplexer, AOM – akustooptický modulátor, IZO – optický izolátor, ČOF – ochranný filtr čerpací diody, D – čerpací dioda, ČVBM – čirpovaná vláknová braggovská mřížka, KOL – kolimátor, MA – módový adaptér, ČSS – čerpací vazební člen. (b) Výstupní výkon a extrakční účinnost pevnolátkového Yb:YAG předzesilovače při různém výstupu vláknové části a opakovací frekvenci pulsů 1 MHz.

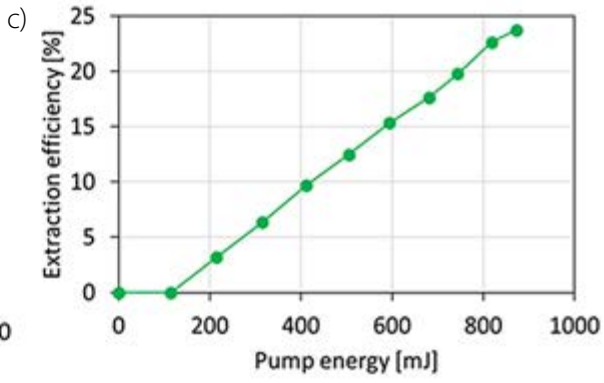
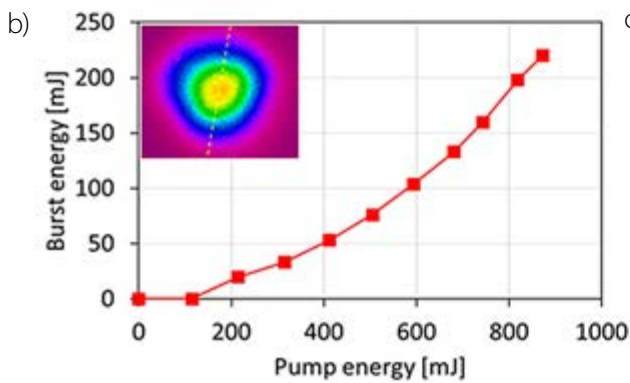
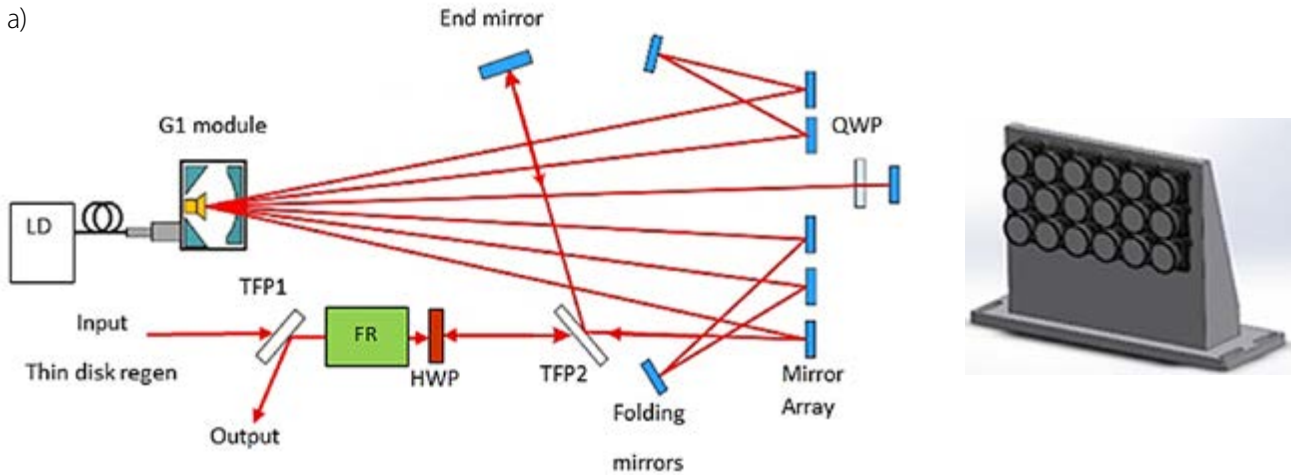


■ Obr. 90 (a) Výstupní výkon a optická účinnost prototypu komerčního laseru Perla C 100 s opakovací frekvencí 10 kHz. (b) Kautsika svazku z tohoto laseru při měření parametru kvality svazku M^2 . (c) Fotografie systému Perla C 100 vyvinutého v rámci zakázky smluvního výzkumu.

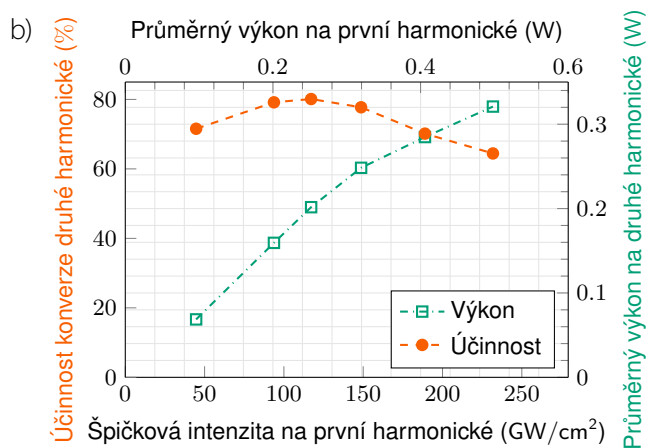
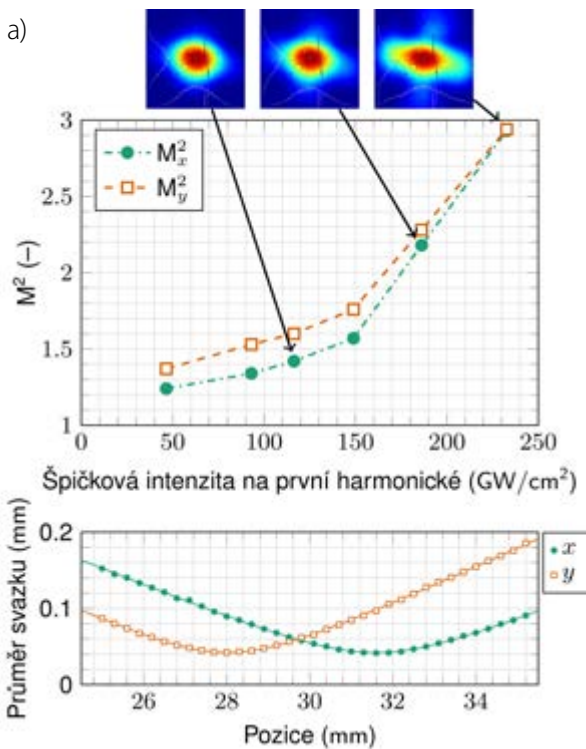


zesilovače přesahuje 40% (obr. 90a) a kvalita laserového svazku s hodnotou M^2 rovnou přibližně 1,1 (obr. 90b) se pohybuje blízko difrakčního limitu. Slibně pokračuje také vývoj komerční verze frekvenční konverze do 2. a 4. harmonické frekvence a přeladitelného optického parametrického systému s emisí v oblasti vlnových délek 1,5–3 mm.

Ve druhé polovině 2019 byla demonstrována první generace víceprůchodového tenkodiskového zesilovače. Zdrojem pulsů byl tenkodiskový regenerativní zesilovač Perla B. Systém umožňuje účinnou extrakci energie z Yb:YAG tenkého disku pomocí pole zrcadel a Faradayova rotátoru realizujícího až 24 průchodů tenkým diskem (obr. 91a). Systém byl použit pro zesilování pulsů v tzv. burst módu, kdy bylo zesilováno 10 pulsů s opakovací frekvencí 10 kHz a opakovací frekvencí balíku deseti pul-



■ Obr. 91 (a) Optické schéma víceprůchodového tenkodiskového předzesilovače pro laserový systém Perla B: G1 – tenkodiskový modul, LD – čerpací laserová dioda, FR – Faradayův rotátor, HWP – půlvlnová destička, TFP – tenkovrstvý polarizátor, QWP – čtvrtvlnová destička, MIRRORS – zrcadla, Mirror array – zrcadlové pole. (b) Měření výstupní energie balíku deseti laserových pulsů s vnitřní opakovací frekvencí 10 kHz a celkovou opakovací frekvencí 100 Hz, vložený profil výstupního svazku. (c) Extrakční účinnost energie v tomto režimu.



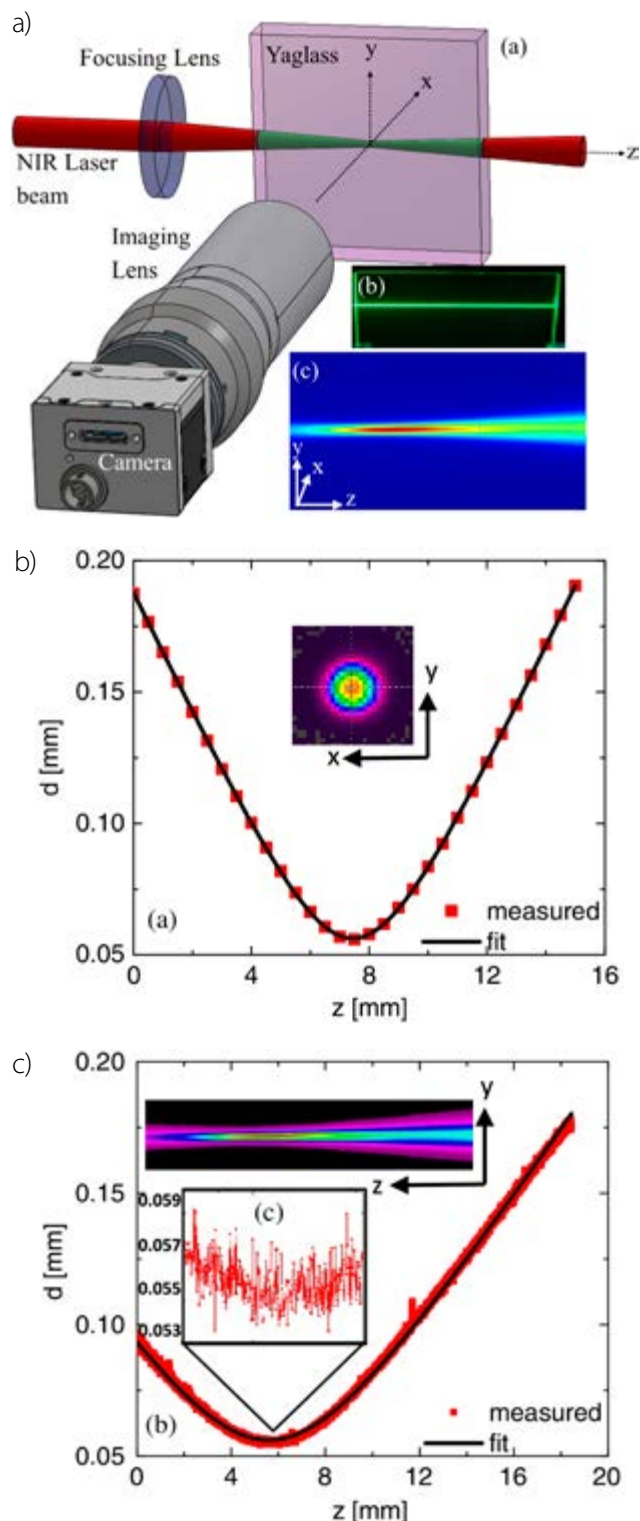
■ Obr. 92 (a) Analýza profilu a parametru kvality laserového svazku se zobrazenou kaustikou v tangenciální a sagitální rovině při konverzi pulsů laserového systému Perla B s opakovací frekvencí 1 kHz do 2. harmonické frekvence. (b) Měření konverzní účinnosti do 2. harmonické frekvence v závislosti na intenzitě laserového svazku.

sů 100 Hz. Zesilovač umožnil extrakci pulsů s energií až 22 mJ, tj. 220 mJ v celém balíku (obr. 91b). Zesilovač si zachovával vysokou kvalitu laserového svazku (obr. 91b). Účinnost extrakce energie byla $< 25\%$ (obr. 91c), neboť její zvýšení vyžaduje použití více zrcadel v zrcadlovém poli, což zvyšuje nároky na mechanickou stabilitu. Druhá generace zesilovače byla navržena a je v současné době ve výrobě.

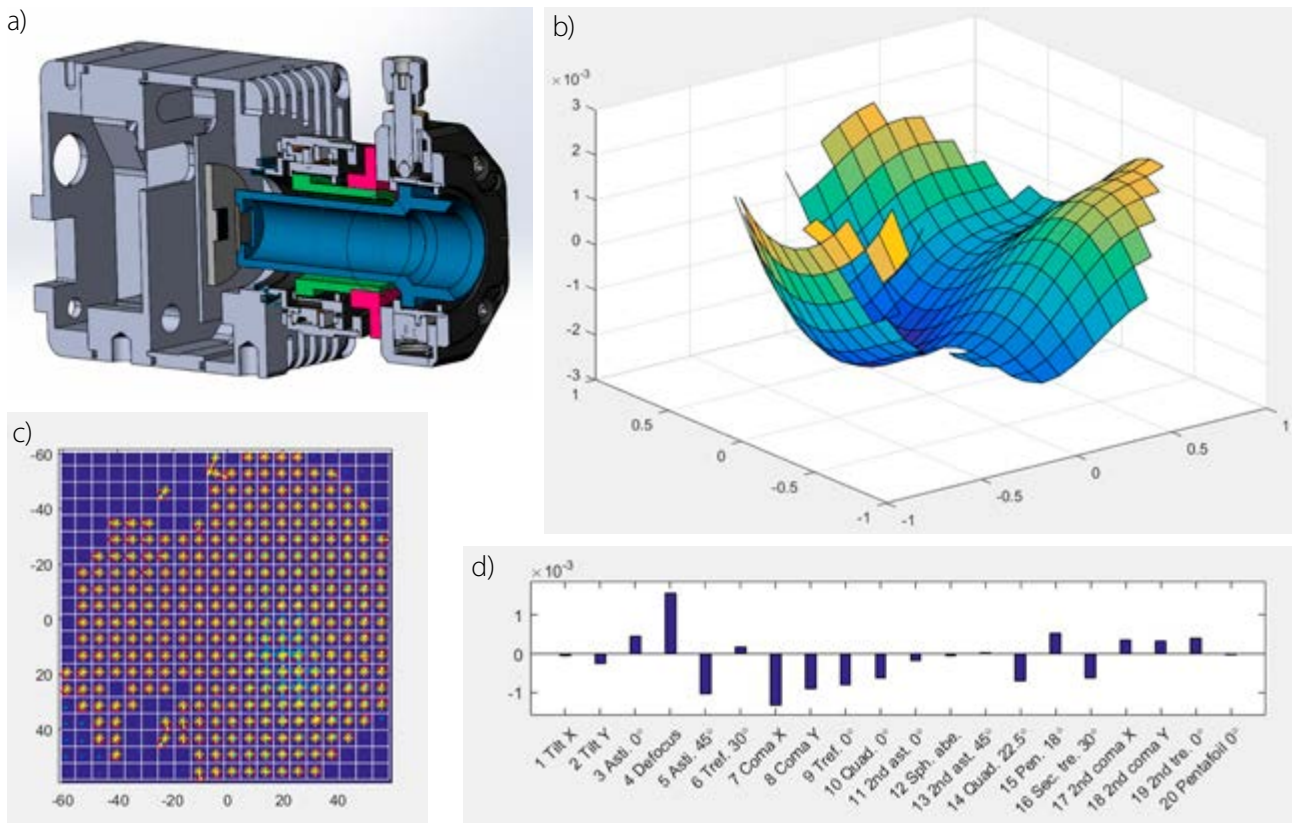
Na regenerativním zesilovači systému Perla B byla nově nainstalována konverze do druhé harmonické frekvence (515 nm). Vzhledem k požadavku na vysokou kvalitu laserového svazku bylo provedeno podrobnější zkoumání vlivu intenzity svazku na základní harmonické frekvenci na kvalitu svazku na druhé harmonické frekvenci (obr. 92) [2]. Na základě měření byly identifikovány oblasti s nejlepší kvalitou svazku, maximální konverzní účinností a maximálním výkonem. Jednotlivé parametry jsou však v protikladu a je tedy potřeba optimalizovat systém pro konkrétní aplikaci.

Významnou kapitolou související s vývojem laserových zdrojů byl i vývoj speciální komerčně nedostupné diagnostiky pro laserový svazek. V roce 2019 byl dokončen vývoj a testování jednovýšřelového profileru laserového svazku pro pulsní Yb:YAG laser [3]. Zařízení se skládá z fluorescenčního materiálu zviditelňujícího kaustiku fokusovaného laserového svazku, kamery a vhodného objektivu (obr. 93a – nahoře). Systém je schopen zobrazit v jediném snímku kaustiku laserového svazku a stanovit kvalitu laserového svazku (obr. 93c) – vpravo dole). Při dostatečné rychlosti kamery a softwaru lze provádět analýzu každého jednotlivého pulsu. Spolehlivost přístroje byla ověřena srovnáním s komerčně dostupnými přístroji (obr. 93b) – vlevo dole). Systém může navíc sloužit například k monitorování tepelné čočky optiky pro laserové mikroobrábění v reálném čase a poskytovat zpětnou vazbu pro korekci polohy ohniskové roviny.

K bezetrátové nápravě kvality laserového svazku slouží v posledních letech pokročilé systémy adaptivní optiky. Detektory i zrcadla však existují zejména pro lasery emitující ve viditelné a blízké infračervené spektrální oblasti. Vývoj zdrojů záření pro střední infračervenou oblast neumožňuje použití křemíkových detektorů a vyžaduje vývoj nových detekčních systémů. Navrhli jsme, sestavili a ověřili nový sensor vlnoplochy (Shack Hartman) na bázi PbSe rychlé kamery a mikročočkového pole (obr. 94a). K detektoru byl napsán software a detektor byl úspěšně testován při měření kvality jalového svazku optického parametrického zesilovače s vlnovou délkou >2 mm (obr. 94b). V přípravě je stavba uzavřené smyčky s kovovým adaptivním zrcadlem, které umožní vlnoplochu s aberacemi korigovat.



■ **Obr. 93** (a) Model zařízení pro jednovýšřelové měření kvality laserového svazku; fotografie fluorescenčního materiálu s kaustikou svazku (nahoře). (b) Záznam kaustiky svazku kamerou a referenční měření parametru M^2 skenovacím profilerem svazku (uprostřed). (c) Porovnání s měřením kaustiky pomocí nového profileru (dole). V nové metodě je patrně podstatně větší množství bodů zvyšující přesnost měření.



Obr. 94 (a) Model senzoru vlnoplochy na bázi Shack Hartmannova principu pro spektrální oblast 2 – 5 mm. (b) Změřená vlnoplocha jalového svazku parametrického zesilovače čerpaného Perlou C 100. (c) Záznam z kamery pro tutéž vlnoplochu před zpracováním. (d) Podíl aberací zjištěných ve výše uvedené vlnoploše zjištěný rozkladem do Zernikeových polynomů (dole).

2.5.2 Vývoj kryogenních laserů a technologií

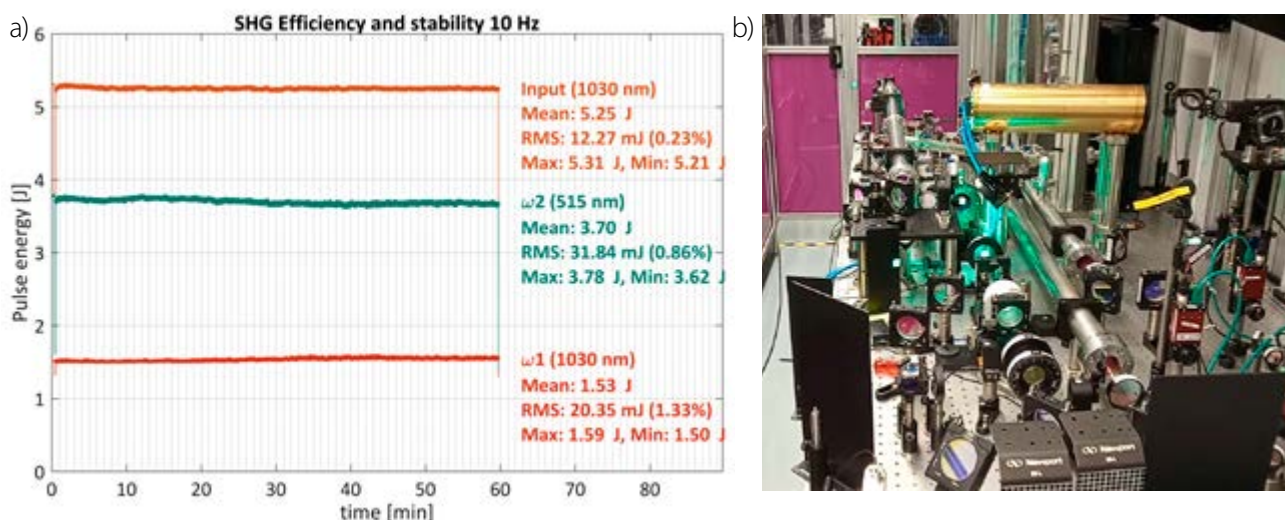
V roce 2019 byl superlaser Bivoj rozšířen o možnost konverze záření z infračervené části spektra do zelené a modré barvy (generace druhé a třetí harmonické frekvence). Ve zbytku roku byl pak Bivoj úspěšně používán pro široké spektrum interních i externích uživatelských experimentů jako je např. testování meze poškození optických prvků nebo tvrzení materiálů rázovou vlnou. Externí přístup na systém Bivoj byl poskytován také bezplatně v rámci Open Access, ve kterém mohou uživatelé s kvalitními projekty soutěžit o přístup k laseru.

Pro generaci harmonických frekvencí (zelené světlo na 515 nm a modré světlo na 343 nm) byl postaven experiment pro konverzi záření z 10 J předzesilovače a byla provedena konverze s vysokou účinností, přes 66 % do druhé harmonické frekvence a přes 60 % do třetí harmonické frekvence. Taktéž energetická stabilita byla vynikající: 0,9% RMS pro 515 nm a 1,5 % RMS pro 343 nm. Ukázka měření stability pro druhou harmonickou frekvenci je na obr. 95a. Fotografie experimentálního uspořá-

dání pro generaci druhé harmonické frekvence je na obr. 95b. Druhá i třetí harmonická frekvence bude uživatelům přístupná během roku 2020.

Po několika letech se nám také povedlo zvýšit výkon předzesilovače Bivoj z 7 J až na 13 J. Mez poškození optiky byla při provozní frekvenci 10 Hz podstatně níže než výrobci udávali a projevila se poškozením optiky už po desítkách tisíc pulsů. Rozsáhlé testování optických prvků na mez poškození a spolupráce s výrobcí optiky byly velmi úspěšné a mez poškození se zvýšila. Tento krok připravil půdu pro podstatné zvýšení energie i výkonu v celém řetězci systému Bivoj.

Hlavní zesilovač o výstupní energii 100 J může být momentálně používán pouze pro velmi omezené experimenty kvůli neexistujícímu optickému izolátoru. Vývoj optického izolátoru pokračoval úspěšným otestováním malého izolátoru pro lasery Perla. Izolátor byl otestován až do 100 W středního výkonu (obr. 96), nicméně hustoty výkonu dosahující 500 W/cm² významně překračovaly požadavky izolátoru pro laser Bivoj (100 W/cm²). Zkušenosti získané s tímto izolátorem byly využity v návrhu velkého izolátoru, pro který byl nalezen vhodný kryogenní elektromagnet (obr. 97) a navržena geometrie aktivního prostředí. Úspěšně



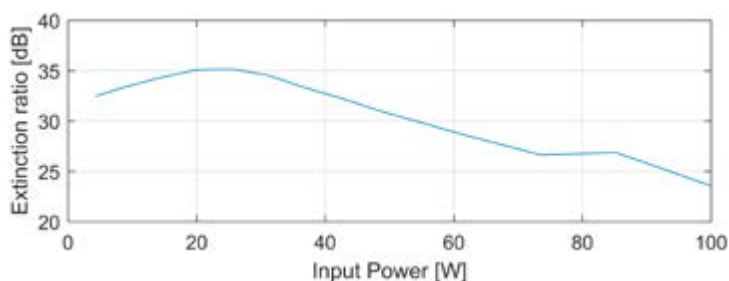
■ Obr. 95 (a) Stabilita konverze do druhé harmonické frekvence. Na obrázku je znázorněna energie pulzů na vstupu krystalu (oranžová), energie v konvertovaném záření na 515 nm (zelená) a energie v nezkonvertovaném zbytku základní frekvence (červená). (b) Experimentální uspořádání pro generaci harmonických frekvencí na superlaseru Bivoj.

pokračoval i základní výzkum nových magnetooptických materiálů [4], [5] a pokročilé modelování termálních jevů v pevnolátkových laserových zesilovačích [6].

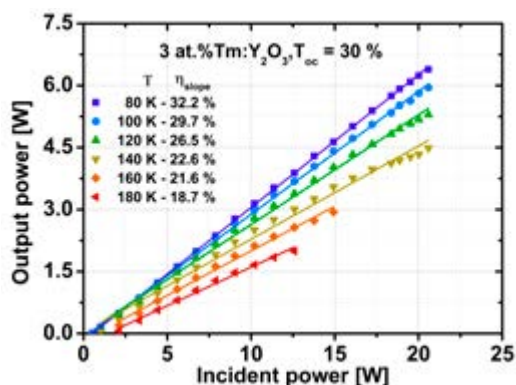
V rámci programu vývoje adaptivní optiky byl vytvořen a otestován senzor vlnoplochy založený na algoritmu rekonstrukce fáze pro vlnovou délku 1 mm a 2 mm. Předpokládá se následně rozšíření i do vzdálenější infračervené oblasti kolem 5–10 mm. Senzor vlnoplochy využívá měnící se masku, která ovlivňuje svazek, a detektor pak

sleduje změny svazku v daleké zóně. Tento detektor v ideálním případě nemusí mít ani prostorové rozlišení, které je naopak dáno rozlišením masky. Tato maska může být i reflexní, takže lze tedy relativně snadno rozšířit spektrum vlnových délek, ve kterých senzor pracuje.

Skupina kryogenní spektroskopie zaměřená na studium nových laserových materiálů [7], [8] mimo jiné úspěšně otestovala thuliem dopovaný sesquioxid $\text{Tm:Y}_2\text{O}_3$, který umožňuje laserovou činnost v oblasti 2 mm, která



■ Obr. 9 Pokles izolačního faktoru s propuštěným výkonem.



■ Obr. 96 Výstupní výkon $\text{Tm:Y}_2\text{O}_3$ laseru na vlnové délce 1932 nm v závislosti na buzení a provozní teplotě.



■ Obr. 97 Kryogenní magnet pro Faradayův izolátor vyvíjený pro Bivoj 100 J.

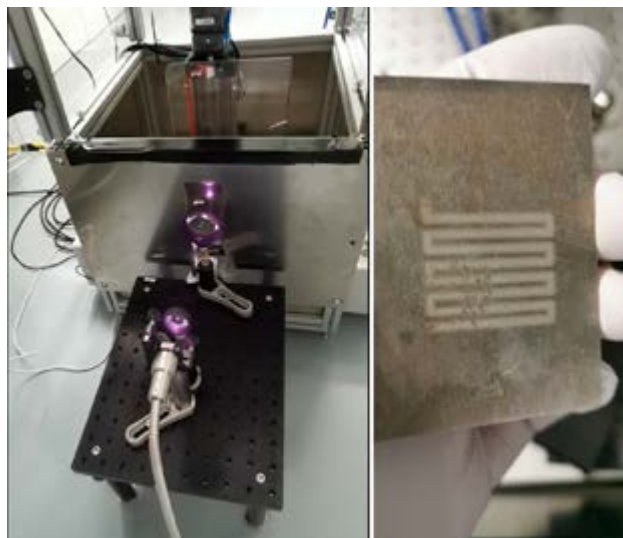
je v současnosti velmi vyhledávaná z pohledu průmyslových aplikací. S kryogenním chlazením byl dosažen kontinuální výkon přes 6 W. Získané výstupní výkony za různých teplot jsou zobrazeny na obr. 11.

2.5.3 Studium prahu poškození způsobeného laserem

V roce 2019 byl pro naši měřicí stanici LIDT (Laser Induced Damage Threshold) zpřístupněn další laserový zdroj pro rutinní testy prahu poškození laserem – systém Perla B, který je schopný dodat pulzy o délce pouhých 1,8 ps s energií převyšující 10 mJ při opakovací frekvenci 1 kHz. Podobně jako nanosekundový systém Bivoj pracuje Perla B také na základní vlnové délce 1030 nm, přičemž ve výstavbě je nový systém pro konverzi do 2. a 3. harmonické frekvence (515 nm a 343 nm). Tato rozšíření umožní širší využití testovací stanice LIDT pro další aplikace, například při stanovování optimálních podmínek při řezání a vrtání laserem, vývoji procesů laserového čištění a odprašování atd.

V rámci projektu TRIO – Technologie přenosu vysoce energetických laserových impulsů svazkem optických vláken, který byl úspěšně dokončen v roce 2019, bylo ve spolupráci se společností SQS Vláknová optika a.s. dosaženo významného průlomu v oblasti přenosu vysokých laserových energií optickými vlákny. Na stanici LIDT byl vyvinut a úspěšně otestován prototyp nového optického vlákna (obr. 99, 100) umožňujícího přenos špičkového výkonu až 100 MW. Takové vlákno je perspektivní pro mnoho nových aplikací a v rámci centra HiLASE bude využito při stavbě robotizované stanice pro zpracování materiálů laserem.

Nadále probíhal také projekt TAČR Epsilon (Stabilní tenké vrstvy pro optické a monokrystalické materiály), v rámci kterého se podařilo ve spolupráci se společností Crytur s.r.o. vyvinout antireflexní a vysoce odrazivé dielektrické vrstvy na bázi ZrO_2 s velmi vysokým prahem poškození.

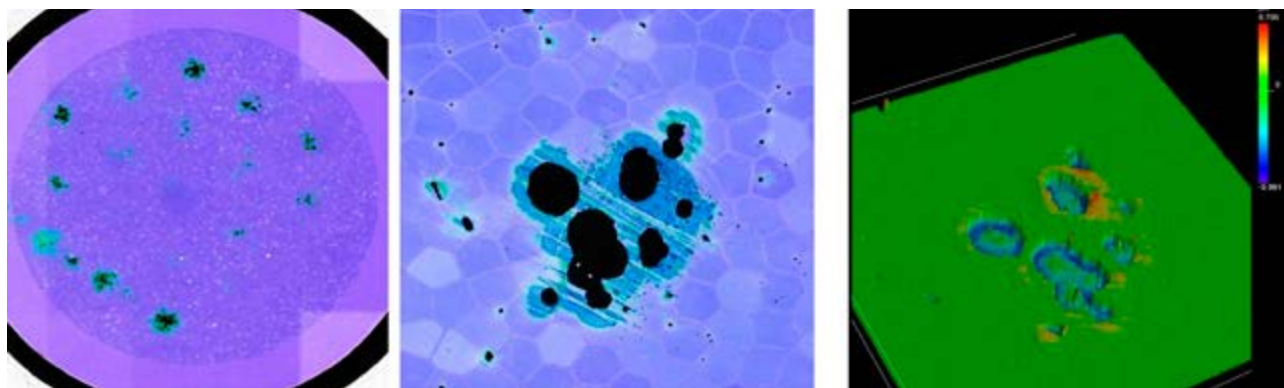


■ Obr. 98 Testování prototypu vlákna: vlevo - vlákno s optikou v provozu na mobilní stanici povrchového opracování laserem, vpravo - vzorek ošetřený laserovým paprskem.

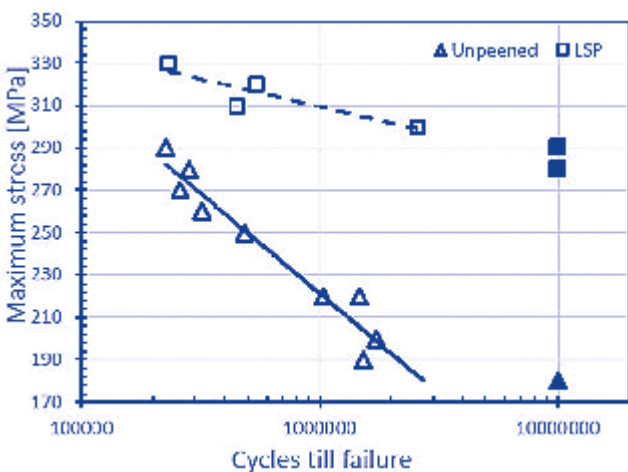
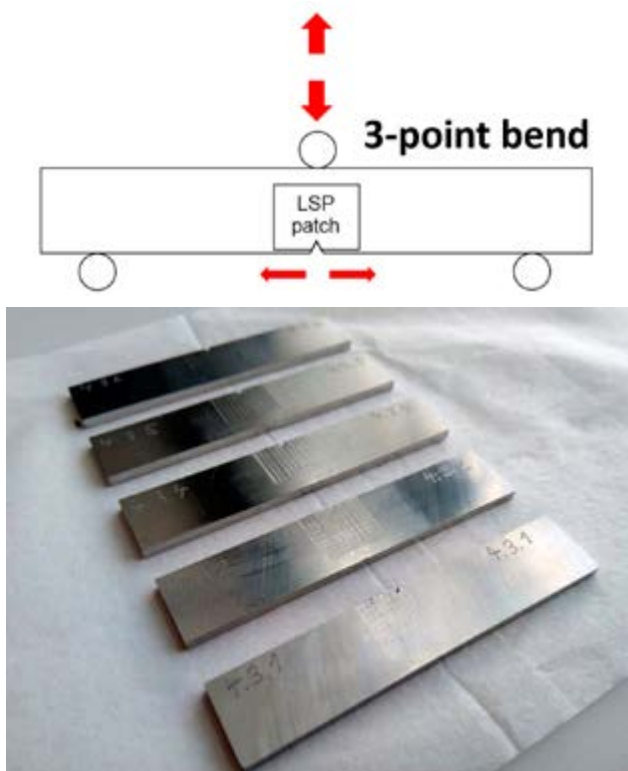
Také byla zrealizována řada projektů zakázkového výzkumu, z nichž nejvýznamnější byla zadána společností BBT-Materials Processing Ltd. na výzkum prahu poškození nového typu optických krystalu s velmi vysokým dvojlomem.

2.5.4 Zlepšování mechanických vlastností materiálu vysokovýkonnými laserovými pulsy

Experimentální stanice LSP (Laser Shock Peening) pro výzkum a vývoj technologie laserového vyklepávání rázovou vlnou je plně v provozu již od roku 2017. Samotná stanice byla vybudována a postupně vylepšována podle vzoru několika specializovaných pracovišť ve Španělsku, Jihoafrické republice a zejména podle dříve komerčně



■ Obr. 99 Snímky čela vyvinutého optického vlákna pro přenos vysoce energetických laserových pulzů. Čelo bylo poškozeno při testování různých variant úprav povrchu s cílem zvýšit jeho prah poškození.



■ **Obr. 100** Nahoře – Metodika testování třibodovým ohybem na vzorku ovlivněném metodou LSP. Uprostřed – Vzorky zpracované technikou LSP připravené pro testování únavové životnosti třibodovým ohybem. Dole – Výsledky měření únavové životnosti na zpracovaných a nezpracovaných vzorcích, z nichž je patrné výrazné zvýšení únavové pevnosti a cyklů potřebných k porušení vzorku na určité hladině napětí.

provozované stanice na univerzitě v americkém Cincinnati, se kterou centrum HiLASE navázalo velmi úzkou spoluprací. V roce 2019 byla na naší stanici LSP realizována řada výzkumných projektů a experimentálních měření.

V zařízení LSP je využíváno zvyšování zbytkových napětí v povrchu materiálu, což má primárně za důsledek prodloužení životnosti cyklicky namáhaných komponent,

dále pak zvýšení tvrdosti a zvýšení odolnosti proti mechanickému opotřebení a koroznímu praskání. Technologie je založena na generaci vysokých tlaků na povrchu opracovávaného materiálu prostřednictvím rychle se rozpínajícího laserového plazmatu. Povrch součástky je během procesu pokryt adhezivní vrstvou (černá nebo hliníková páska), která povrch součástky chrání před tepelnými jevy doprovázejícími absorpci nanosekundových laserových pulsů. Výsledný efekt na součástku je pak čistě mechanického charakteru. Během procesu je cílová oblast součástky pokryta tekoucí vodou, což zvyšuje velikost tlaku a dobu jeho působení.

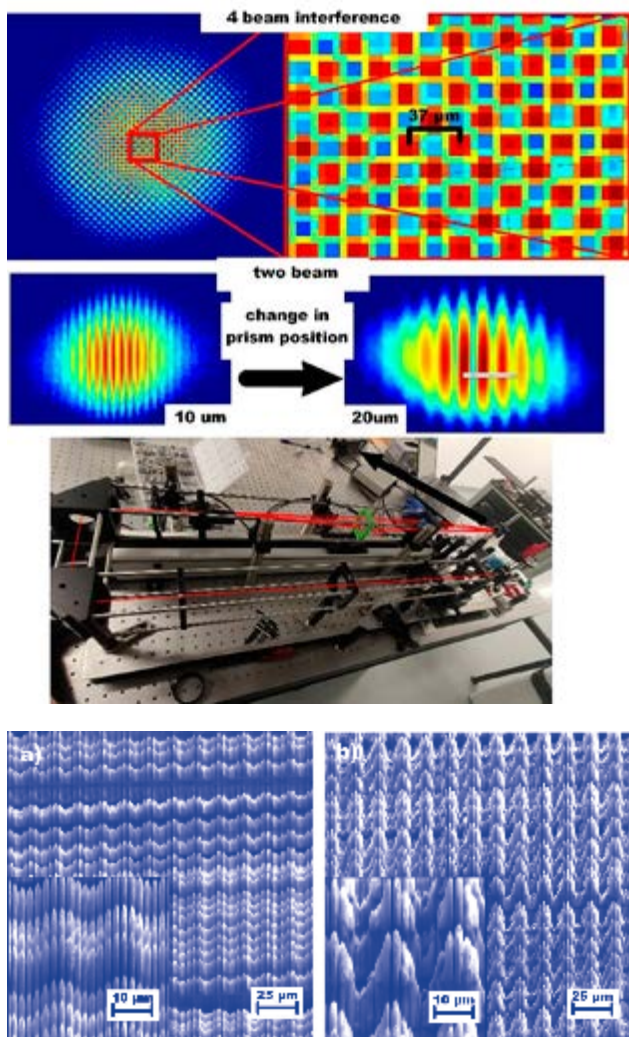
V projektech řešených v uplynulém období 2019 se jednalo zejména o laserové ovlivnění nerezových ocelí využívaných v čerpadlech. Zpracováním bylo dosaženo redukce kavitační degradace materiálu a na vybraných vzorcích bylo změřeno zlepšení dosahující až 50% úbytku oproti nezpracovanému stavu. Velkou zkoumanou oblastí jsou dále nerezové oceli využívané v energetice, a to jak pro klasické parní turbíny, tak i jako části jaderných reaktorů (obr. 101). Nad rámec výzkumu bylo provedeno i několik komerčních zakázek na laserové zpracování, většinou zaměřených na výrobní nástroje pro prodloužení jejich životnosti.

Mimo přímé ovlivnění laserem je po modernizaci infrastruktury realizované během 2019 nyní naše laboratoř vybavena i pro analýzu vnesených zbytkových napětí, a to buď pomocí rentgenové difraktometrie nebo mechanického odvtávání spojeného s interferometrií. Vedle LSP stanice se v laboratoři nachází i metalografická buňka sloužící k přípravě a úpravě vzorků. Nyní se naše pozornost upíná na výstavbu druhé LSP stanice s vlastním nezávislým laserovým zdrojem, která bude sloužit k vývoji ryze průmyslových LSP aplikací v kombinaci s jinými technologiemi, jako je laserové svařování a kalení.

2.5.5 Laserové mikrobrábění

Mikrobrábění obecně je velmi žádanou technologií pro zpracování přesných dílců a dodržení vysoké kvality. Laserové mikrobrábění pak dokáže tyto požadavky splnit ve výrazně lepších přesnostech než obrábění klasickými způsoby. Stejně tak zpracování povrchu laserem je velmi rychle se rozvíjející oblast, která díky vývoji laserů proniká do řady oborů. S novými lasery přicházejí nové principy a zároveň se snižuje cena opracování na jednotku plochy a tím se stává přesné laserové zpracování dostupnější pro stále více firem a oblastí výroby.

V centru HiLASE je prováděn výzkum mikrobrábění pomocí průmyslových laserů a paralelně s tím bylo také



Obr. 101 Nahoře – Interferenční maxima a minima získaná technikou rozdělování svazků. Dole – Zpracovaný povrch plastového kompozitu technikou DLIP (Direct Laser Interference Patterning) pro dosažení superhydrofobních vlastností.

vyvinuto několik unikátních laserových zdrojů vhodných právě pro velmi přesné obrábění nebo funkcionalizaci povrchu. V roce 2019 byla provedena řada testů mikroobrábění založených na laserových systémech HiLASE a nových metodách několiksvazkového obrábění, rozmítání a tvarování svazku. Provozované laserové systémy pokrývají širokou škálu parametrů: od ultrafialové po infračervenou vlnovou délku s časovou délkou pulzu od nanosekund až po jednotky pikosekund a s opakovací frekvencí od jednoho pulsu za sekundu až po 100 kHz.

Naším hlavním cílem je rychle a efektivně vytvářet funkční mikro a nanostruktury (obr. 102) a vytvářet tak funkční povrchy nacházející uplatnění v široké škále průmyslových oblastí – v leteckém průmyslu (ledofobní povrchy, snížení tahu, hydrofobní povrchy), v automobilovém průmyslu (samočistící povrchy, zvyšování korozní

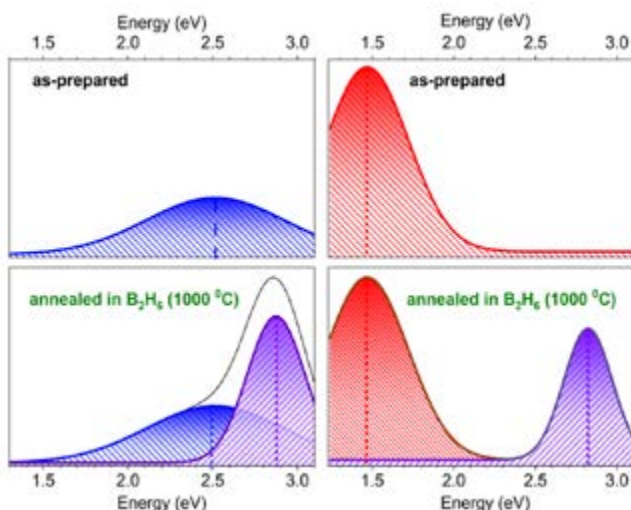
odolnosti, redukce tření), ve zdravotnictví (antibakteriální, biokompatibilní povrchy) a další, jako např. efektivní řezání, vrtání, gravírování a značení kovů, plastů, keramiky, skla a kompozitů s minimálním teplotním ovlivněním a přesností v řádech mikrometrů až stovek nanometrů. V uplynulém období byly zpracovány mimo jiné i vzorky z plastů, kovů i skel za účelem získání hydrofobních, superhydrofobních nebo omnifobních struktur [9], [10].

K měření vybraných vlastností je provozována laboratoř vybavená nejmodernějšími měřicími přístroji, jako jsou zařízení pro měření smáčivosti, mikroskopy (optický, konfokální a elektronový) a rentgenový difraktometr. V současnosti pracujeme na návrhu pokročilé procesní stanice, která umožní zpracování povrchu za pomoci difrakčních optických elementů v plně automatickém režimu s možností aplikace na 2D i 3D povrchy.

2.5.6 Interakce laseru s materiály a povrchy

Laser je zdrojem specifického druhu světla, které se v přírodě nikde nevyskytuje a díky svým jedinečným vlastnostem lze tuto energii koncentrovat do velmi malé ohniskové stopy. Laser se tak postupem času stal nepostradatelným nástrojem nejen vědy a výzkumu, ale především řady odvětví průmyslu, medicíny i běžného života. Každá aplikace má svá specifika a je pro ni vhodný určitý typ laseru. Jednou z oblastí výzkumu v centru HiLASE je studium interakce materiálů s laserovým zářením. Naši vědci přistupují k otázkám komplikovaných a nerovnovážných stavů hmoty pomocí teorie a numerického modelování, které dává možnost nahlédnout do průběhu nesmírně krátkých časových dějů a umožňuje rozpoznat klíčové vlivy mezi mnoha parametry vstupujícími do hry.

Jednou z oblastí našeho zájmu je interakce v oblasti středního infračerveného záření a bioaplikace. V rámci výzkumu v této oblasti je v dnešní době důležitým úkolem vývoj multifunkčních nanomateriálů s pokročilou modalitou. Mezi nimi přitahují zvláštní pozornost vícesložkové nanokompozity díky souběžné kombinaci různých vlastností. Nejzajímavější jsou zejména nanomateriály s fotoindukovanou emisí. To vede k široké škále použití např. jako biosenzory nebo v biomedicínských aplikacích. Jedním z nejslibnějších materiálů je křemík, který ovšem nemá ideální vlastnosti, což však lze překonat dopováním nano-Si různými prvky. Díky dopování křemíku dusíkem jsme pozorovali vícebarevnou fotoluminiscenci (obr. 16). Její účinnost silně závisí na podmínkách žhání: čím vyšší je teplota, tím vyšší je intenzita fotoluminiscenčního pásma [11].



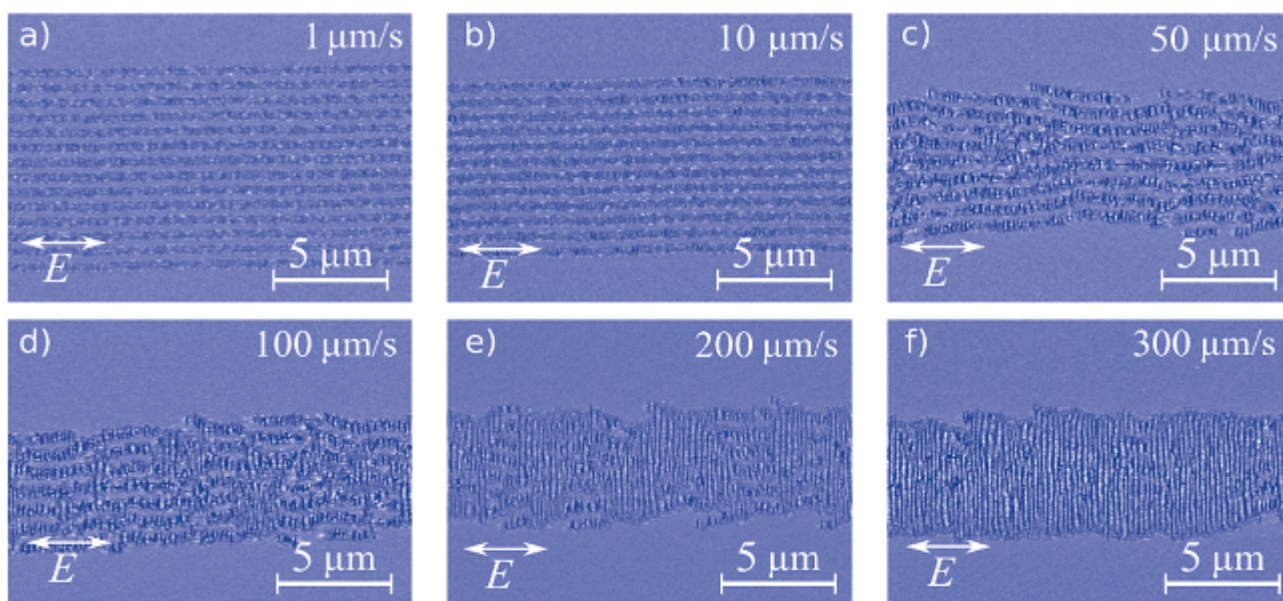
■ Obr. 102 Intenzivní fialová vícebarevná fotoluminiscence nanokompozitu nitridu křemíku s laditelnou pozicí emise.

Pulzní laserová ablace je jednou z nejúčinnějších a nejčistších metod pro vysoce přesné zpracování a modifikaci polymerů a biomateriálů. Naši vědci zabývající se bioaplikacemi studovali vliv femtosekundových a pikosekundových laserových pulsů při tvorbě pravidelného strukturování na povrchu polyimidu (Kapton). Bylo prokázáno, že femtosekundové laserové pulzy umožňují přesné strukturování, zatímco režimy pikosekundového ozařování mají za následek řadu nežádoucích účinků, jako je opětovné uložení ablačních zbytků a tvorba vysokých okrajů kolem ablačních kráterů [12].

Technika laserové ablace se používá také pro získávání nanočástic. Jedna z našich prací [13] se věnuje přípravě

kompozitních nanočástic z křemíku a zlata. Kontrola procesu syntézy je klíčovou otázkou při přípravě nanočástic různými metodami. V případě laserové ablace je hlavním parametrem procesu plošná hustota energie, která určuje rozdělení velikostí nanočástic i jejich chemické složení. Oba tyto parametry jsou zásadní pro následné aplikace, které mohou těžit jak z optoelektronických vlastností křemíku, tak z možností detekce určitých molekul díky přítomnosti zlata. Studie ukazuje, že při laserem asistované modifikaci čistých křemíkových nanočástic lze změnou jejich koncentrace stanovit průměrnou velikost a poměr zlata a křemíku v kompozitních nanočásticích. U takto připravených nanočástic byly pozorovány výrazné plazmonické vlastnosti, které umožňují jejich použití v biomedicínských aplikacích například pro detekci molekul pomocí povrchově zesíleného ramanovského rozptylu.

Naše další studie [14] ukázala, že v procesech laserové ablace se ne vždy můžeme spoléhat na obecné závěry a extrapolace z jiných experimentů. Konkrétně jsme studovali mechanismus laserové ablace cínu v různých podmínkách. Cín je vhodným materiálem pro experimentální zkoumání pro svou nízkou teplotu tání a nízký tlak nasycených par. Práh poškození v režimu interakce s nanosekundovými pulzy byl experimentálně ověřován ve vakuu, ve vzduchu a ve vodě. Zajímavým zjištěním je fakt, že práh poškození cínu je, na rozdíl od kovů s vyšším bodem tání, velmi málo závislý na prostředí a i teplo odváděné při přímém kontaktu materiálu s vodou je zanedbatelné. Dalším specifickým tohoto materiálu je, že vrstva vodní páry, která se tvoří při ablaci materiálu v místě kontaktu



■ Obr. 103 SEM snímky laserem nanostrukturovaných chromových filmů s $h = 28$ nm při různých skenovacích rychlostech: 1 $\mu\text{m/s}$ (a), 10 $\mu\text{m/s}$ (b), 50 $\mu\text{m/s}$ (c), 100 $\mu\text{m/s}$ (d), 200 $\mu\text{m/s}$ (e), 300 $\mu\text{m/s}$ (f). Energie laserového pulsu byla 110 nJ. Směr skenování byl podél polarizace světla znázorněně oboustrannými šipkami.

vody s povrchem absorbující látky, se tvoří až při vyšších hustotách energie než je typické pro ostatní materiály a nedochází tak k běžně uvažovanému rozptýlení záření na rozhraní kapalně a plynné fáze. Studovali jsme i ostatní specifika tohoto materiálu a vlivu různých prostředí pro provádění nanosekundové laserové ablace.

Náš tým se také věnuje výzkumu v oblasti depozice a studia tenkých vrstev vytvořených laserovou depozicí, kdy kinetické energie plazmatických oblaků a jejich kontrola jsou rozhodující pro zajištění vysoké kvality tenkých filmů. Byl nalezen přímý vztah mezi maximální kinetickou energií a atomovou hmotností: čím větší je hmotnost iontu, tím vyšší je jeho energie. Tato závislost se liší v závislosti na druhu ablovaného materiálu a jeho sklon se mění s laserovou fluencí [15]. Z oblasti tenkovrstvých materiálů byla také studována delaminace poloprůhledných keramických materiálů [16].

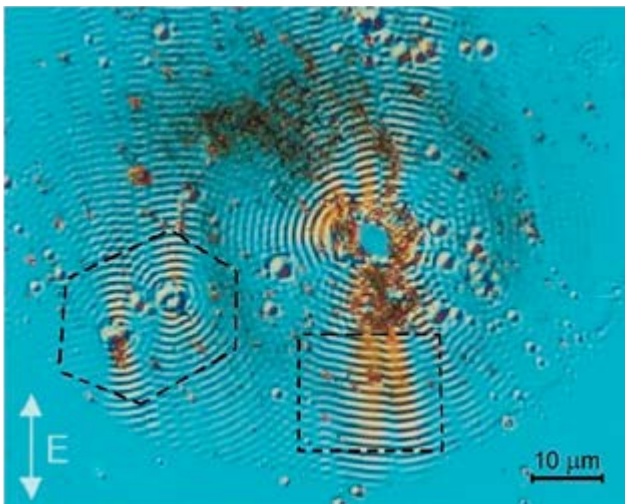
Kromě toho se již delší dobu věnujeme jak teoretickému, tak experimentálnímu výzkumu v oblasti periodických povrchových struktur generovaných laserem LIPSS (Laser Induced Periodic Surface Structures). Jedním z témat, které bylo blíže prozkoumáno, je vznik LIPSS a přeměna jednotlivých typů na druhý typ v tenké vrstvě chromu na skle (obr. 104). Pro vysvětlení tohoto jevu byl vyvinut přesný numerický kód pro modelování povrchových elektromagnetických vln v tenkovrstvé geometrii [17].

Periodické struktury indukované ultrakrátkými pulzy na povrchu materiálů jsou oblastí, které je věnována velká

pozornost, protože představují efektivní způsob strukturování povrchů v řadě průmyslových aplikací. V případě křemíku je za původce periodických struktur považována drsnost povrchu. Součástí morfologie reálných povrchů jsou také různé defekty, nečistoty, praskliny a podobně. Naše studie [18] se věnovala roli těchto defektů na formování struktur. Ukázalo se, že při ozáření neleštěného povrchu monokrystalického křemíku laserovými pulzy o délce stovek fs až jednotek ps lze pozorovat, že povrchové defekty o rozměrech jednotek mikrometrů se chovají jako zdroje periodických struktur a tvar a charakter defektů určuje polohu, směrovost a kvalitu periodických struktur. Struktury kopírují okraje nerovností a je tak dána jejich orientace (obr. 105). Podstatným zjištěním je, že defekty mohou sloužit jako dalekodosahové zdroje a vytvářet periodické struktury mimo ozářenou oblast.

Numerické modelování bylo také úspěšně aplikováno při studiu fyzikálních mechanismů neresipročního psaní a souvisejících efektů v průhledných médiích. Náš model je založen na nelineárních Maxwellových rovnicích doplněných hydrodynamickými rovnicemi pro volné elektronové plazma a rychlostními rovnicemi pro vývoj defektů uvnitř materiálu a umožnil nám získat velmi dobrou představu o šíření ultrakrátkých laserových pulzů v průhledných materiálech [19]. Teoretické studie umožňují nahlédnout do stavů, které lze obtížně kvantifikovat experimentálními metodami. Jednou z těchto oblastí jsou optické vlastnosti materiálů při interakci s vysokoenergetickými laserovými pulzy. Vlastnosti materiálů se v těchto podmínkách mohou výrazně lišit od těch, které pozorujeme, používáme-li nižší energie, a jsou klíčové pro interakce laseru s látkou. Numerická analýza interakce zinku s femtosekundovým laserem na základě dvouteplotního modelu [20] uvažuje dynamickou změnu reflektivity následkem excitace vodivostních elektronů. Tento fakt má za následek změnu absorpce energie v látce a tedy jiné podmínky pro procesy probíhající v materiálu jako následek ozáření. Vypočtené výsledky jsou porovnatelné s experimentálními daty a model lze přenést na jiné materiály pro obdobné simulace, které mohou zpřesnit současné modely pro femtosekundové interakce.

Další oblast našeho zájmu je aplikace dvouteplotního modelu pro interakci laseru s tenkými vrstvami. Práce [21] představuje termální model absorpce energie tenkou vrstvou molybdenu na skleněném substrátu. Popis absorpce, excitace a následné relaxace probíhající v materiálu vede k výsledným hodnotám prahové hustoty energie pro tání, které souhlasí s experimentálně získanými výsledky. Práce se věnuje diskuzi efektů a teplotních závislostí i dalších parametrů a podává informace o možných limitech modelu. Teoretická studie [22] se



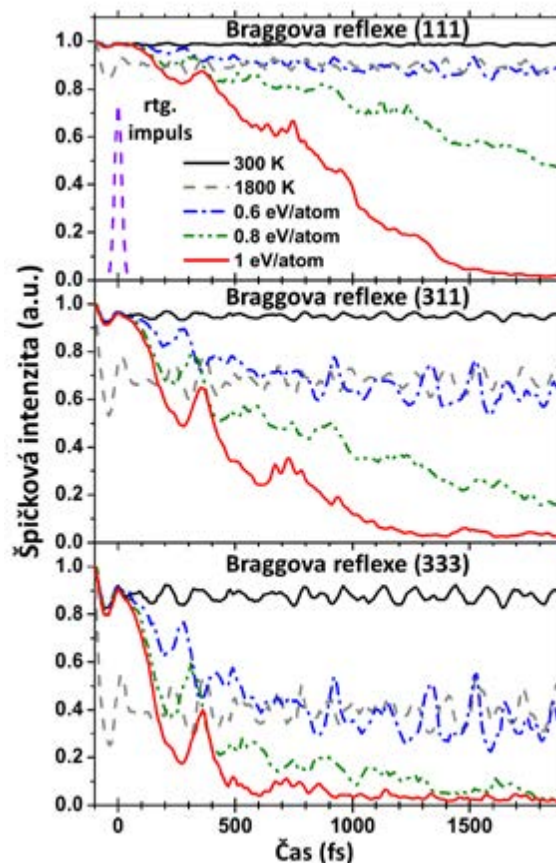
■ **Obr. 104** Periodické struktury na povrchu křemíku. Oblast ozářená třemi pulzy o délce 7 ps. Hustota energie $0,8 \text{ J/cm}^2$. Je patrná konstruktivní interference periodických struktur z různých defektů, které určují rozložení a orientaci periodických struktur. Na obrázku jsou přerušovanou čarou vyznačeny oblasti nejlépe ilustrující toto chování pro blízké zdroje (čtvercová oblast) a navzájem vzdálené zdroje (hexagonální oblast).

pak věnuje fázovým změnám materiálu během laserové krystalizace křemíku pro aplikace ve fotonice. Model popisuje interakci kontinuálního laseru s tenkým vlnovodem na skleněném substrátu. Cílem modelu je určit čas potřebný k dosažení kapalně fáze a výsledné podmínky v celém ozářeném objemu křemíkového vlnovodu a určení teplotního rozložení v substrátu. Pro výrobu vlnovodů je vysoká teplota křemíku žádoucí, na druhou stranu u určitých druhů substrátu může být vysoká teplota limitním faktorem. Model využívá implicitní numerické schéma s dobrou mírou zachování energie a dává výsledky konzistentní s experimenty a jinými studiemi s podobným uspořádáním experimentu.

2.5.7 Rozlišení tepelného a netepelného tavení pomocí femtosekundové rentgenové difrakce

Pod pojmem tavení si většinou představíme fyzikální proces, při kterém pevnou látku zahříváme až k bodu tání, při kterém započne přeměna fáze pevné ve fázi kapalnou. Jedná se o děj tepelný, kdy „ohřáté“ energetické elektrony prostřednictvím srážek předávají svou energii atomům (iontům) krystalové mřížky. Atomy, které původně kmitaly v periodickém vazebním potenciálu, tím získají dostatečně vysokou kinetickou energii, aby z potenciálové jámy unikly, což vede k rozpadu mřížky, randomizaci poloh atomů, a tedy k tepelnému tavení, které se odehrává na pikosekundových časových škálách typických pro elektron- fononovou interakci. Moderní femtosekundové lasery jsou však schopny iniciovat tavení netepelnou cestou, kdy v důsledku intenzivní fotoionizace a následné srážkové ionizace dojde k odejmutí významné části valenčních elektronů formujících meziatomární vazební potenciál. Tím dojde k podstatné redukci vazebních sil a atomy tak mohou z potenciálové jámy uniknout, aniž by došlo k významnému nárůstu jejich kinetické energie neboli k ohřevu mřížky samotné. Opět dojde k randomizaci poloh atomů a tavení, tentokrát však pod bodem tání materiálu a na časových škálách zhruba o řád kratších (~100 fs).

Oba procesy v látce probíhají od příchodu laserového impulsu a přestože se odehrávají na odlišných časových škálách, mohou se vzájemně ovlivňovat. Z tohoto důvodu je velmi těžké oba děje od sebe experimentálně odlišit. Řešení nabízí teoretické modelování procesu tavení na atomární úrovni, pomocí kterého lze určit specifické atributy netepelného tavení. Ukazuje se, že netepelné „změkčení“ vazebního potenciálu významně prodlužuje



Obr. 105 Intenzity braggovských reflexí (111, 311, 333) křemíku pro různé hustoty deponované energie pod tepelným ablačním prahem 0,6 eV/atom (modrá křivka), na tepelném ablačním prahu 0,8 eV/atom (zelená křivka) a na netepelném ablačním prahu 1 eV/atom (červená křivka). Černá a šedá křivka znázorňují intenzity reflexí při pokojové teplotě 300 K a v blízkosti bodu tání 1800 K [23].

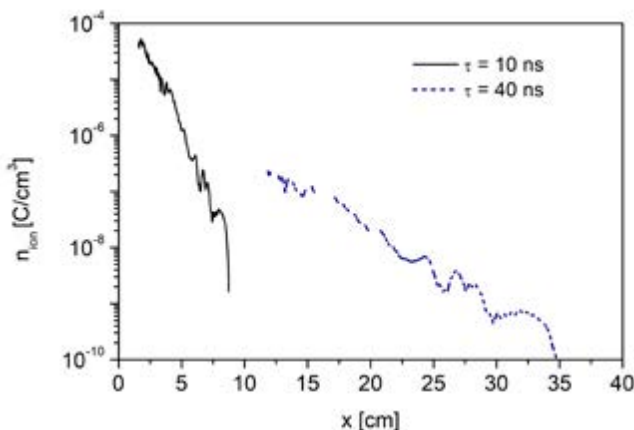
periodu oscilací mřížky indukovaných laserovým impulsem, tzv. koherentních fononů. Na obr. 106 vidíme časovou závislost intenzity braggovských reflexí (111, 311, 333) v křemíku pro různé hustoty deponované energie, kde hustota 0,8 eV/atom odpovídá prahu tepelného tavení a 1 eV/atom prahu netepelného tavení. Pro srovnání jsou zobrazeny intenzity reflexí pro konstantní teploty 300 K a 1800 K, v nichž jsou patrné oscilace s periodou 120 fs a 130 fs. Při obyčejném tepelném ohřevu se tedy ani v blízkosti bodu tání anharmonicitu vazebního potenciálu příliš neprojeví. Změna nastane při intenzivní fotoionizaci, kdy evidentně dochází k prodlužování periody oscilací v závislosti na hustotě deponované energie, a to až po 350 fs pro 1 eV/atom (červená křivka). Perioda oscilací se navíc s časem prodlužuje, což značí úplnou destabilizaci vazebního potenciálu. Patrné je též to, že intenzity reflexí v režimu tepelného tavení klesají mnohem rychleji.

Jak je patrné z teorie, časově rozlišená rentgenová difrakce by mohla dát jednoznačnou odpověď na původ-

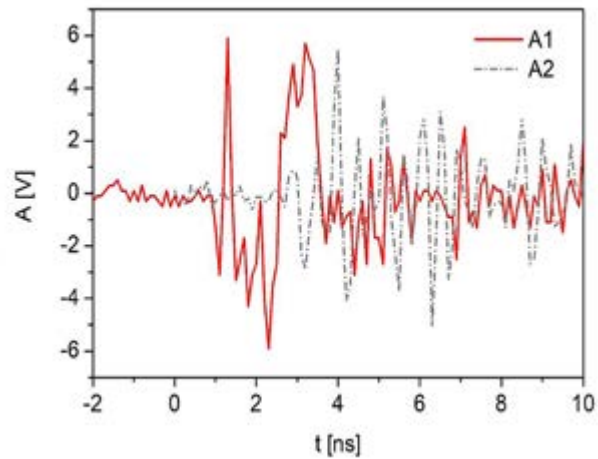
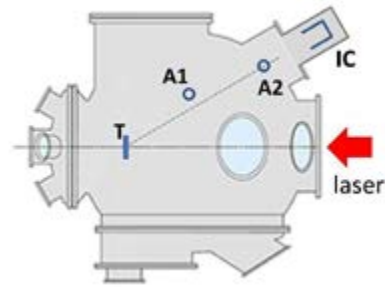
ní otázku, zdali je možné odlišit netepelné tavení od toho tepelného. Nové rentgenové laserové zdroje, především pak lasery na volných elektronech, disponují zařízeními *split-and-delay* (rozdělit a zpozdít) a širokouhlými zobrazovacími detektory, které umožňují realizaci experimentů rentgenové difrakce v režimu čerpání a sondování s velmi vysokým časovým rozlišením. Měření periody oscilací koherentních fononů je tedy technicky realizovatelné. Diskuze teoretického modelování tepelného a netepelného tavení a realizovatelnosti experimentu je podána v naší práci [23].

2.5.8 Vliv expandujícího plazmatu generovaného laserem na generaci elektromagnetických impulzů

Při expanzi laserem generovaného plazmatu dochází k úniku elektronů z tohoto plazmatu, které takto vzniklý kladný náboj neutralizuje zpětným proudem elektronů z uzemněné interakční komory. Ten se při průchodu držákem terče stává zdrojem elektromagnetického impulsu (EMP), který se šíří nejen uvnitř interakční komory, ale uniká i do prostoru laboratoře. Tam se projevuje nejen jako nežádoucí rušení, ale může způsobit i poškození elektronických přístrojů. Zdrojem EMP však není jen držák terče, kterým může procházet při našich experimentech v laboratoři PALS proud až 10 kA, ale i další příslušenství nacházející se uvnitř komory, na která dopadají nabitě částice a záření, způsobující vznik dalších proudů přispívajících ke generaci EMP.



■ **Obr. 106** Příklad hustoty iontového náboje podél dráhy iontů 10 a 40 ns po skončení laserového pulsu. Změny hustoty byly vypočteny ze signálu iontového kolektoru, který byl umístěn ve vzdálenosti $L=133$ cm od terče z Pb fólie tenké 6 μ m.



■ **Obr. 107** Nahoře je schematicky znázorněno rozložení antén A1 a A2, poloha terče T a iontového kolektoru IC v interakční komoře. Dole je porovnání signálů antén A1 a A2 indukovaných měnicím se EMP, a to při ozáření 6 μ m Pb fólie intenzitou 3×10^{16} W/cm² [24].

Naše experimenty ukázaly, že EMP impulsy jsou generovány ve frekvenčním pásmu přibližně od stovky megahertzů až po několik gigahertzů. Tyto frekvence se objevují během interakce laseru nebo bezprostředně po interakci, a to v závislosti na délce trvání pulsu laseru a konfiguraci držáku terče. Kmitočtové složky EMP se objevují v různých časech, a sice podle toho, kdy nabitě částice dopadnou na jednotlivá příslušenství komory, resp. kde jsou neutralizovány. Nižší frekvence EMP obvykle odpovídají rezonančním módům interakční komory, vyšší pak krátkým vodivým držákům.

Vakuová interakční komora se tak stává rezonátorem EMP. Plazma, které expanduje od terče k jejím stěnám a během několika desítek nanosekund ji zaplní (obr. 107), způsobuje podobný jev, jakým je odraz rádiových vln od ionosféry, neboť hustota elektronů na čele expandujícího plazmatu klesá od hustot 10^{21} cm⁻³ až k hustotě, která je transparentní pro rádiové vlny [24]. Expandující plazma tak postupně mění tvar aktivního prostoru rezonátoru, tj. interakční komory, a tím ovlivňuje v čase a prostoru vlastnosti EMP (obr. 108). Vlevo je schematicky znázorněno rozložení antén A1 a A2, poloha terče T a iontového kolektoru IC v interakční komoře. Vpravo je porovnání signálů antén A1 a A2 indukovaných měnicím se EMP. Rozdíly v signá-

lech lze stěží vysvětlit jen na základě prostorového rozložení jednotlivých frekvenčních módů v komoře, ovlivněných navíc vnitřním příslušenstvím komory. Naše práce ukázala [24], že podobně jako interakce mezi rádiovými vlnami a ionosférou, i šíření nehomogenního plazmatu interakční komorou silně ovlivňuje generaci i vlastnosti EMP.

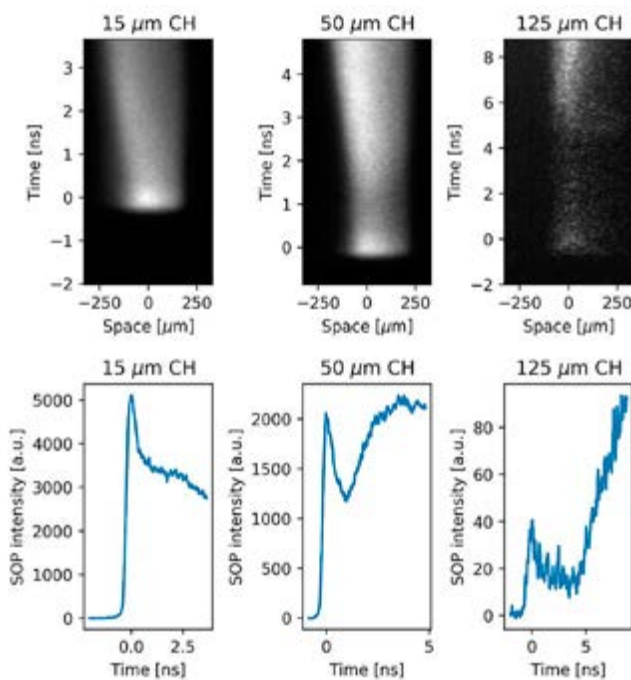
2.5.9 Rázové vlny generované infračerveným laserem při intenzitách 10^{16} W/cm²

Ve výzkumné infrastruktuře PALS proběhl další ze série experimentů zaměřených na studium generace „horkých“ elektronů během interakce laserového záření s terčíkem. Tyto experimenty, realizované v rámci EUROfusion, jsou součástí celoevropského výzkumu, jehož cílem je studium rázového zapálení (*shock ignition*) termojaderné fúze.

Během této kampaně byla studována generace horkých elektronů s využitím základní harmonické jodového fotodisociačního laseru PALS ($\lambda = 1\,315$ nm) při intenzitách 10^{16} W/cm². Za těchto podmínek totiž významně narůstá generace horkých elektronů a klesá úroveň srážkové absorpce. Významná část energie laserového impulsu je absorbována v důsledku parametrických nestabilit, jež jsou odpovědné za generaci horkých elektronů. Což ostatně potvrzují i výsledky z RTG spektroskopie a nepř-

mo i měření brzdného záření elektronů (*bremstrahlung cannon*), kde je vidět výrazný nárůst počtu horkých elektronů o energiích více než 90 keV. Experimentální výsledky, podpořené provedenými simulacemi, ukazují významný vliv horkých elektronů na dynamiku rozvoje generované rázové vlny, kdy horké elektrony přispívají k celkovému tlaku rázové vlny společně s tlakem způsobeným ablací.

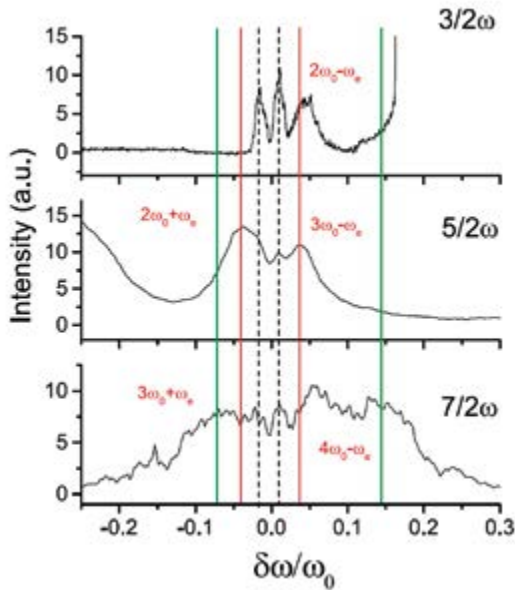
V minulých letech proběhla ve VI PALS experimentální kampaň, jejímž cílem bylo studium generace horkých elektronů během interakce 3. harmonické jodového laseru ($\lambda = 438$ nm) s terčíkem. Ze srovnání výsledků obou experimentálních kampaní je vidět zřejmá závislost celkového tlaku rázové vlny na vlnové délce použité k ozáření terčíku, kde je ablační tlak navýšený o příspěvek tlaku horkých elektronů. V případě ozáření terčíku pomocí 3. harmonické jodového laseru ($\lambda = 438$ nm) byl detekovaný nárůst celkového tlaku rázové vlny v důsledku tlaku vyvolaného horkými elektrony o 40 %, zatímco v případě ozáření terčíku pomocí základní harmonické ($\lambda = 1\,315$ nm) byl detekovaný nárůst celkového tlaku rázové vlny o 250 %. Z tohoto pohledu je možné konstatovat, že horké elektrony, které jsou momentálně vnímány jako překážka na cestě k laserem zapálené termojaderné fúzi, by naopak mohly být pro tento účel efektivně využity. Současně tento výzkum vyzdvihuje význam dlouhovlnných laserů, jakým je též jodový fotodisociační laser PALS, jako laserů, jež mohou být využity právě pro cílenou generaci horkých elektronů v souvislosti se studiem rázového zapálení termojaderné fúze.



■ Obr. 108 Snímky z optické rozmítací kamery (*streak camera*) ukazující rozvoj rázové vlny pro různé tloušťky svrchní CH vrstvy (15 μm, 50 μm a 125 μm) CH-Ti terče [25].

2.5.10 Časový vývoj stimulovaného Ramanova rozptylu a dvouplasmonového rozpadu při laserových intenzitách uvažovaných pro rázové zapálení fúzního paliva

Stejně jako experiment zaměřený na studium rázových vln, byl i výzkum věnovaný parametrickým nestabilitám typu stimulovaného Ramanova rozptylu a dvouplasmonového rozpadu součástí studia rázového zapálení termojaderné fúze, řešeného v rámci EUROfusion. Jak je zřejmé z výsledků experimentu, je využití parametrů jodového fotodisociačního laseru PALS zcela unikátním nástrojem, poskytujícím relevantní informace pro studium parametrických nestabilit v plazmatu v režimu rázového zapálení termojaderné fúze, a to především díky úzké spektrální čáře laserového záření ($d = 20$ pm), vlnové délce v infračervené oblasti ($\lambda = 1\,315$ nm), délce



■ Obr. 109 Časově integrovaná spektra půlnásobků harmonických frekvencí [26]. Spektrální maxima generovaná v důsledku dvouplasmonového rozpadu (přerušovaná čára), zpětného Ramanova rozptylu (červená čára) a stimulovaného stranového Ramanova rozptylu (zelená čára).

impulsu (350 ps) a intenzitě záření ve fokusu (10^{16} W/cm²). Díky těmto vlastnostem bylo možné detailně popsat interakci laserového záření s mnohovrstvým terčíkem a přímo pozorovat většinu parametrických nestabilit, včetně těch, jež jsou pozorovány velmi zřídka. Současně je třeba vyzdvihnout, že podle studie jsou parametry plazmatu, kterých lze dosáhnout ve standardním režimu na laserovém systému PALS, srovnatelné nebo dokonce vhodnější pro studium rázového zapálení termojaderné fúze než například na špičkových světových laserových systémech OMEGA (USA) nebo LULI (Francie).

V rámci experimentu byly přímo detekovány parametrické nestability například typu stimulovaný Ramanův rozptyl, stimulovaný Brillouinův rozptyl, dvouplasmonový rozpad, ale též stimulovaný stranový Ramanův rozptyl (*stimulated Raman side scattering*), což je právě případ parametrické nestability, jež se daří experimentálně pozorovat velmi zřídka. Z provedených simulací plyne, že filamentace, ke kterým dochází v podkritickém plazmatu, zapříčiňují lokální zvýšení intenzity záření až o jeden řád a současně přímo ovlivňují parametry stimulovaného Ramanova a Brillouinova rozptylu. Tímto způsobem dochází ke zvýšení bezesrážkové absorpce a potlačení srážkové absorpce. Bezesrážková absorpce v důsledku stimulovaného Ramanova rozptylu je odpovědná za generaci horkých elektronů, kde se účinnost konverze pohybuje v jednotkách procent.

Díky provedeným simulacím bylo možné též dovodit, že generované horké elektrony lze rozdělit na dvě

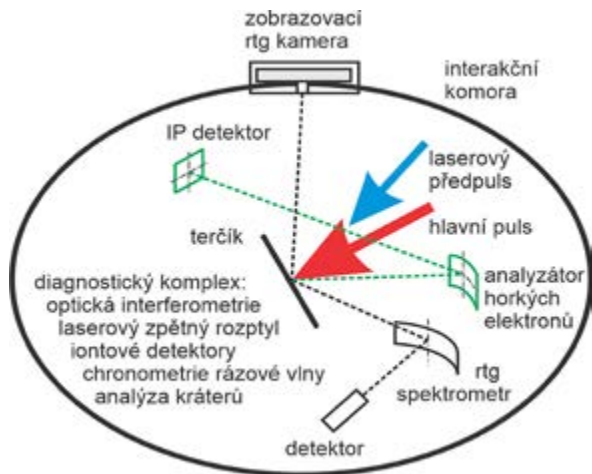
skupiny, nízkoenergetické s teplotami okolo 40 keV, vznikající v důsledku útlumu zpětného Ramanova rozptylu, a vysokoenergetické s teplotami mezi 80 a 100 keV, pravděpodobně generované parametrickými nestabilitami vznikajícími v oblasti 1/4 kritické hustoty ($n_c/4$).

2.5.11 Rentgenové spektroskopické studium generace horkých elektronů v laserovém plazmatu

Detailní studium horkých elektronů (HE) generovaných při interakci intenzivních laserových svazků s pevnými látkami je důležité jak z hlediska rozvoje fyziky systémů s vysokou koncentrací energie, tak pro jejich významné aplikace včetně vývoje alternativních schémat realizace inerciálně udržované fúze. Mezi těmito schématy zaujímá významné místo rázově iniciovaná fúze, která je založena na principu ozařování terčů nanosekundovými laserovými svazky o intenzitě 10^{14} W/cm² a následném zapálení fúze účinkem interakce sub-ns pulsu o výrazně vyšší intenzitě na úrovni 10^{16} W/cm². Kritickou roli při tomto procesu sehrávají horké elektrony: v závislosti na své energii a dávce mohou přispívat k žádoucímu přenosu energie do komprimovaného jádra plazmatu, nebo naopak bránit zapálení fúze svou depozicí v koróně, jejím ohřevem a předčasnou expanzí.

Laserový systém PALS nabízí svými parametry (energií svazku na úrovni 0,8 kJ, délkou pulsu 0,3 ns, možností násobení frekvence záření a štěpení hlavního svazku do dvou větví s proměnnými energiemi a vzájemným časováním) ideální nástroj pro studium HE a jevů souvisejících s jejich generací. Experimenty prováděné na laseru PALS za účasti mezinárodních týmů využívají diagnostického komplexu, který je schematicky zobrazen na obr. 24. Zvýrazněny jsou v něm rentgenové diagnostiky sloužící k monitorování expanze laserem generovaného plazmatu (zobrazovací kamera), ke zviditelnění transportu horkých elektronů uvnitř vrstevnatých terčů (analýzátor HE elektronů založený na využití sféricky ohnutých difrakčních krystalů) a konečně k mapování distribuce elektronových teplot a hustot uvnitř vzniklého plazmatu (RTG spektrometry o vysokém spektrálním a prostorovém rozlišení).

Mezi nejdůležitější získané poznatky patří systematické mapování distribuce energií HE generovaných na vrstevnatých terčích a jejich vliv na tvorbu rázových vln [25], studium parametrických nestabilit plazmatu použitých k verifikaci alternativních modelů vzniku HE [26] a komplexní souhrn dynamiky rázových vln včetně numerických simulací využívajících hydrodynamických a PIC kódů [27].



■ **Obr. 110** Schéma diagnostického komplexu využívaného na laserovém systému PALS ke studiu charakteristik horkých elektronů.

Vynikající výsledky přineslo spektroskopické studium netermálních atomových stavů excitovaných suprathermálními elektrony v laserovém plazmatu vzniklém ozařováním tenkých fólií mědi [28]. Rentgenová spektra emitovaná nahřátou fólií (obr. 25) vykazují distribuci diskretních radiačních přechodů, jež lze korelovat s časovými a prostorovými charakteristikami horkých elektronů. Hydrodynamické simulace zahrnující nelineární interakci laserového záření s hmotou za přítomnosti horkých elektronů prokázaly výrazné zpoždění mezi maximy laserového pulsu a populace HE. Kombinace rentgenové spektroskopie s atomovou fyzikou tak nabízí nový přístup k charakterizaci HE uvnitř látek o vysoké hustotě.

2.5.12 Absorpční spektrální čáry „zvláštních bodů“

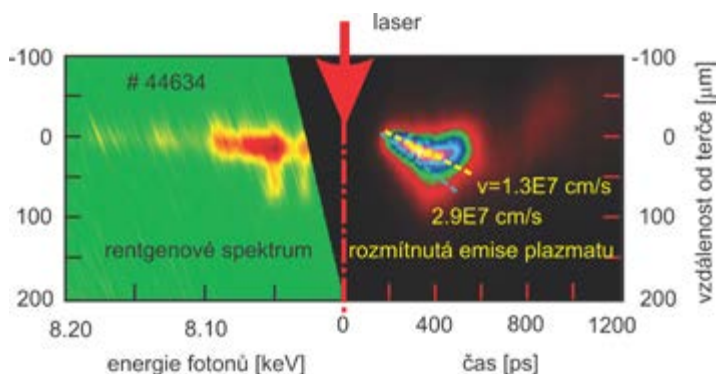
Atomy ozářené elektromagnetickým polem s konstantní frekvencí a intenzitou (*driven atoms*) vykazují spektrální posuny. Navrhli jsme experiment [29] typu *pump-and-probe*, kterým lze měřit příslušnou změnu absorpčních spekter, kde „pump“ sestává z dlouhého

impulsu, který posouvá spektrální čáry atomů, a „probe“ je attosekundový impuls, který měří absorpci v krátkém časovém úseku během dlouhého impulsu. Náš zájem je soustředěn na spektrální čáry vysoce excitovaných autoionizujících stavů atomů (rezonanci), které se ve spektrech vyskytují *i bez* přítomnosti elektromagnetického pole, resp. jejich posuny za přítomnosti elektromagnetického pole. Absorpční čáry těchto stavů mají asymetrický tvar, tzv. *Fano profile*. Přítomnost elektromagnetického pole („pump“) mění jak polohu, tak tvar absorpčních čar. Zvláštní bod (exceptional point) je situace, kdy v elektromagnetickém poli („pump“) dojde k degeneraci dvou autoionizujících stavů, a to nejen jejich energií, ale také stavových vektorů. Do takového bodu lze systém vyladit nastavením hodnot intenzity a frekvence pole „pump“. V tomto bodě dojde k interferenci dvou spektrálních čar, která způsobí částečnou transparentnost nebo opacitu.

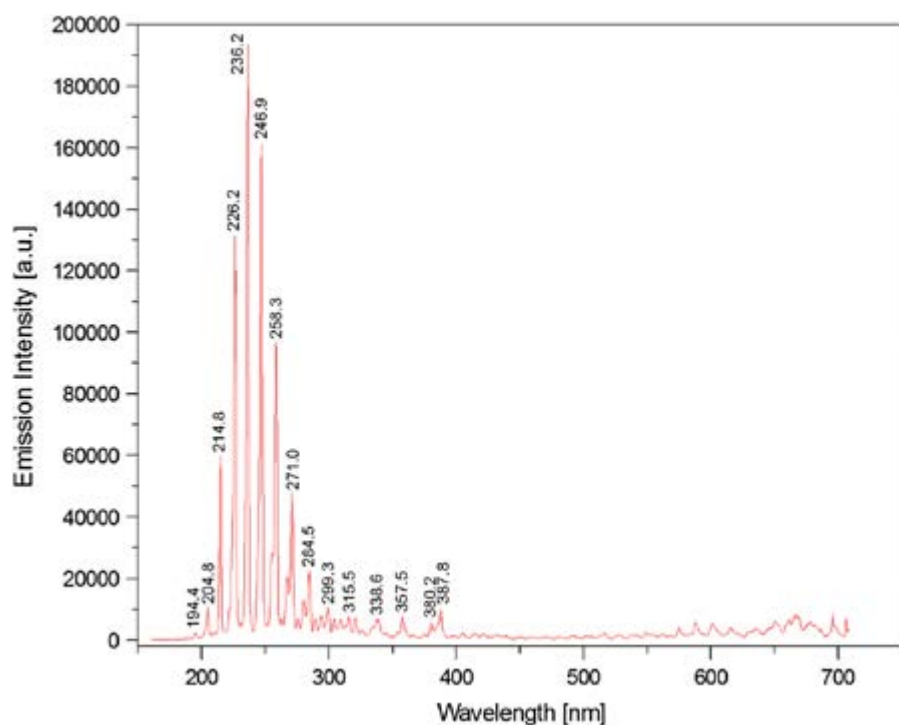
Naše studie [29] obsahuje odvození nehermitovské teorie pro absorpční spektra atomů v elektromagnetickém poli na základě rozvoje Greenova operátoru v bázi nehermitovských řešení Hamiltoniánu a ilustrační výpočet navrhovaného experimentu pro některé přechody v atomech helia. Výsledkem navazující práce [30] je potvrzení dřívější teorie pro spektra definovaná na základě Greenova operátoru, avšak v literatuře dříve navržený vzorec pro spektra HHG se nepotvrdil. Ukazuje se, že správný vzorec by měl oproti dříve navrženému obsahovat jiné definice pro vektory bra. Získaný teoretický vzorec jsme úspěšně použili pro výpočet spekter HHG helia za podmínek, kdy jsou spřažené dvě rezonance.

2.5.13 První kroky na cestě k ultrafialovému plazmochemickému laseru

Hlavní úsilí bylo soustředěno na nový koncept plazmochemických průtočných plynových laserů, konkrétně pak experimentální výzkum plyných chemiluminiscent-



■ **Obr. 111** Rentgenové spektrum emitované laserově ozářenou fólií mědi poskytuje informaci o prostorové a časové distribuci horkých elektronů uvnitř nahřáté husté hmoty (vlevo). Expanze plazmatu zviditelněná rentgenovou zobrazovací kamerou (vpravo) charakterizuje rychlost šíření čela plazmatické vlny a silně vyzařujícího jádra plazmatu [28].



■ Obr. 112 Experimentálně pozorované spektrální čáry [31].

ních reakcí tetrafluorethylenu a excitovaných produktů jeho disociace (plazmochemicky generované v RF tekoucím He výboji) a excitovaného metastabilního He s molekulami NO a následnou silnou luminiscencí NO v ultrafialové (UV) oblasti spektra.

Nejvýznamnějším výsledkem [31] je nečekaně silná UV emise, která byla pozorována ze smíšení dvou nízkotlakých supersonických proudů plynů, které před tím opustily dva radiofrekvenční výboje, jeden obsahující Ar, He, O₂ a stopy NO, druhý He a plazmochemicky produkováný C₂F₄. Analýza spektrálních emisních dat ukazuje, že hlavními nosiči energie jsou He, C₂F₄ (nebo CF₂) a NO. Plazmochemická excitace a přenos energie mezi hlavními nosiči energie má za následek spektrum dominované vibrační strukturou, pokrývající spektrální oblast 190–300 nm, která je přiřazena spontánní emisi z excitovaného NO (obr. 113). Nejsilnější čára umístěná na 236,2 nm je následkem přechodu NO(A²Σ⁺, 0–1). Experimentální podmínky vylučují jakoukoli přímou excitaci NO samotným RF výbojem. Tento pozorovaný jev má potenciál jako plazmochemický plynový průtočný laser vyzářující ve střední UV spektrální oblasti.

Dosud se ve světě podařilo uskutečnit NO laser třemi způsoby: (1) NO laser v UV-Vis oblasti buzený opticky na 158 nm, (2) NO laser v blízké IR oblasti buzený výbojovou fotolýzou pomocí UV>165 nm a (3) NO laser v mid IR buzený pulzní fotodisociací IBr na 532 nm, která produkuje spin-orbitálně excitovaný Br, jehož energie se přenáší na NO. Naše práce [31] ukazuje na zásadně novou možnost excitace molekuly NO přenosem energie z ex-

citovaných stavů He a CF₂. Pokud by se podařilo dovést naši experimentální metodu až k laserové generaci NO, byl by to první mid-UV plazmochemický průtočný laser v kontinuálním režimu.

Je třeba uvést i dílčí, ale důležitý výsledek obsažený v této práci – plazmochemicky generovaný tetrafluorethylen v RF tekoucím výboji v heliu. Bez tohoto výsledku by myšlenka UV plazmochemického laseru byla realizovatelná mnohem obtížněji. Jiné metody přípravy tetrafluorethylenu popsané v literatuře jsou mnohem komplikovanější, finančně dražší a chemicky nebezpečnější.

■ Literatura

- [1] M. Smrž, M. Chyla, J. Muzik, S.S. Nagisetty, O. Novak, „Compact, Picosecond, Kw-Class Thin-Disk Laser Perla For Hi-Tech Industrial Applications“, *MM Science Journal* **12** (2019) 3620–3625.
- [2] M. Duda, O. Novák, M. Chyla, M. Smrž, T. Mocek, „Balancing the conversion efficiency and beam quality of second harmonic generation of a two-picosecond Yb:YAG thin-disk laser“, *Laser Phys.* **30** (2020) 025405.
- [3] S. S. Nagisetty, T. Miura, M. Chyla, M. Smrč, T. Mocek, „Single-shot laser beam parameter measurement system for near-infrared laser beams“, *J. Opt. Soc. Am. B* **36** (2019) 3098–3103.
- [4] O. Slezak, R. Yasuhara, D. Vojna, H. Furuse, A. Lucianetti, T. Mocek, „Temperature-wavelength dependence of

- Verdet constant of Dy₂O₃ ceramics”, *Opt. Mat. Express* **9** (2019) 2971–2981.
- [5] D. Vojna, O. Slezák, A. Lucianetti, T. Mocek, „Verdet Constant of Magneto-Active Materials Developed for High-Power Faraday Devices”, *Appl. Sci.* **9** (2019) 3160.
- [6] M. Sawicka-Chyla, M. Divoky, O. Slezak, M. De Vido, A. Lucianetti, T. Mocek, „Numerical Analysis of Thermal Effects in a Concept of a Cryogenically Cooled Yb:YAG Multislab 10 J/100-Hz Laser Amplifier”, *IEEE J. Quantum Electron.* **55** (2019) 5100108.
- [7] S. P. David, V. Jambunathan, F. Yue, A. Lucianetti, T. Mocek, „Efficient diode pumped Yb:Y₂O₃ cryogenic laser”, *Appl. Phys.* **B** 125 (2019) 137.
- [8] S. P. David, V. Jambunathan, F. Yue, B. J. Le Garrec, A. Lucianetti, T. Mocek, „Laser performances of diode pumped Yb:Lu₂O₃ transparent ceramic at cryogenic temperatures”, *Opt. Mat. Express* **12** (2019) 4669–4676.
- [9] P. Hauschwitz, R. Jagdheesh, D. Rostohar, J. Brajer, J. Kopecek, P. Jiricek, J. Houdková, T. Mocek, „Nanostructure fabrication on the top of laser-made micropillars for enhancement of water repellence of aluminium alloy”, *Mater. Lett.* **256** (2019) 126601.
- [10] R. Jagdheesh, P. Hauschwitz, J. Mužík, J. Brajer, D. Rostohar, P. Jiříček, J. Kopeček, T. Mocek, „Non-fluorinated superhydrophobic Al7075 aerospace alloy by ps laser processing”, *Appl. Surf. Sci.* **493** (2019) 287–293.
- [11] Y. V. Ryabchikov, A. Lukianov, B. Oliinyk, T. Nychporouk, V. Lysenko, „Development of silicon nitride-based nanocomposites with multicolour photoluminescence”, *Appl. Phys. A* **125** (2019) 630.
- [12] J. Hrabovsky, Ch. Liberatore, I. Mirza, J. Sladek, J. Beranek, A.V. Bulgakov, N. M. Bulgakova, „Surface structuring of Kapton polyimide with femtosecond and picosecond IR laser pulses”, *Interfacial Phenomena and Heat Transfer.* **7** (2019) 113–121.
- [13] Y. Ryabchikov, „Facile laser synthesis of multimodal composite silicon/gold nanoparticles with variable chemical composition”, *Journal of Nanoparticle Research* **21** (2019) 85.
- [14] S. V. Starinskiy, A. A. Rodionov, Y. G. Shukhov, E. A. Maximovskiy, A. V. Bulgakov, „Dynamics of nanosecond-laser-induced melting of tin in vacuum, air, and water”, *Appl. Phys. A* **125** (2019) 734.
- [15] A. Ojeda-G-P, X. Yao, N. M. Bulgakova, A. V. Bulgakov, A. Lippert, „A dynamic double layer as the origin of the mass-dependent ion acceleration in laser-induced plasmas”, *Appl. Phys. A* **125** (2019) 71.
- [16] F. Kiel, N.M. Bulgakova, A. Ostendorf, E. L. Gurevich, „Selective Delamination upon Femtosecond Laser Ablation of Ceramic Surfaces”, *Phys. Rev. Applied* **11** (2019) 024038.
- [17] A. V. Dostovalov, T. J-Y. Derrien, S. Lizunov, F. Přeučil, K. A. Okotrub, T. Mocek, V. P. Korolkov, S. A. Babin, N. M. Bulgakova, „LIPSS on thin metallic films: New insights from multiplicity of laser-excited electromagnetic modes and efficiency of metal oxidation”, *Appl. Surf. Sci.* **491** (2019) 650–658.
- [18] Ch. Liberatore, J. Hrabovský, I. Mirza, A. V. Bulgakov, N. M. Bulgakova, „Antenna-Like Effect Induced By Surface Defects Upon Ultrashort Laser Nanostructuring Of Silicon”, *MM Science Journal* **12** (2019) 3567–3572.
- [19] V. P. Zhukov, S. Akturk, N. M. Bulgakova, „Asymmetric interactions induced by spatio-temporal couplings of femtosecond laser pulses in transparent media”, *J. Opt. Soc. Am. B* **36** (2019) 1556–1564.
- [20] S. Lizunov, V. Zhukov, A. V. Bulgakov, N. M. Bulgakova, „Effect Of The Dynamic Reflectivity On Laser Energy Absorption By Zinc: Numerical Two-Temperature Modeling”, *MM Science Journal* **12** (2019) 3567–3572.
- [21] K. Hlinomaz, Y. Levy, T. J-Y. Derrien, N. M. Bulgakova, „Modeling The Melting Threshold Of Mo Films Upon Ultrashort Laser Irradiation”, *MM Science Journal* **12** (2019) 3585–3593.
- [22] J. Beránek, N. M. Bulgakova, „Numerical Simulations Of Temperature Dynamics During Cw Laser Irradiation Of Silicon Microscale Strips On A Dielectric Substrate”, *MM Science Journal* **12** (2019) 3561–3566.
- [23] N. Medvedev, M. Kopecký, J. Chalupský, L. Juha, „Femtosecond x-ray diffraction can discern nonthermal from thermal melting”, *Phys. Rev. B* **99** (2019) 100303(R).
- [24] J. Krása, F. Consoli, J. Cikhart, M. Pfeifer, R. De Angelis, M. Krupka, D. Klír, K. Řezáč, J. Dostál, M. Krůs, R. Dudzák, „Effect of expanding plasma on propagation of electromagnetic pulses by laser-plasma interaction”, *Plasma Phys. Control. Fusion* **62** (2020) 025021.
- [25] L. Antonelli , J. Trela, F. Barbato , G. Boutoux, Ph. Nicolai, D. Batani, V. Tikhonchuk , D. Mancelli, A. Tentori, S. Atzeni , A. Schiavi , F. Baffigi, G. Cristoforetti, S. Viciani , L. A. Gizzi , M. Smid, O. Renner , J. Dostal , R. Dudzak , L. Juha, M. Krus, „Laser-driven strong shocks with infrared lasers at intensity of 10¹⁶ W/cm²”, *Phys. Plasmas* **26** (2019) 112708.
- [26] G. Cristoforetti, L. Antonelli, D. Mancelli, S. Atzeni, F. Baffigi, F. Barbato, D. Batani, G. Boutoux, F. D’Amato, J. Dostal, R. Dudzak, E. Filippov, Y. J. Gu, L. Juha, O. Klimo, M. Krus, S. Malko, A. S. Martynenko, Ph. Nicolai, V. Ospina, S. Pikuz, O. Renner, J. Santos, V. T. Tikhonchuk,

- J. Trela, S. Viciani, L. Volpe, S. Weber, L. A. Gizzi, „Time evolution of stimulated Raman scattering and two-plasmon decay at laser intensities relevant for shock ignition in a hot plasma“, *High Power Laser Sci. Eng.* **7** (2019) e51.
- [27] D. Batani, L. Antonelli, F. Barbato, G. Boutoux, A. Colaitis, J.-L. Feugeas, G. Folpini, D. Mancelli, Ph. Nicolai, J. Santos, J. Trela, V. Tikhonchuk, J. Badziak, T. Chodukowski, K. Jakubowska, Z. Kalinowska, T. Pisarczyk, M. Rosinski, M. Sawicka, F. Baffigi, G. Cristoforetti, F. D'Amato, P. Koester, L.A. Gizzi, S. Viciani, S. Atzeni, A. Schiavi, M. Skoric, S. Gus'kov, J. Honrubia, J. Limpouch, O. Klimo, J. Skala, Y.J. Gu, E. Krousky, O. Renner, M. Smid, S. Weber, R. Dudzak, M. Krus, J. Ullschmied, „Progress in understanding the role of hot electrons for the shock ignition approach to inertial confinement fusion“, *Nucl. Fusion* **59** (2019) 032012.
- [28] M. Šmíd, O. Renner, A. Colaitis, V. T. Tikhonchuk, T. Schlegel, F. B. Rosmej, „Characterization of suprathreshold electrons inside a laser accelerated plasma via highly-resolved Ka-emission“, *Nature Commun.* **10** (2019) 4212.
- [29] A. Pick, P. R. Kapralova-Zdanska, N. Moiseyev, „Ab-initio theory of photoionization via resonances“, *J. Chem. Phys.* **150** (2019) 204111.
- [30] P. R. Kapralova-Zdanska, „High-order harmonic generation spectrum from two coupled Floquet resonances - a non-Hermitian formulation“, *Mol. Phys.* **117** (2019) 2138–2156.
- [31] J. Schmiedberger, W. Fuss, L. Juha, „Strong sensitized ultraviolet luminescence from He–C₂F₄–NO flowing plasma afterglow: a route to short-wavelength gas-flow lasers?“, *Plasma Chem. Plasma Proc.* **39** (2019) 1115–1126.





2.6 Sekce realizace projektu ELI Beamlines v roce 2019

Centru ELI Beamlines se podařilo v roce 2019 dosáhnout řady mimořádných úspěchů a splnit prioritní milníky týkající se postupného přechodu na plný uživatelský provoz. Takové shrnutí učinil též Mezinárodní vědecký poradní panel (ISAC), který na svém prosincovém dvoudenním zasedání podrobně analyzoval postup prací na vývoji technologií, vědecké výstupy centra a spolupráci s jeho uživateli. Celkově došlo k velkému pokroku při zprovozňování infrastruktury a poskytování kapacit externím uživatelům.

V centru ELI Beamlines je zprovozněno hned několik celosvětově unikátních systémů a byla již také zahájena experimentální činnost na vybraných výzkumných stanicích. Byly spuštěny tři laserové systémy L1 Allegra, L3 HAPLS a L4 ATON: vysokorepetiční L1 generující 30mJ pulzy tisíckrát za sekundu; první diodově čerpaný petawattový laserový systém L3, který představuje důležitý milník ve vývoji laserových technologií; a laserový systém L4, který je s demonstrovanou energií, přesahující 1,5kJ, na velmi dobré cestě k dosažení špičkového výkonu 10 PW. ELI Beamlines současně postupuje ve vývoji laserového systému L2, a to díky podpoře z projektu ADONIS podpořenému z Operačního programu Výzkum, vývoj a vzdělávání (dále jen „OP VVV“), který přinese zcela výjimečné příležitosti směřující k sestavení kompaktního urychlovače částic. Ve fázi testování se nachází dva zdroje rentgenového záření a urychlovač iontů.

Vzhledem k široké škále využití ELI Beamlines a souvisejících požadavků na integraci technologií bylo potřeba celý proces jejich uvádění do provozu realizovat postupně s podstatnou časovou alokací až v roce 2019. Nicméně díky značnému postupu v dokončování ELI Beamlines bylo možné zahájit provoz čtyř uživatelských stanic s 1 200 hodinami již v roce 2018. V únoru 2019 byla vyhlášena první výzva pro externí uživatele (Výzva č. 0), kteří získali přístup k experimentálním zařízením ELI Beamlines v průběhu června až září 2019. Další 3 výzvy pro externí uživatele ELI Beamlines mají být vyhlášeny v prvním čtvrtletí roku 2020.

Podstatná část infrastruktury ELI Beamlines byla převedena do režimu uživatelského provozu s rozsáhlou

experimentální kampaní v hale E1 s použitím laseru L1 Allegra. Získané zkušenosti z intenzivní interakce s uživateli jsou velice cenné a důležité pro optimalizaci nastavení budoucích uživatelských výzev.

Dokončení transportu paprsku L3 HAPLS do haly E3 a zavedení prvního „světla“ do experimentální platformy bylo dalším klíčovým milníkem umožňující rozvinutí vědeckých aktivit centra.

Dalším důležitým milníkem byla experimentální kampaň Teresa, která umožnila první experimentální použití laseru L3 HALPS a umožnila experimentálnímu týmu zaznamenat významné kroky v činnostech částečné akcelerace, které budou použity později v halách E4 a E5 pro urychlování částic. Optimalizace výkonu a parametrů paprsku největšího laserového systému L4 ATON umožnilo detailně rozpracovat první experimentální kampaň.

Vědecký tým publikoval více než 50 velmi kvalitních článků, které tvoří solidní základ pro vědecký přesah činnosti centra.

Došlo ke konsolidaci experimentálního výzkumného programu 2 – Radiační fyzika a elektronového urychlování pod vedením profesora Sergeje Bulanova, což zajistilo koherentnější spolupráci a kvalitu výstupů řešitelského týmu. Dva mladí vědci byli oceněni v rámci národních kol mezinárodních soutěží *L'Oréal-UNESCO For Women Science Award* a *Falling Walls*.

Podařilo se prohloubit spolupráci se zahraničními partnery, ať už ve formě společného projektu jako PANOSC a IMPULSE (oba podpořeny rámcovým programem EU H2020), nebo formou dohod o spolupráci: LLE Rochester (USA), Osaka University (Japonsko), MEPhI (Rusko), Wroclaw University (Polsko).

V červenci 2019 započaly první projekty spolupráce v oblasti výzkumu a vývoje mezi ELI Beamlines a dvěma společnostmi z evropského regionu. Německé spolkové ministerstvo školství a výzkumu (BMBF) financuje oba projekty částkou více než 2 miliony €.

Síť Wetzlar byla v roce 2019 přijata do programu financování „Internacionalizace špičkových klastrů“ ně-

meckého federálního ministerstva školství a výzkumu (BMBF). Pro pracovníky ELI Beamlines to vedle úspěchu znamenalo hromadu práce. Po intenzivní fázi příprav a aplikací vstupují první projekty spolupráce ve výzkumu a vývoji do fáze implementace. Německé ministerstvo financuje oba projekty více než 2 miliony €. Financování má za cíl usnadnit komercializaci a marketing výsledků rozvojové spolupráce.

Zásadním způsobem se prohloubila spolupráce s maďarským pilířem ELI ALPS, také pilířem ELI, která se stane v blízké budoucnosti nejpřirozenějším partnerem v rámci ELI-ERIC (tedy ELI European Research Infrastructure Consortium). I přes skutečnost, že dosud nedošlo k založení této mezinárodní právnické osoby, podařilo se silně aktivovat vědeckou komunitu v celosvětovém měřítku (vedle evropských zemí též USA, Korea, Čína, Japonsko), což otevřelo možnost konkrétních jednání na vládní úrovni a financujících agentur v zapojení do ELI.

Zabývali jsme se také dlouhodobou perspektivou, abychom udrželi ELI Beamlines jako přední zařízení pro výzkum laserů. Představili jsme projekt ELAN, jehož cílem je další posílení klíčových kompetencí a kapacit ELI Beamlines v souladu s celosvětovými trendy, a to spojením vynikajících výzkumných potřeb s širokou škálou možných aplikací v průmyslu a lékařství v perspektivě příštího desetiletí.

Vědecké oddělení a výzkumné projekty

V koncem roku 2019 byly v provozu tři velké laserové zdroje, tři menší podpůrné lasery, dva rentgenové zdroje a jeden urychlovač částic, stejně jako šest experimentálních stanic, které byly také k dispozici uživatelům k uskutečnění mnoha pokročilých experimentů.

2.6.1 Oddělení 91: Laserových systémů

Výzkumný program 1: RP1: Lasery generující repetiční ultrakrátké impulzy se špičkovým výkonem v řádu petawattů

Významné výsledky výzkumného programu RP1

Zvyšování výkonu laserového systému L1 pro uživatelské aplikace – Konstrukce přídavné čerpací laserové jednotky L1

Trasa paprsku L1 sestává ze sedmi na sebe navazujících zesilovačů OPCPA čerpaných pomocí regeneračních zesilovačů s tenkým diskem. Zesilovače 5 až 7 jsou čerpá-

ny komerčními systémy dodávajícími 225 mJ při vlnové délce 1030 nm (DIRA200 od Trumpf Scientific Lasers). Další navýšení energie paprsku L1 probíhá za pomoci multipassového zesilovače (MPA). V roce 2019 vědecká skupina pracovala na konstrukci tohoto MPA včetně modelování, konstrukčního návrhu, nákupu, montáže a uvedení do provozu. Ve výsledku byl navržen další vysoce energetický zesilovač pro zvýšení energie L1. Práce dovolily navýšit výkon zesilovače na jeho plný výstupní potenciál.

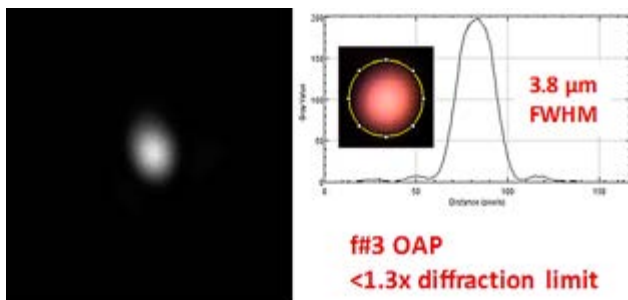
Implementace OPCPA s dlouhou vlnovou délkou a energií přes 100 TW – Optimalizace výkonu laserového řetězce na vlnové délce 2,2 μm

V roce 2019 se nám podařilo optimalizovat laserový řetězec systému L2 generující ultrakrátké impulzy na centrální vlnové délce 2,2 μm . Sestava využívá buzení rozdílové frekvence (DFG) mezi čerpacím laserem při 1030 nm a superkontinuem (SC) vytvářejícím laditelné širokopásmové záření v infračervené oblasti. Tento nový laserový zdroj je postupně zesílen v několika stupních optického parametrického zesílení (OPA).

Nově optimalizovaným a rozšířeným systémem se daří vygenerovat spektra ekvivalentní pulsům o délce 24 fs, což jsou pulzy o 15 % kratší, než byla požadovaná hodnota. Optimalizace systému na jeho plný potenciál vyžaduje implementaci závěrečných fází OPA společně s akusticko-optickým modulátorem (Dazzler).

Spolupráce s LLNL na vývoji pokročilých provozních režimů PW laserového systému L3 – Rozšíření provozního režimu přídavného paprsku L3 pro experimenty v hale L2

V průběhu roku 2019 bylo realizováno celkem 5 uživatelských experimentálních kampaní s využitím modifikovaného výstupního svazku laseru L3, který byl v rámci řešení úkolů NPÚ implementován v roce 2018. Implementovaná optická trasa umožňuje vyvedení dodatečného svazku laseru L3 s aperturou 80 mm do haly L2 k experimentální stanici určené pro urychlování nabíjených částic pomocí ultrakrátkých laserových pulsů. Energie dodatečného svazku byla v průběhu roku navyšována z počáteční hodnoty cca 100 mJ až na 1,2 J při délce pulsu cca 32 fs. Svazek byl v experimentální interakční komoře v hale L2 fokusován do bodového ohniska parabolickým zrcadlem a při velikosti ohniska cca 3,8 μm byla generována lokální hustota výkonu výrazně přesahující $10^{19} \text{ W}\cdot\text{cm}^{-2}$. Tato hodnota umožňuje realizaci experimentů interakce laser-plazma v relativistickém režimu (nutná hustota výkonu nejméně $10^{18} \text{ W}\cdot\text{cm}^{-2}$) a jde mimo jiné o nejvyšší intenzitu výkonu laserového záření, která kdy byla dosažena v ČR.



■ **Obr. 113** Ohnisková stopa implementovaného přídavného svazku laseru L3 v experimentální komoře v hale L2. Svazek je fokusován mimosovou parabolou do prostorově velmi kvalitního ohniska o průměru 3,8 μm blížíícího se fyzikálnímu limitu (minimální dosažitelná velikost ohniska je 3 μm).

Kromě výrazného navyšování energie přídavného svazku bylo v průběhu roku 2019 realizováno několik dalších vylepšení. Jedním z těchto vylepšení je zvyšování časového kontrastu poskytovaných pulsů, tj. poměru intenzity v maximu výkonového pulsu vůči úrovni intenzity spontánně generovaného laserového záření předcházejícího vlastní puls. Po optimalizaci časování prvků laserového řetězce generujícího výstupní svazek a vylepšení elektro-optické závěrky (Pockelsova cela) bylo dosaženo hodnoty časového kontrastu 10^{11} : 1 v časovém intervalu větším než 200 ps před výkonovým pulsem, což je vynikající hodnota srovnatelná s nejlepšími nynějšími laserovými systémy.

Optimalizace výkonu laseru L4 a realizace paprsku sondy – Konstrukce diagnostiky pro charakterizaci paprsku kJ s velkým otvorem (600 × 600 mm)

Budování diagnostiky výstupního svazku kJ laseru L4 v roce 2019 zahrnovalo několik aktivit: a) implementace a ověření funkčnosti single-shot optického autokorelátoru pro měření délky výstupních pulsů, b) implementace a ověření funkčnosti skenovacího korelátoru 3. řádu

(Tundra) pro měření časového kontrastu výstupních pulsů, c) implementace otestování systémů měření kvality výstupního svazku (monitory typu near-field, far-field, dark-field), d) implementace pomocného kompresoru pro měření délky a časového kontrastu komprimovaných pulsů pomocí single-shot optického autokorelátoru a korelátoru 3. řádu, e) finalizace návrhu kompletní optické trasy na výstupu 10 PW kompresoru optických pulsů laseru L4.

Významným milníkem byla smlouva na výrobu a montáž velkých optomechanických držáků zrcadel a jejich elektronické ovládání pro 10 PW kompresor laseru L4 od české firmy Delong Instrument, a. s., a na dodávku a montáž vnitřních monolitických podvozků do téže komory s českou firmou Vallvik Design, s.r.o.

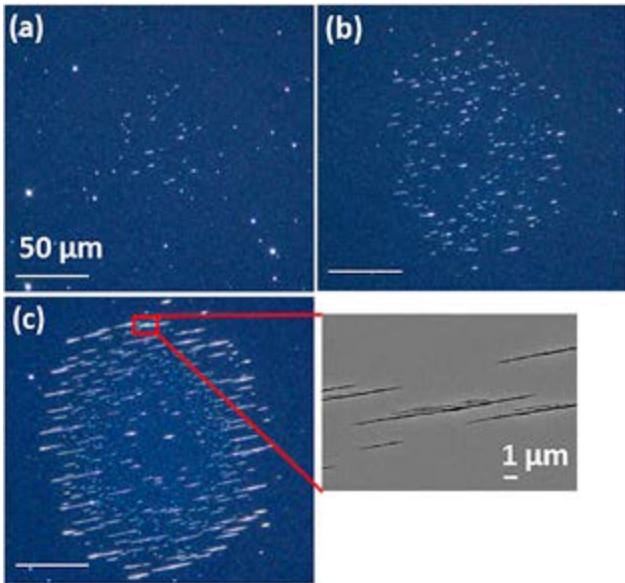
Významné výsledky výzkumného programu RP1 – Vývoj

Vývoj poškození ve vícevrstvé dielektrické vrstvě oxidu hafničitého a křemičitého působením femtosekundového laseru

Pro optimalizaci optických povlakových materiálů, návrhů a technologií pro vysokou odolnost proti poškození je prvořadé porozumění růstu poškození laserem. Podařilo se zobrazit vývoj poškození femtosekundovým laserem u vícevrstvého dielektrického povlaku s vrstvou oxidu hafničitého a křemičitého ($\text{HfO}_2/\text{SiO}_2$). Změna drsnosti povrchu byla pozorována pouze u malého počtu pulzů a zajímavě je zjištěno, že pro tvorbu nanotrhlín (nanokreků) je směrodatný počet pulzů. Orientace trhlin je závislá na polarizaci a jejich růst zase zvyšujícím se počtem pulzů. Prezentované výsledky ukazují, že poškození laserem pochází z nano-boulí a zdrsnění povrchu. Prezentované experimentální výsledky potvrzují existující teoretické modely v dielektrikách, které vysvětlují vznik nanostruktur interferencí dopadajícího laseru s rozpty-



■ **Obr. 114** Sestavená vakuová komora kompresoru (délka 18 m, výška 4,2 m, hmotnost 60 tun) 10 PW pulsů v laserové hale L4c centra ELI-Beamlines, září 2019.



■ **Obr. 115** Snímky z mikroskopu v tmavém poli ilustrují vývoj nanotrhlín při zvýšeném počtu laserových pulzů při opakovací frekvenci 10 Hz. Poškození (a) při 1 000 pulzech, $0,7 \text{ J}\cdot\text{cm}^{-2}$, (b) při 10 000 pulzech, $0,77 \text{ J}\cdot\text{cm}^{-2}$ (c) při 100 000 pulzech, $0,58 \text{ J}\cdot\text{cm}^{-2}$. Vložený obrázek (c) ukazuje SEM obraz s vysokým rozlišením, zvyrazňující nanotrhlíny. P. K. Velpula, M. Ďurák, D. Kramer, A. R. Meadows, M. Vilémová & B. Rus. *Optics Letters* **44**, 5342 (2019).

lovým zářením z laserem indukovaných nehomogenit a růstem vylepšení pole v důsledku nanoplazmatu.

Superkontinuum generované pikosekundovým pulsem jako stabilní seed pro OPCPA

Vytvořili jsme stabilní superkontinuum (SC) generované ve velkém krystalu YAG, pumpované 3 ps pulzy při 1030 nm. SC je generováno ostřením ve volné geometrii v 13 cm dlouhém krystalu YAG, což umožňuje stabilní a robustní jednovláknové buzení. Stabilita výkonu SC překračuje téměř trojnásobek u laserového čerpadla. SC spektrum má dlouhou stabilitu v čase a SC je koherentní a stlačitelné kompresí částí spektra v blízkosti Fourierových mezí. Díky tomu je pikosekundově-pulzně vytvořené SC vhodným stabilním zárodkem pro OPCPA zesilovače.

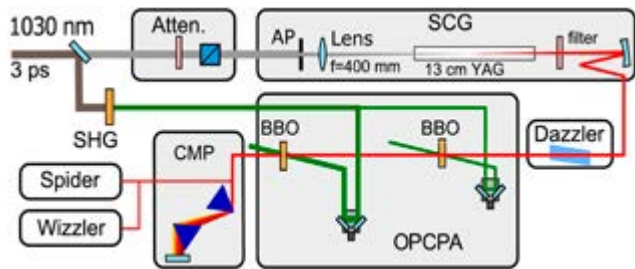
2.6.2 Oddělení 92 – Experimentálních programů Beamlines

Oddělení 92 experimentálních programů ELI Beamlines nadále soustředilo svou činnost zejména na výstavbu a testování klíčových stanic (beamlines), experimentálních prostor a platform. Všechny součásti pro budoucí experimenty HHG, PXS, optické, čerpací a sondovací svazky a stanice pro koncové uživatele v E1 (produkce

rentgenových svazků), ELIMAIA (urychlování iontů) v E4, P3 (platforma pro plazmovou fyziku) v E3, HELL platforma (elektronové urychlování) a LUX (záření z undulátoru) v E5 prošly velmi významným pokrokem. Některá ze zařízení již po nastavení prvotních parametrů prošla zkušebním provozem a proběhla jejich úprava na předpokládanou úroveň ve smyslu maximálního výkonu, průměrného výkonu a intenzity k úspěšnému zajištění začátku experimentální fáze. Části vakuového systému a transportu svazku byly nainstalovány a řádně testovány. Velký důraz byl kladen na nastavení kontrolních mechanismů a bezpečnostních opatření. Velkou úlohu hraje stabilita všech propojených systémů: směrovosti laseru, jeho energetických fluktuací, délky impulzu, vlnoplochy, zaměřovací stability systému transportu svazku, automatického zaměřování, atd. Spolupráce s mezinárodními institucemi a laboratořemi poskytla prostor pro vývoj stěžejních prvků a diagnostických prostředků včetně rozšíření vědeckých znalostí. Výsledky vědeckých experimentů a teoretického výzkumu provedeného členy výzkumných programů a skupin vedly k velkému množství publikací ve vysoce hodnocených časopisech.

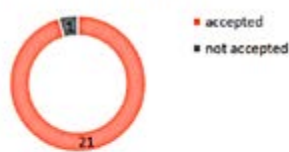
První uživatelé v ELI Beamlines

V únoru 2019 oslovilo výzkumné středisko laserového výzkumu ELI Beamlines vědeckou komunitu s žádostí o předložení návrhů na realizaci výzkumných projektů

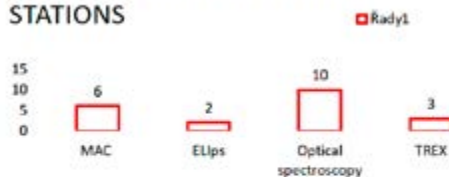


■ **Obr. 116** Experimentální sestava. SHG: druhá harmonická generace; Atten.: proměnný attenuátor ($\lambda/2$ destička a polarizátor); SCG: generace SC; AP: clona; filter, krátkodobý filtr 950 nm; Dazzler, akusticko-optický programovatelný disperzní filtr; OPCPA: prostor optického parametrického zesilovače; BBO: krystal boritanu barnatého; CMP: SF11 hranolový kompresor s vrcholovým úhlem 59° . L. Indra, F. Batysta, P. Hříbek, J. Novák, Z. Hubka, J. T. Green, R. Antipenkov, R. Boge, J. A. Naylor, P. Bakule & B. Rus. *Optics Letters* **42**, 843 (2017). A. Špaček, J. T. Green, F. Batysta, J. Novák, R. Antipenkov, & B. Rus. General method of passive optical pulse peak intensity stabilization through controlled self-phase modulation and over-compression. *Journal of the Optical Society of America B* **35**, 2494 (2018).

SUBMITTED PROPOSALS



SHARE OF THE USE OF E1 END STATIONS



NATURE OF EXPERIMENT



TIME SPENT AT ELI



■ **Obr. 117** Souhrnná data o uživatelské výzvě pro výzkumný program 4 (VP4). Většina podaných žádostí vyhověla podmínkám a byla přijata k řešení. O měřicí čas se dělily stanice optické spektroskopie, MAC, ELIps a TREX.

v experimentální hale E1 pro výzkum související s aplikacemi v molekulárních, biomedicínských a materiálových vědách. Jednalo se o tzv. Výzvu k uvedení do provozu – vůbec první výzvu, kterou společnost ELI Beamlines zahájila pro externí uživatele. Hlavním účelem výzvy bylo spuštění a testování čtyř experimentálních stanic pomocí technologií, které již fungují v experimentální hale E1. Experimentální hala E1 byla koncipována jako velmi variabilní prostor, poskytující několik jedinečných vědeckých přístrojů využívajících vysoce opakující se laserové zdroje, a díky spolupráci s externími uživateli se ji podařilo uvést v roce 2018 do plného provozu.

Výzva se setkala s velkým úspěchem a několik týmů z celého světa (USA, Německo, Itálie, Velká Británie, Rusko, Švédsko, Polsko, Maďarsko a Česká republika) se zajímalo o experimentování v ELI Beamlines. Doba výzkumu v zařízení byla naplněna velmi rychle a experimenty proběhly od června do září 2019.

Tato výzva a první úspěšně provedené experimenty představují skutečný milník pro ELI Beamlines na cestě k naplnění poslání centra otevírat bezprecedentní příležitosti pro experimenty celosvětové vědecké komunitě.

Ukázkovým příkladem raných uživatelských aktivit je koncová stanice uživatelů MAC (víceúčelová uživatelská koncová stanice pro atomové, molekulární, optické vědy a koherentní difrakční zobrazování) v čele s Mariou Krikunovou. Stanice nabídla 8 týdnů činností od května do srpna. Koncová stanice MAC získala značnou podporu prvních uživatelů (Tim Oelze, Technische Universität Berlin, Německo a Pamir Nag, Heyrovsky Institute of Physical Chemistry, Praha, Česká republika) při uvádění kritických subsystémů do provozu, jako je elektronovo-iontová zobrazovací mapa rychlosti (VMI) a zdroj molekulárního/klastrového paprsku. Jednalo se o zásadní kroky k prvnímu uživatelskému výzkumnému programu zaměřenému na časově rozlišenou elektronovou spektroskopii uspořádaných molekul. Ten byl během léta silně podpořen sku-

pinami vědců z University of Southampton (skupina vedena vedoucím projektu a hlavním řešitelem Russellem Minnsem) a z University of Nottingham (skupina vedena spoluzakladatelkou Katharine Reid), obě z Velké Británie.

Koncová stanice ELIps zaměřená na elipsometrii VUV získala své první uživatele v rámci výzvy k uvedení do provozu na E1 na konci června 2019. Tým uživatelů byl složen ze dvou skupin, z nichž první vedl Prof. Stefan Zollner z New Mexico State Univerzity, USA, a druhou vedl Dr. Luca Poletto z Ústavu fotoniky a nanotechnologií v Padově, CNR, IT. Během devíti po sobě jdoucích dnů spolupracovali s experimentálním týmem ELI pod vedením Shirley Espinozy a také týmu HHG, týmu podpory integrace Beamlines a týmu L1 ALLEGRA. Týmy provedly experimenty na vzorcích zlata a křemíku s využitím energií mezi 31-70 eV. Druhé kolo experimentů následovalo týden v září s experimenty na vzorcích germania, niklu a stroncia.

Další uživatelská skupina vědců pocházela z Maďarska. Provedli experiment pomocí femtosekundové stimulované Ramanovy spektroskopie, což je technika, která umožňuje studovat mechanismy molekulárních vibrací, pohybu, struktury a chemických reakcí v čase. Koordinátorem tohoto experimentu (jeden z několika využívajících stanic pro ultrarychlou optickou spektroskopii) byl Miroslav Klok z experimentálního týmu ELI Beamlines pro aplikace v molekulárních, biomedicínských a materiálových vědách. Experimentální rentgenové difrakční stanice vedená Dr. Borislavem Angelovem nabídla provoz uživatelům během léta v sérii experimentů.

S ohledem na poslání ELI Beamlines: budoucí uživatelské zařízení, byla výzva velmi důležitá a napomohla v úsilí o vytvoření složitých pracovních toků a účinných komunikačních cest mezi různými experimentálními týmy a externími uživateli.

V roce 2019 kromě pokusů prováděných v rámci Výzvy č. 0 umožnily experimentální stanice v hale E1 dalších 15 experimentů s vnější (národní i mezinárodní) účastí,

představujících asi 680 hodin podpory pro externí uživatele, které byly v roce 2019 zorganizovány mimo výzvu č. 0.

Výzkumný program 2 – Radiační fyzika a elektronové urychlování

V roce 2019 byl integrovaný XUV zdroj založený na generaci vysokých harmonických frekvencí budícího laseru (HHG) a plazmový zdroj rentgenového záření zpřístupněn prvním uživatelům. Oba zdroje pracující s opakovací frekvencí 1 kHz byly připojeny k vakuovému systému vedení laserových svazků a v experimentální hale E1 poskytly uživatelům stovky hodin času měření.

Vědecké práce zahrnovaly dokončení vývoje numerického kódu pro simulaci laserové propagace v dlouhých nelineárních plynných médiích a také možnost vyhodnocení dipólových momentů znovurozptylených elektronů.

Pro betatron-Comptonový zdroj byl vytvořen a patentován systém pro charakterizaci profilu hustoty plynového paprsku. Tento systém byl upgradován na čtyřprůchodovou konfiguraci, což dále zvyšuje citlivost dvounásobně. To umožnilo provést kompletní tomografie asymetrického plynového paprsku s nízkou hustotou.

Hlavní výsledky výzkumného programu VP2

Zdroj koherentních XUV impulzů s vysokým výkonem pro uživatelské aplikace

Významné byly experimentální výsledky získané na uživatelsky orientované XUV beamline implementované na ELI Beamlines. Koherentní XUV záření je tady

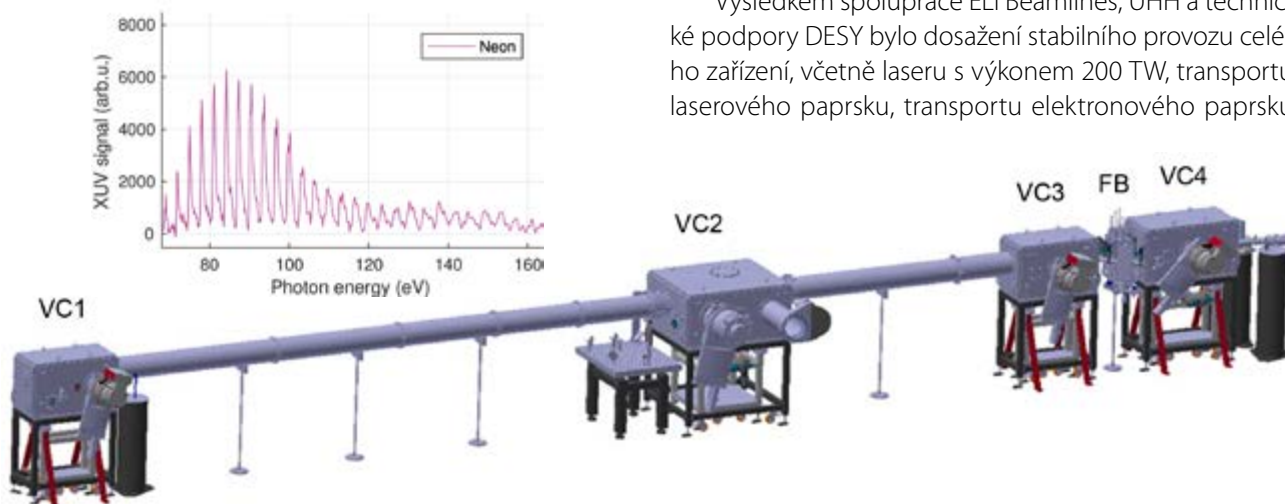
vytvářeno procesem generace vysokých harmonických frekvencí femtosekundového laseru v plynu při dlouhé ohniskové vzdálenosti fokusačního elementu tohoto laseru. Zařízení je navrženo tak, aby bylo schopno efektivně využít impulzy s energií 100 mJ, délkou 20 fs, centrální vlnovou délkou 830 nm a opakovací frekvencí 1 kHz. Můžeme prezentovat zejména spektra generovaného záření a energie XUV impulzů při použití budícího laserového systému s energií impulzu 5 mJ, délkou 40 fs a opakovací frekvencí 1 kHz. Stejně tak jsme popsali jedinečný XUV spektrometr pro charakterizaci zdroje, navrženy k dosažení velmi vysoké citlivosti, a novou techniku pro nedestrukční měření energie XUV impulzů.

Hlavní výsledky výzkumného programu LUIS (část programu ADONIS)

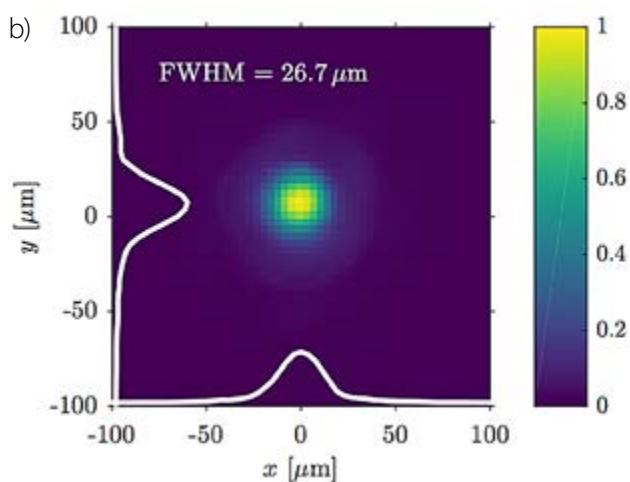
Cílem výzkumného programu LUIS je vývoj kompaktního laserem poháněného undulátorového fotonového záření pro uživatele, umožňující nekoherentní i koherentní režimy. Program otevírá cestu ke koherentním rentgenovým zdrojům nové generace se sub-femtosekundovými fotonovými svazky pomocí laseru OPCPA s vysokou frekvencí opakování.

V rámci mezinárodní spolupráce mezi ELI Beamlines a Univerzitou v Hamburku (Hamburk, Německo) bylo v Hamburku (v areálu Deutsches Elektronen-Synchrotron DESY) vyvinuta sestava LUX (laserem poháněný zdroj rentgenového paprsku) umožňující přechod od jednorázového demonstračního experimentu ke stabilnímu a kontrolovatelnému provozu urychlovače buzeného polem laseru.

Výsledkem spolupráce ELI Beamlines, UHH a technické podpory DESY bylo dosažení stabilního provozu celého zařízení, včetně laseru s výkonem 200 TW, transportu laserového paprsku, transportu elektronového paprsku



■ **Obr. 118** Experimentální uspořádání vakuových komor HHG Beamline: VC1 – fokusace a překlopení svazku, VC2 – generace vysokých harmonických frekvencí, VC3 + FB – filtrování laserového záření, VC4 – diagnostika XUV svazku. Vložený obrázek znázorňuje XUV spektrum vysokých harmonických generovaných v neonu. O. Hort, M. Albrecht, V. E. Nefedova, O. Finke, D. D. Mai, S. Reyné, F. Giamb Bruno, F. Frassetto, L. Poletto, J. Andreasson, J. Gautier, S. Sebban & J. Nejd. Optics Express **27**, 8871 (2019).



■ **Obr. 119** (a) experimentální paprsek LUX (ELI-Beamlines a University of Hamburg), sestavený a uvedený do provozu v DESY v rámci spolupráce ELI-BL a UHH; (b) změřená velikost ohniskového bodu laseru v blízkosti kapiláry.

a transportu fotonového paprsku. V Hamburku byl prokázán kontinuální provoz sestavy LUX s opakovací frekvencí 5 Hz se stabilní akcelerací elektronového paprsku až do 450 MeV během 24 hodin a generováním spontánního vlnění s vlnovou délkou značně pod 9 nm. Laserové zrychlení budícího pole elektronovým paprskem bylo umožněno pomocí kontinuálního toku plynu kapilárou. Hlavní komponenty sestavy LUX byly vyrobeny a dodány do ELI Beamlines v průběhu roku 2019. Tyto komponenty jsou instalovány v experimentální hale ELI Beamlines E5 jako součást sestavy LUIS.

ELI Beamlines prodala patentovou licenci do zahraničí

Zařízení a metoda pro vysokorychlostní pulzní radioterapii se zobrazováním v reálném čase byly vynalezeny v roce 2017 pro vyřešení vnitřních potřeb vědeckého

týmu a v té době byl také nápad patentován. Zatímco trh s takovými specializovanými zařízeními není velký, poptávka po takových inovacích stále roste. Svědčí o tom skutečnost, že nás kontaktovala německá společnost se zájmem o licenci. Po vyjednávání podmínek byla na začátku roku 2019 podepsána smlouva se společností Dr. Hoerlein & Partner GbR.

Smlouva je pro ELI Beamline důležitá nejen jako zdroj financování (díky licenčním poplatkům), ale také dokazuje, že ELI Beamlines má potenciál přinést zajímavé a prospěšné vynálezy pro aplikace. Průmyslový partner je takto schopen výrazně zlepšit své portfolio produktů.

G. M. Grittani, T. Levato, C. M. Lazzarini & G. Korn, Device and method for high dose per pulse radiotherapy with real time imaging. (2017).

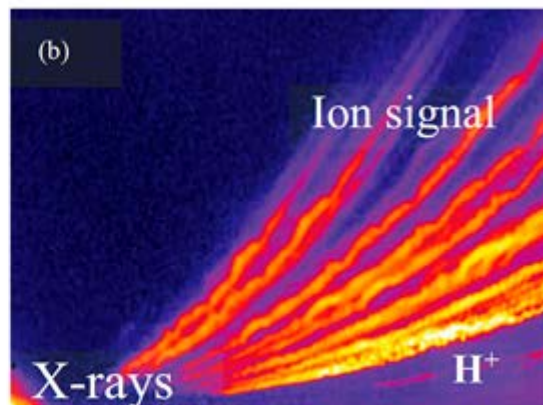
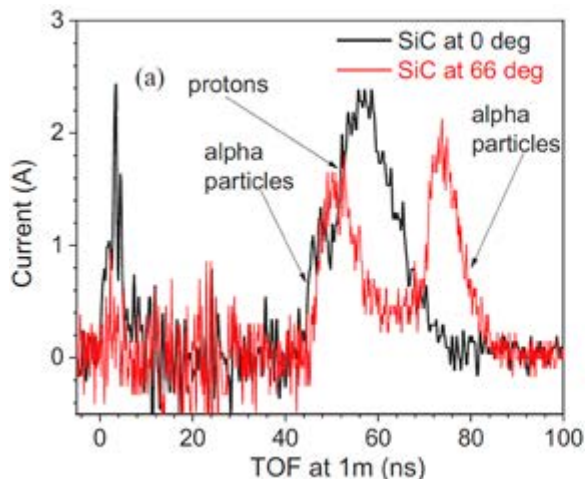
Výzkumný program 3 – Urychlování iontů pomocí laseru

Tým výzkumného programu 3 dokončil implementaci a uvedl do provozu první terčovou sestavu pro experimenty (TERESA) používající laserový systém L3-HAPLS na ELI-Beamlines. Fokusací femtosekundového laseru L3 na pevné a plynné terče bylo demonstrováno dosažení relativistických laserových intenzit (nad 10^{19} W·cm⁻²). To umožnilo vytvořit historický záznam laserové intenzity v rámci provozu vysoce výkonných laserů v České republice a zároveň urychlit ionty a elektrony na energie několik desítek MeV. Nastavení diagnostiky interakce laseru s terčem týmem VP3 rovněž umožnilo optimalizovat prostorové a časové vlastnosti nedávno nainstalovaného laseru L3, čímž se připravuje cesta k vysoce kvalitním interakčním experimentům, při kterých bude špičkový výkon laseru zvýšen na jeho maximum, tj. 1 PW.

Hlavní výsledky výzkumného programu VP3

Proud vysokého počtu energetických alfa částic pocházejících z laserem řízené proton-borové fúze

Jaderná reakce známá jako proton-borová fúze byla vyvolána pomocí fokusace laserového systému s impulsem kratšími než 1 nanosekunda na silný bor-nitridový terč, což vyústilo v rekordní výtěžek generovaných alfa částic, konkrétně 10^{11} částic na jeden laserový impuls, tj. o několik řádů vyšší výtěžek, než byl dříve dosahován v experimentech. Proud urychlených α -částic vykazuje unikátní parametry z hlediska kinetické energie (až 10 MeV), trvání impulsu (~10 ns) a špičkového proudu (~2 A) při měření ve vzdálenosti 1 m od zdroje, což je velmi slibné pro po-



■ Obr. 120 (vlevo) TOF spektra z detektorů umístěných na 0° (černá křivka) a 66° (červená křivka) normalizovaná na 1 m vzdálenosti. (vpravo) Nezpracovaná data z TP spektrometru ukazující různé druhy iontů odchýlených elektrickým a magnetickým polem detektoru.

L. Giuffrida, F. Belloni, D. Margarone, G. Petringa, G. Milluzzo, V. Scuderi, A. Velyhan, M. Rosinski, A. Picciotto, M. Kucharik, J. Dostal, R. Dudzak, J. Krasa, V. Istoksaia, R. Catalano, S. Tudisco, C. Verona, K. Jungwirth, P. Bellutti, G. Korn & G. A. P. Cirrone. Phys Rev E **101**, 013204 (2020).

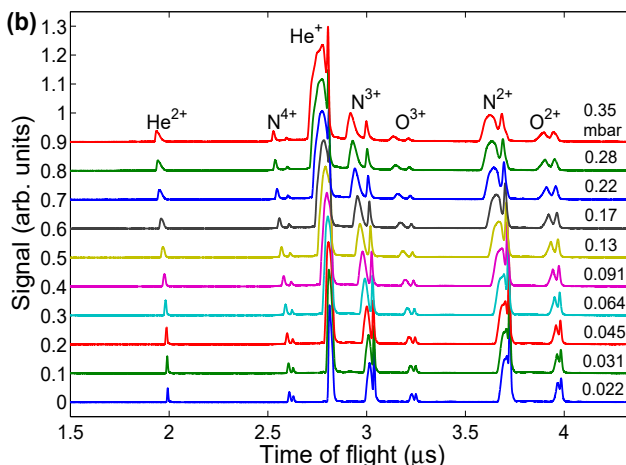
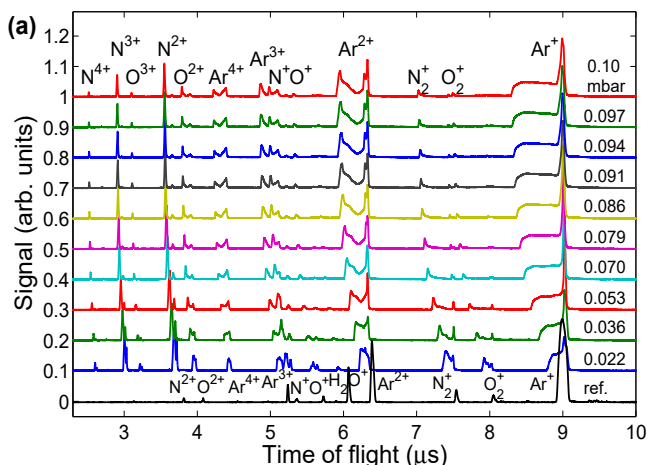
tenciální aplikace jako například fúzní jaderné reakce bez produkce neutronů.

První ionty a první elektrony urychlené laserem L3-HAPLS na ELI Beamlines

Pomocí laserového systému L3-HAPLS bylo poprvé na ELI-Beamlines generováno sekundární záření z laserového plazmatu. V roce 2019 pokračovaly experimentální kampaně na urychlování iontů a elektronů v experimentální sestavě nazvané TERESA (TEstbed for high-REpetition-rate Sources of laser-Accelerated particles).

Výzkumný program 4 – Využití v molekulárních, biomedicinských a materiálových vědách

Vedle uvolnění experimentálního měřicího času pro uživatele veřejnou výzvou popsanou výše se podařilo uzavřít smlouvu na dodávku vybavení pro více-dimenzionální spektroskopii a optického parametrického zesilovače v THz spektru s firmou MGF Šviesos konversia, Litva. Během roku 2019 uspořádala skupina



■ Obr. 121 Spektra z analýzy doby letu iontů (time-of-flight, ToF) z laserem ozářeného plynu v blízké infračervené oblasti spektra (vertikálně posunutě pro přehlednost), který byl injektován skrz injektor při různých vstupních tlacích sestavy aerodynamických čoček (ALS). Vlnová délka laseru: 800 nm, délka impulzu: 120 fs, špičková intenzita: $9 \times 10^{15} \text{ W}\cdot\text{cm}^{-2}$, vzdálenost od špičky injektoru: 11 mm. (a) Argon. Spodní záznam (černou barvou) ukazuje referenční spektrum, když byla komora zcela naplněna argonem (injektor není použit). (b) Helium. Vstupní tlak ALS (v mbar) je zobrazen u každého jednotlivého ToF spektra. Klimešová, O. Kulyk, Y. Gu, L. Dittrich, G. Korn, J. Hajdu, M. Krikunova & J. Andreasson. Scientific Reports **9**, (2019).

RP4 s podporou dalších týmů při ELI Beamlines čtyři uživatelské semináře zaměřené na různé uživatelské komunity.

Hlavní výsledky výzkumného programu VP4:

Tvorba plazmového kanálu v nosném plynu z aerosolového injektoru nanočástic ozářeného blízkým IČ laserem

Aerosolové vstřikovače nanočástic jsou důležité pro experimenty na izolovaných nanočásticích v nosném

plynu. Ukázali jsme, jak tento plyn komunikuje s intenzivním blízkým infračerveným laserovým pulsem. Ionizace polem otevírá plazmový kanál za laserovým pulsem skrze coulombovskou explozi vytvořeného nízkohustotního plazmového kanálu. Výsledky mohou být využity pro odhad zbytkového tlaku plynu při experimentech a otevírají příležitosti pro výzkum elektronové a iontové dynamiky na nanočásticích obklopených plynem s nízkou hustotou.

Přechodové dielektrické funkce Ge, Si a InP byly naměřeny pump-probe elipsometrem

Přechodové dielektrické funkce Ge, Si a InP byly naměřeny pump-probe elipsometrem s rotační kompenzací. U Ge jsme pozorovali významný pokles absorpce kritického bodu E_1 a $E_1 + \Delta_1$ a změnu v indexu lomu, protože fotoexcitované elektrony v L tyto přechody blokují. Byl pozorován pouze malý červený posuv kritického bodu E_1 , který přiřazujeme efektu ohřevu mřížky a jevu výměnné korelace. U Si a InP byly oproti tomu pozorovány pouze minimální změny.

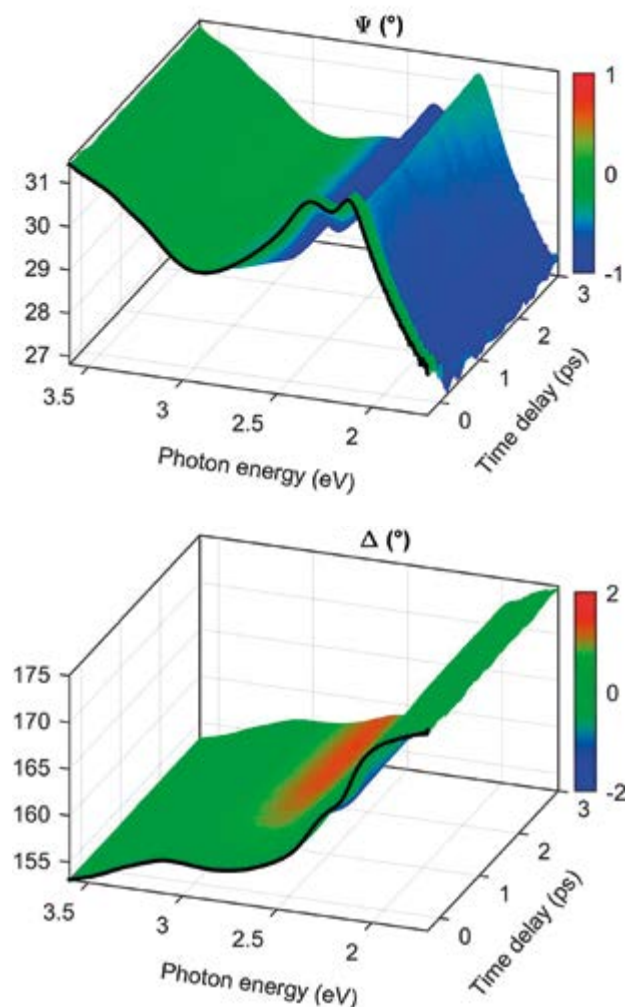
Výzkumný program 5 – Laserové plazma a fyzika vysokých hustot energie

Interakční komora (Plasma Physics Platform) P3 pro laserové experimenty s vysokou intenzitou a vysokou energií byla již v roce 2019 plně funkční a byly potvrzeny její vynikající vlastnosti z hlediska čerpání a udržení vakua. Transportní systém laserového svazku L3 je již v experimentální hale instalován a byl v roce 2019 úspěšně testován. Vědecký tým provedl první experimenty pro ověření celého systému při jeho uvádění do provozu. Členové týmu se také účastnili experimentů v Evropě, Rusku a Číně v souvislosti s přípravou nových experimentů v interakční komoře P3 a také kvůli testování diagnostického a jiného zařízení vyvinutého na ELI Beamlines.

Hlavní výsledky výzkumného programu VP5

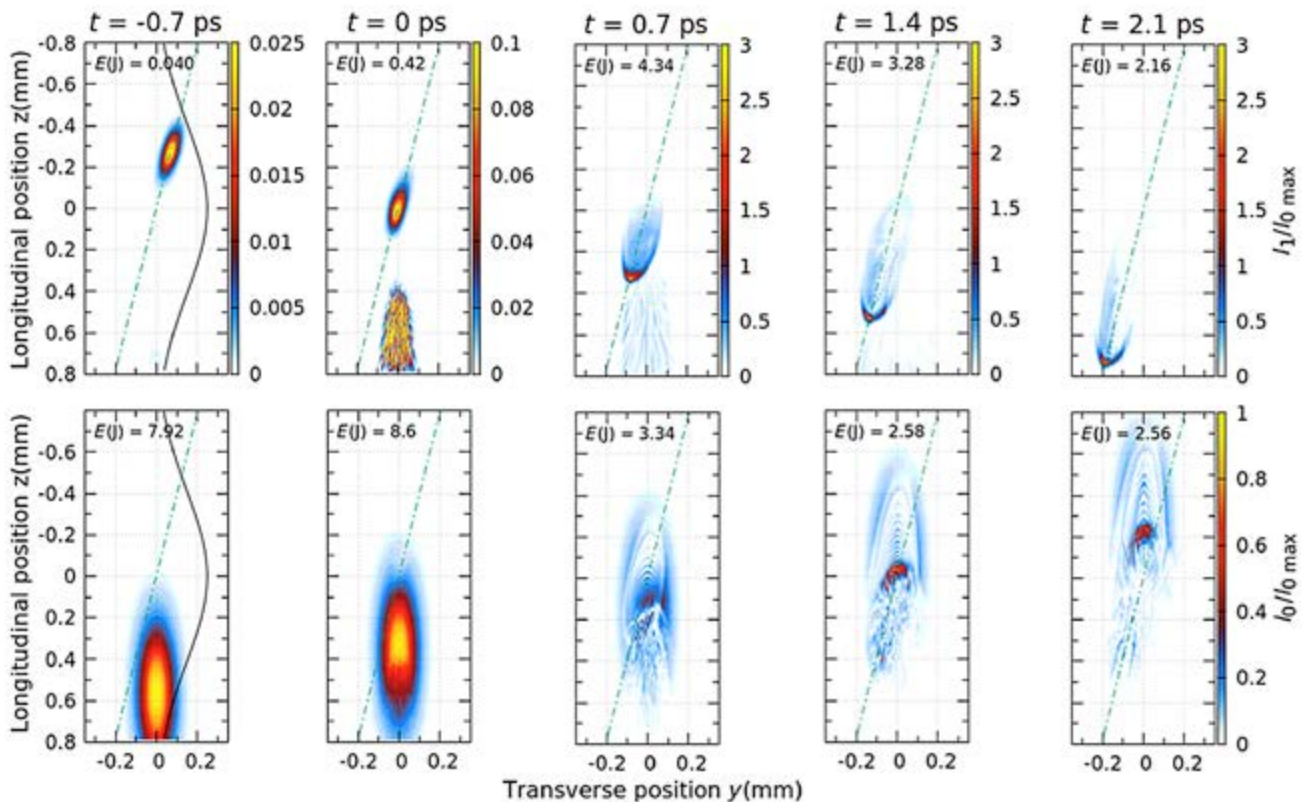
Zesilování koherentního světla v plazmatu

O stále vyšší laserové intenzity je velký zájem. Optické prvky na bázi pevných látek mají omezený práh poškození. Plazma je ve skutečnosti již „zničená“ hmota a může sloužit jako optické prostředí pro budoucí vysoce výkonné lasery. Srážkou dvou elektromagnetických vln v plazmatu s přenosem energie mezi nimi je možné vytvořit ultrakrátké intenzivní laserové pulzy. Cílem výzkumu je umožnit řízený přenos kilojoulové energie, aby se prokázala životaschopnost tohoto konceptu.



■ Obr. 122 Přechodové elipsometrické úhly ψ a Δ pro tlustou vrstvu Ge (pokrytou 4,5 nm mocnou vrstvou nativního oxidu) naměřené při úhlu dopadu 60° s buzením na 1,55 eV (hustota nosičů náboje 10^{20} cm^{-3}) jako funkce energie fotonu a času zpoždění sondujícího impulsu. Červeně jsou označeny relativní přírůstky oproti původním spektrům před excitací (černá barva), úbytky modře.

S. Espinoza, S. Richter, M. Rebarz, O. Herrfurth, R. Schmidt-Grund, J. Andreasson & S. Zollner. Appl. Phys. Lett. **115**, 052105 (2019).



■ **Obr. 123** Trojrozměrná interakce čerpacího a zesilovaného pulsu, simulace PF3D. a) Profily intenzity v interakční rovině (y - z) zesilovaného [(a) horní řádek obrázků] a čerpacího [(a) dolních řádek obrázků] pulsu v různých časech (čas narůstá zleva doprava). Zelená přerušovaná čára označuje osu šíření zesilovaného pulsu (165° vzhledem k čerpacímu pulsu). Černá čára na obrázcích vlevo označuje hustotní profil plazmatu podél osy z . Čerpací puls dorazí do středu plazmatu 1 ps po zesilovaném pulsu ($t_0 - t_1 = 1$ ps). Intenzity jsou normovány na maximální intenzitu dopadajícího čerpacího pulsu ($I_{0,max} = 4 \times 10^{16} \text{ W}\cdot\text{cm}^{-2}$). Marquès, J.-R., L. Lancia, T. Gangolf, M. Blecher, S. Bolaños, J. Fuchs, O. Willi, F. Amiranoff, R. L. Berger, M. Chieramello, S. Weber, S. & C. Riconda. Phys. Rev. X **9**, 021008 (2019).

Výzkumný program 6 – Interakce s ultravysokou intenzitou plazmy

Hlavní výsledky výzkumného programu RP6

Skupina teoreticky studovala zejména vznik a vývoj bezkolizní plazmy při magnetickém opětovném připojení v relativistickém limitu. Vyvíjel se analytický model, který je v souladu s numerickými výsledky a dává jasný podpis pro podporu zrychlení částic pomocí MR režimu v astrofyzice.

Y. J. Gu, F. Pegoraro, P. V. Sasorov, D. Golovin, A. Yogo, G. Korn & S. V. Bulanov. Sci Rep **9**, 1–10 (2019).

Intenzivně se studovaly nelineární procesy foton-fotonového rozptylu ve vakuu, reprezentované Heisenberg-Eulerovým formalismem v kvantové elektrodynamice. Hlavním účelem studie bylo analyzovat proces a vyzařované záření a stanovit podmínky pro skutečný experiment (přímá detekce rozptylu foton-foton) v laboratoři s lasery s vysokou energií v zařízeních, jako jsou ELI Beamlines, které dosud nebyly přímo pozorovány.

H. Kadlecová, G. Korn, G. & S. V. Bulanov. Phys. Rev. D **99**, 036002 (2019).

Vědecký tým dále studoval teorii dvou protisměrných elektromagnetických vln ve vakuu v Heisenberg-Eulerově aproximaci v kvantové elektrodynamice. Představili nový analytický přístup k řešení nelineárních polních rovnic pomocí Riemannovy vlnové formy. Demonstrovalo se, že řešení popisuje generování harmonických vysokých řádů, zvlnění vlny, vytvoření rázové vlny a páry elektron-pozitron jsou produkovány na rázové vlně pomocí procesu Breit-Wheeler.

H. Kadlecová, S. V. Bulanov & G. Korn. Plasma Phys. Control. Fusion **61**, 084002 (2019).

Projekt ELIBIO a biologická laboratoř

Biolaboratoř projektu ELIBIO má za úkol podpořit a rozvíjet biomolekulární a biologický výzkum v centru ELI Beamlines prostřednictvím vlastního nového experimentálního analytického vybavení (např. femtosekundový laserový systém, elektronový mikroskop a optické

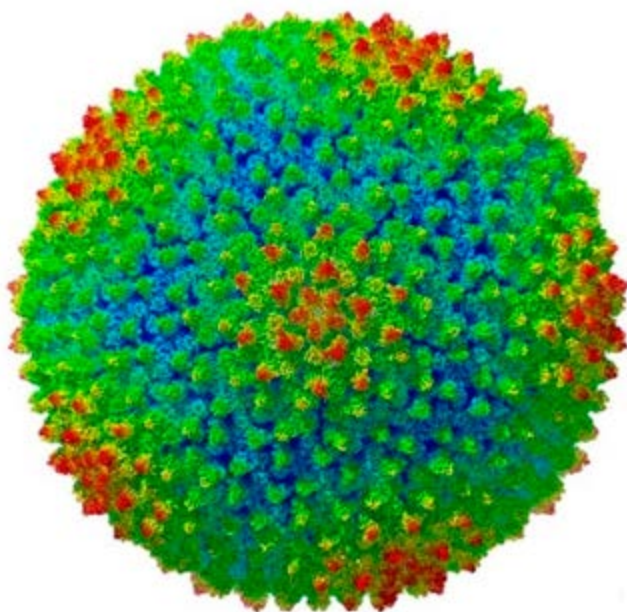
mikroskopy) a umožnit přípravu a skladování vlastních biomolekulárních (proteiny) a biologických vzorků (buňky, bakterie, biologické částice, viry, apod.).

V roce 2019 bylo dosaženo několika významných milníků: V místnosti laserové spektroskopie v biolaboratoři byla nainstalována rozměrná sestava optických stolů (~20 m²) a na ní plně zprovozněn femtosekundový laserový systém, čímž je umožněno rozšíření kapacit pro provádění experimentů v časově rozlišené optické spektroskopii biomolekul. Významným milníkem bylo pořízení a zprovoznění technického zázemí laboratoře pro přípravu a skladování biologických vzorků (inkubátory, mrazáky, centrifugy) pod vedením Ing. Martina Přečka, Ph.D. a uzavření smlouvy na dodávku přístroje pro Environmentální elektronovou mikroskopii (ESEM) s firmou FEI Europe B. V. (Nizozemsko).

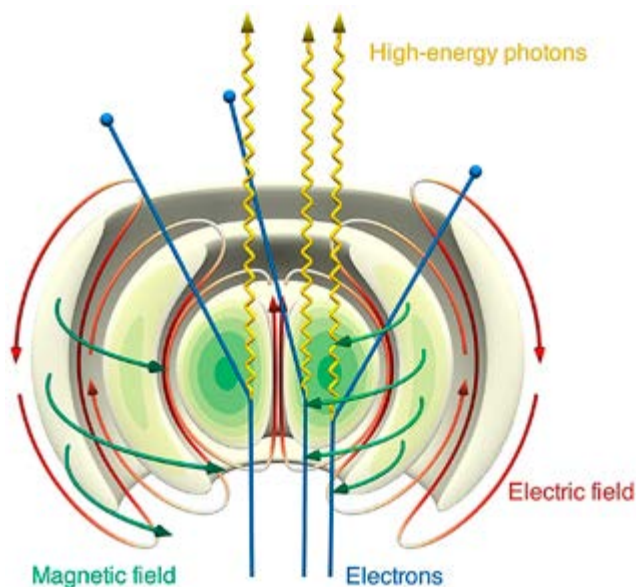
Významné vědecké výsledky projektu ELIBIO

Elektronová kryomikroskopie bakteriofágu PR772 odhaluje skrytý uzlový komplex a architekturu kapsidu

Bakteriofág PR772 má kapsid tvaru pravidelného dvacetistěnu (ikosaedru) o průměru 70 nm, který uzavírá lipidickou membránu, dvojitou DNA a rozličné vnitřní proteiny. Ikosaedrálně průměrovaná kryo-EM rekonstrukce virionu divokého typu o rozlišení 2,3 Å a lokalizovaná rekonstrukce uzlové oblasti odhaluje složení a strukturu uzlového komplexu a ukazuje interakce s vi-



■ **Obr. 124** Celková struktura bakteriofágu PR772 o rozlišení 2,3 Å. H. K. Reddy, M. Carroni, J. Hajdu & M. Svenda. *eLife* **8**, e48496 (2019).



■ **Obr. 125** Konceptuální vizualizace sestavy, kde vysokoenergetické elektrony (modré) jsou vstřikovány podél osy intenzivní dipólové vlny. V tomto poli elektrony budou vyzařovat velká množství vysokoenergetických fotonů (žlutá). Polarizace zobrazeného pole je polarizace elektrického dipólu s koloidálním elektrickým polem (červená) a toroidním magnetickým polem (zelená).

rovou membránou, a tak naznačuje možný mechanismus virové infekce.

Projekt HiFI – Výzkum velmi intenzivních polí

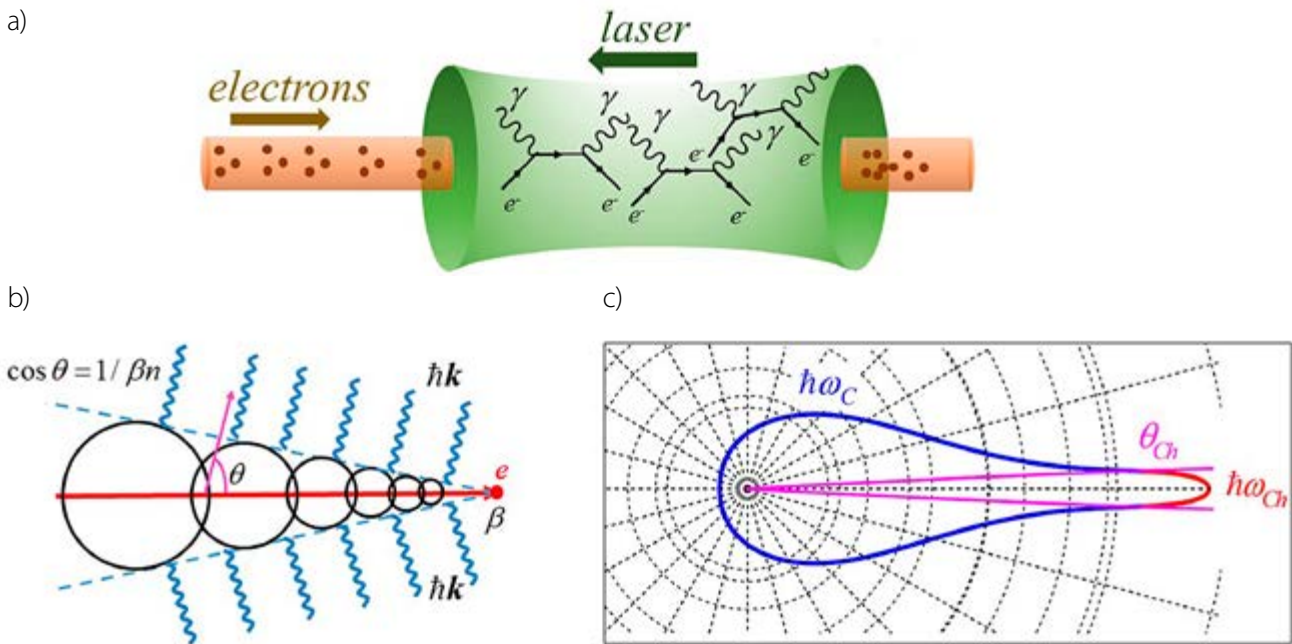
Významné vědecké výsledky projektu HiFI

Kolize více laserových pulsů jako základ pro studium vysokoenergetické fyziky v silném poli a astrofyzice

Kromě maximalizace síly elektromagnetických polí, které lze dosáhnout lasery vysokých intenzit, byla kolize několika fázově sladěných laserových pulsů identifikována teoreticky jako spouštěč a způsob studia různých jevů od základních procesů silných polí v QED k mimořádné dynamice generovaných elektron-positronových plazmat i laboratorní astrofyziky. To vytvořilo cestu k několika experimentálním návrhům zaměřených jak na fundamentální studium hmoty v extrémních podmínkách, tak na vytváření částic a zdrojů záření.

J. Magnusson, A. Gonoskov, M. Marklund, T. Zh. Esirkepov, J. K. Koga, K. Kondo, M. Kando, S. V. Bulanov, G. Korn, S. S. Bulanov "Laser-particle collider for multi-GeV photon production" *Phys. Rev. Lett.* **25**, 254801 (2019).

J. Magnusson, A. Gonoskov, M. Marklund, T. Esirkepov, J. Koga, K. Kondo, M. Kando, S. V. Bulanov, G. Korn,



■ Obr. 126 a) Interakce elektronového paprsku se zaměřeným laserovým zářením má za následek Comptonův rozptyl a Cherenkovovo záření díky kvantově elektrodynamické (QED) polarizaci vakua; b) Cherenkovo záření relativistických elektronů. c) Úhlové rozdělení logaritmu energie pro foton vyzářený SCSCR mechanismem.

C. Geddes, C. B. Schroeder, E. Esarey, S. S. Bulanov, "Multiple colliding laser pulses as a basis for studying high-field high-energy physics", Phys. Rev. A 100, 063404 (2019).

Nelineární elektromagnetické vlny v kvantovém vakuu

Proces rozptylu fotonu na fotonu ve vakuu vede k zesílení elektromagnetických vln, následnému generování harmonik vyšších řádů a formaci elektromagnetických šokových vln s generováním elektron-pozitronových párů na čele šokové vlny. Ultrarelativistický elektron emituje Cherenkovovo záření ve vakuu s indukované indexem lomu silné elektromagnetické vlny. Také vyzařuje fotony díky procesu Comptonova rozptylu. Synergický Cherenkov-Comptonův proces lze pozorovat srážením laserem urychlených elektronů s elektrickým pulsem vysoké intenzity.

H. Kadlecova, G. Korn, and S. V. Bulanov, "Electromagnetic shocks in the quantum vacuum", Phys. Rev. D 99, 036002 (2019)

S. V. Bulanov, P. V. Sasorov, S. S. Bulanov, and G. Korn, "Synergic Cherenkov-Compton radiation", Phys. Rev. D 100, 016012 (2019).

Project ELITAS (Extreme Light Infrastructure Tools for Advanced Simulation)

Výzkumný program ELITAS byl financován ze strukturálních fondů po dobu 30 měsíců od 1. 6. 2017 do 31. 11.

2019 a byl zaměřen na simulační a vizualizační nástroje pro extrémní hodnoty elektromagnetického pole a fyziky plazmatu s nelokálním transportem tepelné a radiční energie. Hlavním účelem bylo vyvinout nové nástroje pro vysoce výkonnou laser-plazmovou interakci a být schopen je vizualizovat.

Výzkumný program byl strukturován do 3 hlavních pracovních balíčků.

- První pracovní balíček se soustředil na interakci laseru a plazmy s vysokou intenzitou. Výzkum se tak připravoval na nadcházející stěžejní experimenty na 10 PW laseru ELI Beamlines (L4-femtosecond).
- Druhý pracovní balíček se zabýval hlavně otázkou transportních procesů ve vysokoenergetické laserové plazmatické interakci s významem pro termojaderní fúzi a má značný význam pro L4-nanosekundový laserový svazek.
- Nakonec, třetí pracovní balíček se soustředil na vývoj nových nástrojů pro vizualizaci simulovaných a experimentálních dat. Rovněž dovolil vyvinout jedinečný experimentální konfigurátor pro vyhodnocení a návrh experimentálních konfigurací v komoře P3 před vlastním experimentem. Konfigurátor bude přístupný pro budoucí uživatele s jehož pomocí si budou moct navrhnout experimenty v ELI Beamlines.

Během grantového období bylo vytvořeno 46 publikací v recenzovaných časopisech, což svědčí o působivých výzkumných činnostech členů týmu.

ELITAS profitoval ze zapojení Prof. V. T. Tikhonchuka, renomovaného teoretika na interakce světla a plazmy, který vedl některé výzkumné činnosti po celou dobu trvání projektu.

Výzkumná skupina také uspořádala řadu podpůrných aktivit, zejména specializovaných seminářů, aby představila pokrok / úspěchy společnosti ELITAS a získala zpětnou vazbu od mezinárodního vědeckého společenství.

Skupina Bezpečnosti a ochrany

Významné výsledky skupiny Bezpečnosti a ochrany

V roce 2019 poskytoval tým podporu a odbornou expertizu pro činnost výzkumných a realizačních týmů a pracoval na vytváření vnitřních standardů a postupů pro zajištění dlouhodobého bezpečného a hladkého provozu centra se zaměřením nejen na zaměstnance, ale také na externí uživatele. Tým se aktivně podílel na denním provozu pravidelnými kontrolami laboratoří, návrhem bezpečnostních prvků, zajištěním služeb zabezpečení, poskytováním odborných školení, kontrolou vlivu provozu na životní prostředí, poskytováním podpory prvním uživatelským experimentům a koordinací dodavatelů v oblasti bezpečnosti. V roce 2019 byla zahájena realizace kontinuálního monitoringu dávkových příkonů a koncentrací technických plynů.

Tým byl aktivní a uznávaný i na mezinárodní úrovni: zúčastnil se několika mezinárodních oborových workshopů, byl a nadále je aktivním členem mezinárodní kolaborace výpočetního kódu FLUKA (členové týmu jsou lektory oficiálních kurzů kódu, člen našeho týmu patří do tříčlenného nadnárodního řídicího výboru kurzů), vedoucí týmu byla v roce 2019 zvolena členkou řídicího výboru Evropské dozimetrické společnosti EURADOS sdružující 80 výzkumných organizací v oboru dozimetrie.

Významné výsledky skupiny radiační ochrany

V roce 2019 byl zahájen nový mezinárodní projekt UHDPulse (kde jsme spoluřešitelem) zabývající se metrologií pro pokročilou radioterapii pomocí částicových paprsků s vysokou dávkou v pulsu. Dále byla zpracována dokumentace dle atomového zákona pro pracoviště III. kategorie (pro ELI Beamlines jako celek) a experiment TERESA (VP3) a získáno povolení k jejich provozu. Pro experimentální stanice ELIMAIA a P3 byly aktualizovány mapy dávkových příkonů, provedeny doplňující simulace možné aktivace materiálů a radiačního poškození elektroniky a fyzikální design doplňkových stínících prvků. Skupina

dále prováděla další simulace a výpočty pro efektivnější průběh experimentů výzkumných skupin a teoretické zdůvodnění jimi získaných výsledků.

Významné výsledky skupiny BOZP

V roce 2019 pokračovaly práce na integrovaném bezpečnostním systému PSI (Personal Safety Interlock). Tým úzce spolupracoval s ostatními týmy na zajištění všech aspektů bezpečnosti od uvádění jednotlivých zařízení do provozu až po posuzování experimentů. Byly nastaveny interní standardy pro jednotlivé obory, jako je chemická, biologická a plynová bezpečnost. Velký důraz byl kladen nejen na preventivní, ale také na represivní opatření a připravenost v případě nouzových/krizových situací. Tým organizoval také první workshop laserové bezpečnosti v historii České republiky, který se setkal s velkou odezvou komunity v ČR.

2.6.3 Oddělení 93: Konstrukční a projekční podpory

Oddělení 93 zajišťuje technickou podporu pro výzkumné centrum ELI Beamlines, především pro vědecké týmy, v oblastech: návrh, konstrukce a výroba mechanických a optomechanických celků, vakuových a kryogenních celků a elektrických systémů.

Významné výsledky skupiny Mechanika a optomechanika

Kromě stálé podpory laserového týmu na systémech L1, L2, L3 a L4 se připravovala zařízení a přípravky pro instalaci optomechaniky do vakuových komor distribuce svazků L3 a L4. Proběhl návrh vedení kabelových žlabů a rozvodů chladicí vody a stlačeného vzduchu pro distribuci svazku L3 v halách E3 a E4 a dále pro laser v hale L2. Konstruovaly se také přípravky pro bezpečné vkládání zrcadel L3 do manipulátorů, tzv. L-mountů, a přípravky pro zakládání L-mountů do vakuových experimentálních komor. Pro potřeby našich dílen se konstruovaly přípravky pro manipulaci a zakládání silných neodymových magnetů. Pro laserový systém L1 se dále navrhly a vyrobily například pneumaticky ovládané 50 mm irisové clony.

Další významnou konstrukční prací byla aktualizace 3D master modelu laserové budovy *as designed* a tvorba modelu podle skutečného stavu *as built* včetně měření v halách.

Konstrukční práce byly doplněny FEM výpočty a simulacemi navrhovaných konstrukcí jak pro posouzení je-

jich bezpečnosti, tak i pro optimalizaci z hlediska tuhosti, tvarové a vibrační stability.

Významné výsledky skupiny Vakuum a kryogenika

V roce 2019 byl v laserové budově instalován centrální rozvod vakua pro haly E5 a L4c, který slouží pro flexibilní předčerpání vakuových komor (10^{-2} mbar) a pro podporu sekundárních čerpacích jednotek. Pro centrální rozvody vakua zmíněných hal byly v technologickém zázemí budovy instalovány a uvedeny do provozu vysokokapacitní vývěvy, které byly integrovány do řídicího systému.

Dalším významným splněným cílem bylo dokončení vakuového systému experimentu TERESA v hale L2 pro čerpání vodíku. Pro halu L2 byla navržena konstrukce určená pro laserový systém L2 DUHA, která má zabezpečit celkovou ochranu laserových zařízení a dále slouží jako podpůrná konstrukce pro jednotlivé technologie.

Významné výsledky skupiny Elektro a EMP

V roce 2019 byla realizována nová elektroinstalace pro optický kompresor laseru L4 v hale L4c a pro další etapu stavby laseru L2.

Dále byla v hale L1 nainstalována nová monitorová stěna včetně kompletní elektroinstalace (silové napájení, data) a doplněny zásuvky na optické stoly. Na jižní straně haly L1 byla provedena rekonstrukce a doplnění kabelové trasy pro datové a signální kabely. V oscilátorovně L1 byla provedena úprava zapojení osvětlení pro optické stoly, doplnění světel nad pracovní stoly a rozšíření a oprava kabelových tras.

V řídicí místnosti laseru L3 byla doplněna elektroinstalace (silové napájení, data) pro nové monitory umístěné na monitorové stěně. V návaznosti na spuštění experimentálního systému TERESA byla provedena instalace propojovacích kabelů mezi laserem L3 a systémem TERESA včetně instalace a zapojení Interlocků a jejich uvedení do provozu.

Významné výsledky skupiny Výroba a montáž (dílny)

V dílnách ELI a FZÚ se v roce 2019 realizovala řada prototypů a finálních zařízení kromě těch, která se z technologických nebo kapacitních důvodů zadávala externě nebo výběrovým řízením.

Protože vrcholila realizační fáze projektu, došlo v tomto roce k dalšímu nárůstu požadavků vědeckých týmů na výrobu. Kapacity dílen ELI byly zvýšeny náku-

pem dalšího nástrojového vybavení a dokončením nové místnosti montážní dílny. Navýšeny byly také skladové zásoby nejpoužívanějších materiálů. Výsledkem těchto investic a dalším zefektivněním organizace práce je nárůst kapacity výroby v dílnách ELI oproti roku 2018 o 45%. Objem výroby v dílnách FZU a externí výroby se podařilo udržet na stejném objemu jako v roce 2018.

V roce 2019 se vyráběly například kompaktní manipulátory rovinných zrcadel L3, tzv. L-mounty, dále montáže OAP L3 do ECU komor experimentů ELIMAIA, ELBA a betatron, motorizované flexi stolky, pneumatické irisové clony pro L1 OPCPA, beam dumpy pro vysokovýkonové laserové svazky (s možností komerčního využití), čisté stany především pro distribuci svazku L3 v halách E3 a E4. Vyrobyly se všechny komponenty potřebné pro ochrannou a podpůrnou konstrukci laserového systému L2 DUHA. Zajistila se realizace uzavření prostupů v hale L4c pro potrubí distribuce svazků a výroba breadboardů optických stolů pro komoru, včetně přípravy k montáži do čistých prostor.

2.6.4 Oddělení 98 – CITT: Centrum pro inovace a transfer technologií

Posílení a rozšíření modelu využívání práv duševního vlastnictví vytvořeného v rámci výzkumných a vývojových činností střediska

V rámci činnosti oddělení Transfer technologií, odd. 98., bylo provedeno určení vhodných výstupů výzkumných a vývojových činností. Oddělení podporuje rozvoj podnikání a funguje jako správce duševního vlastnictví. Pracovníci oddělení v průběhu roku 2019 identifikovali celkem 30 výstupů výzkumu a vývoje vhodných pro ochranu duševního vlastnictví. Byla podána jedna patentová přihláška, udělené tři patenty, identifikováno deset technologií a software a registrovány tři ochranné známky. Během tohoto období byla také udělena jedna licence na používání technologie vyplývající z patentu ČR č. 307169 firmě dr. Hoerlein & Partner GbR.

Konference a uživatelské workshopy

V roce 2019 se v prostorách ELI Beamlines uskutečnilo 119 nejrůznějších akcí. ELI jako významné a unikátní laserové centrum pořádá řadu odborných, edukačních i popularizačních akcí. Počátkem roku jsme pořádali US



Obr 127 Účastníci „Uživatelského workshopu ELI o laserových zdrojích a aplikacích rentgenového záření“

- ELI scientific dialogue, na kterém se probíraly možnosti spolupráce s americkými univerzitami či institucemi. Obdobné fórum proběhlo v druhé polovině roku s experty z Izraele.

Z mnoha odborných workshopů můžeme jmenovat například MEMphi workshop, Laser safety workshop, VBL workshop nebo ultrafast spectroscopy workshop. Velký důraz dáváme na možnost rozvoje spolupráce s univerzitami po celém světě. Mnoho VŠ studentů navštíví jak návštěvnické centrum, tak samotné laserové haly. Uvítali jsme například delegace a studenty z ČVUT v Praze, z univerzity v Grenoblu, z univerzity v Antverpách, Vratislavi, Bělehradě či Vídní a mnoha dalších.

Již pravidelně se účastníme odborně zaměřených konferencí a veletrhů. V roce 2019 to byl například veletrh optiky ve Wetzlaru (SRN), veletrh Laser World of Photonics (SRN), kde jsme měli společný stánek s kolegy z ELI ALPS.

Jelikož je ELI největším vědeckým projektem v historii ČR, je zde velký zájem o návštěvy z řad politiků či velvyslanců. Centrum si v roce 2019 například prohlédli a možnost spolupráce jsme diskutovali s velvyslanci Japonska, Korejské republiky, Číny nebo Litvy. Uvítali jsme rovněž delegaci z centrály NATO.

Popularizace vědy mezi žákovskou a studentskou veřejností je pro ELI velmi podstatnou a důležitou součástí komunikace s veřejností. V roce 2019 jsme zrealizovali 3 dny otevřených dveří pro veřejnost, také jsme participovali na UNESCO Dnu světla i na evropské Noci vědců. Ve spolupráci s AV jsme se zúčastnili Týdne vědy a techniky, velký stánek jsme měli na Veletrh vědy, kde návštěvníci

mohli vyzkoušet mnoho fyzikálních či optických experimentů na našich edukačních stanovištích.

■ Nejvýznamnější publikované výsledky

Výzkumný program 1: Vývoj Laserů

- [1] L. Indra, F. Batysta, P. Hříbek, J. Novák, Z. Hubka, J. T. Green, R. Antipenkov, R. Boge, J. A. Naylor, P. Bakule & B. Rus. *Optics Letters* **42**, 843 (2017).
- [2] A. Špaček, J. T. Green, F. Batysta, J. Novák, R. Antipenkov, P. Bakule & B. Rus. *Journal of the Optical Society of America B* **35**, 2494 (2018).

Výzkumný program 2 – Radiační fyzika a elektronové urychlování

- [3] O. Hort, M. Albrecht, V. E. Nefedova, O. Finke, D. D. Mai, S. Reyné, F. Giamb Bruno, F. Frassetto, L. Poletto, J. Andreasson, J. Gautier, S. Sebban & J. Nejd. *Optics Express* **27**, 8871 (2019).
- [4] J. Nejd, J. Vančura, K. Boháček, M. Albrecht & U. Chaulagain. *Review of Scientific Instruments* **90**, 065107 (2019).
- [5] J. Nejd, Mai, D.-D., U. Chaulagain, O. Hort, O. Finke, M. Albrecht, M. Jurkovic, R. Lera, S. Karatodorov, M. Lamač, J. Vančura, K. Boháček, S. J. Espinoza, S. Richter, M. Rebarz, E. Klimesova, M. Krikunova, M. Kolzová, R. Antipenkov, F. Batysta, J. Novák, J. T. Green,

J. Andreasson & G. Korn X-Ray Lasers and Coherent X-Ray Sources: Development and Applications XIII (eds. Klisnick, A. & Menoni, C. S.) **17** (SPIE, 2019).

Výzkumný program 3 – Urychlování iontů pomocí laserů

- [6] T. Levato, L. V. Goncalves, & V. Giannini. arXiv:1906.09517 [physics] (2019).
- [7] S. Lorenz, G. Grittani, E. Chacon-Golcher, C. M. Lazzarini, J. Limpouch, F. Nawaz, M. Nevrkla, L. Vilanova & T. Levato. Matter and Radiation at Extremes **4**, 015401 (2019).
- [8] P. Valenta, O. Klimo, G. M. Grittani, T. Esirkepov, G. Korn & S. Bulanov V. Laser Acceleration of Electrons, Protons, E. and Ions V, **29** (SPIE, 2019).

Výzkumný program 4 – Materiálové a biomolekulární aplikace

- [9] S. Espinoza, S. Richter, M. Rebarz, O. Herrfurth, R. Schmidt-Grund, J. Andreasson & S. Zollner. Appl. Phys. Lett. **115**, 052105 (2019).
- [10] E. Klimešová, O. Kulyk, Y. Gu, L. Dittrich, G. Korn, J. Hajdu, M. Krikunova & J. Andreasson. Scientific Reports **9**, (2019).
- [11] V. Kuznetsova, M. A. Dominguez-Martin, H. Bao, S. Gupta, M. Sutter, M. Kloz, M. Rebarz, M. Přeček, Y. Chen, C. J. Petzold, C. Y. Ralston, C. A. Kerfeld, &

T. Polívka. Biochimica et Biophysica Acta (BBA) – Bioenergetics **1861**, 148120 (2020).

Výzkumný program 5 – Fyzika plazmatu

- [12] Marquès, J.-R., L. Lancia, T. Gangolf, M. Blecher, S. Bolaños, J. Fuchs, O. Willi, F. Amiranoff, R. L. Berger, M. Chieramello, S. Weber & C. Riconda. Phys. Rev. X **9**, 021008 (2019).

Výzkumný program 6 – Interakce s ultravysokou intenzitou

- [13] M. F. Ciappina, S. V. Popruzhenko, S. V. Bulanov, T. Ditmire, G. Korn & S. Weber. Physical Review A **99**, (2019).
- [14] F. P. Condamine, E. Filippov, P. Angelo, S. A. Pikuz, O. Renner & F. B. Rosmej. High Energy Density Physics **32**, 89–95 (2019).
- [15] M. Šmíd, O. Renner, A. Colaitis, T. Schlegel & F. B. Rosmej. Nature Communications **10**, (2019).

Patents (CITT)

- [16] EP3468666: Device and method for high dose per pulse radiotherapy with real time imaging
- [17] EP3076208 – Multi-layer reflective diffraction grating and use thereof
- [18] Patent applied: LU 101150 – A device, use of the device and a method for high-contrast imaging.





2.7 Projekty programů EU řešené na pracovišti v roce 2019

AIDA-2020 (J. Cvach)

Evropský projekt H2020

Účastníme se projektu „Moderní evropské infrastruktury pro detektory na urychlovačích“, akronym AIDA-2020. Projekt byl zahájen v květnu 2015 a potrvá 4 roky. Projekt spojuje dohromady hlavní evropské infrastruktury pro vývoj detektorů s řadou akademických institucí. Celkem se projektu účastní 19 zemí a CERN. Projekt vychází z priorit Evropské strategie pro částicovou fyziku. Konkrétně pracujeme v balíčku WP14: Infrastruktura pro moderní kalorimetry a balíčku WP5: Sběr dat pro testy na svazcích. Specifické úkoly, které řešíme, zahrnují: Infrastruktura pro testy inovativních kalorimetrů s optickým vyčítáním spolu s Universitou v Bergenu, Vyčítací systém pro inovativní kalorimetry s DESY Hamburk a Vývoj monitorování kvality dat a slow control společně s britskými institucemi (pod vedením University College London a University Bristol) a DESY Hamburk.

ASPIN (T. Jungwirth)

Evropský projekt H2020

Cílem projektu je rozvinout nový výzkumný směr založený na antiferomagnetických materiálech s budoucím potenciálním využitím v informačních technologiích. Projekt staví na nedávných výsledcích skupiny v oblasti antiferomagnetické spintroniky, konkrétně na realizaci experimentálních paměťových součástek s elektrickým zápisem a čtením informace. Z vědeckého hlediska je projekt na pomezí spintroniky, Diracových kvazičástic a topologických fází v pevných látkách.

ELITRANS (J. Hvězda)

Vzhledem k tomu, že realizace „Extreme Light Infrastructure“ ELI v České republice, Maďarsku a Rumunsku je téměř dokončena, je nutné vytvořit nezbytné podmínky pro budoucí provoz těchto center. Cílem projektu ELITRANS je doplnění závěrečné fáze implementace, přípravy a provedení transformace ze tří právně nezávislých stavebních projektů k provozu jako jedné mezinárodní právnické osoby, ELI-ERIC.

FUNMAH (L. Straka)

Obecný cíl projektu je detailně porozumět těm novým druhům funkčnosti materiálů s magnetickou tvarovou pamětí, které vyplývají ze zvětšené magnetické hystereze, a potvrdit tyto nové druhy funkčnosti experimentálně. Jednotlivé podcíle projektu jsou tyto: i) Identifikovat příčiny zvětšené magnetické hystereze v Ni-Mn-Ga(-B) slitinách, ii) Identifikovat fyzikální mechanismy které stojí za novou funkčností, iii) Vyrobit nové slitiny, ve kterých bude nová funkčnost dobře pozorovatelná, iv) Ilustrovat praktické využití nové funkčnosti.

Hilase CoE (T. Mocek)

Hlavní náplní projektu je modernizace stávající výzkumné infrastruktury a přeměna pracoviště v špičkové centrum excelence evropského významu. Projekt je realizován v úzké spolupráci s prestižní mezinárodní výzkumnou institucí STFC z Velké Británie. Rozsáhlé znalosti a zkušenosti partnera významně přispějí k zajištění efektivního fungování budoucího centra excelence. Nový inovační program je nezbytným předpokladem pro udržitelnost centra a také pro rozvoj regionu.

CHAMPAGNE (O. Hort)

Evropský projekt H2020

Projekt se zabývá studiem zesilování koherentních impulsů záření ze spektrální oblasti za UV záření (EUV: extreme ultra violet). Použijeme kombinaci 2 technik z různých oborů:

1. generace vysokých harmonických (HHG) a
2. Generace terahertzového (THz) záření v plasmě.

Tímto dosáhneme parametrické generace a zesilování EUV záření ve formě vhodné pro aplikace. Pro obě dvě techniky bude použit laser generující femtosekundové ($1 \text{ fs} = 10^{-15} \text{ s}$) impulsy pro dosažení vysoké intenzity pole na terči.

INTELUM (M. Nikl)

Projekt Intelum je čtyřletý evropský projekt v programovém období Horizon 2020 v podprogramu „Marie Skłodowska-Curie Research and Innovation Staff Exchange (RISE)“, podporující mezinárodní a intersektorovou mobilitu vědeckých pracovníků v širokém konsorciu projektu (16 partnerských organizací z Evropy USA a Japonska). Projekt je koordinován z CERNu a je zaměřen na vývoj rychlých scintilačních vláken pro použití v budoucích kalorimetrických detektorech na urychlovačích ve fyzice vysokých energií. Tým FZÚ vede pracovní balíček WP1 zaměřený na přípravu monokrystalických vláken a jejich optimalizaci

IQONIC (T. Mocek)

Pokrok v optoelektronických technologiích způsobuje revoluci ve spotřební elektronice, solární energetice, komunikacích, LED, laserovém průmyslu a dalších. V současné době jsou ve výrobě optoelektroniky značné výzvy týkající se vývoje vybavení, přístrojové techniky a podpůrných procesů. Průmysl požaduje vyšší individualizaci a přizpůsobitelnost, což vede na mnohem častější a dynamickou výměnu konfigurace systému. IQONIC bude nabízet škálovatelnou platformu s nulovými defekty pokrývající celkový procesní řetězec optoelektrických dílů. IQONIC také zajistí návrh nových optoelektrických komponent, optimální procesní řetězec, montáž, demontáž a opětovně zavedení do hodnotového řetězce. IQONIC bude proto obsahovat nové hardwarové a softwarové komponenty propojené se stávajícími zařízeními prostřednictvím internetu věcí a datamanagementu platform, přičemž bude řízen pomocí 8 škálovatelných strategií na úrovni komponent, pracovních stanic, továrního prostředí. Technologie IQONIC budou demonstrovány ve čtyřech zkušebních oblastech pokrývajících širokou škálu produktů a procesů.

Laserlab-Europe IV (K. Jungwirth)

Evropský projekt H2020

K hlavním cílům projektu přibýlo posláním rozšiřovat evropskou základnu laserového výzkumu a aplikací vazbami na spřízněné vědecké komunity. To našlo svůj odraz i ve dvou startujících JRA – Inovative LASer Technologies (ILAT), kde je nově zapojeno HiLASE a Laser-driven High Energy Photon and Particle Sources towards Industrial and Societal Applications (LEPP), kde se zúročí již realizovaná modernizace infrastruktury PALS.

NextBase (A. Fejfar)

Evropský projekt H2020

NextBase (plným názvem „Next-generation interdigitated back-contacted silicon heterojunction solar cells and modules by design and process innovations“) je projekt z výzvy Horizon2020 ‘Developing the next generation technologies of renewable electricity and heating/cooling’. Tříletý projekt byl zahájen 1. října 2016 a jeho celkový rozpočet 5,6 M€ podpoří 14 partnerů z 8 evropských zemí. Cílem projektu je realizace IBC-SHJ solárních článků s účinnostmi přes 26,0% a odpovídajících slunečních panelů s účinnostmi nad 22,0%. Dalším výstupem bude prototyp průmyslového zařízení pro výrobu IBC-SHJ článků s nízkými výrobními náklady, které by dovolily konkurenceschopné náklady výroby na úrovni < 0,35 €/Wp. Tato hodnota by dovolila dosažení LCOE nákladů na výrobu elektřiny v oblastech s hojným osluněním blízcí se 0,04 €/kWh.

SC2 (J. Wunderlich)

Evropský projekt pro pokročilá studia

V projektu „Přeměna mezi spinem, nábojem a teplem na hybridních organicko-anorganických rozhraních“ jde o teoretický a experimentální výzkum, který má vést k propojení doposud nezávislých oborů organických polovodičů a spintroniky v anorganických materiálech. Organické polovodiče dnes hrají významnou roli v optoelektronice, např. při vývoji flexibilních obrazovek a solárních článků. Spintronika v anorganických materiálech se naopak uplatňuje v magnetických technologiích pro ukládání informace. Cílem projektu je najít synergie mezi fyzikou a chemií v těchto rozdílných oborech a otevřít cestu ke zcela novým typům optoelektronických, spintronických a termoelektrických součástek využívajících hybridní organicko-anorganická rozhraní.

TAKEMI5 (M. Nikl)

V souladu s potřebami průmyslu a Moorova zákona, který je kvantifikován v dokumentech ITRS 2013/2015 a ECSEL JU MASP 2016, hlavním cílem projektu TAKEMI5 je objevit, vyvinout a demonstrovat litografickou metrologii, proces a integrační technologie, které umožní modulární integraci s rozlišením 5 nm. Toto je plánováno s dostupnými EUV/NA0.33 skenery, které jsou optimalizovány pro spolupráci s existujícími DUV/NA1.35 skenery, s návrhem systému a s vývojem a integrací nového hyper NA EUV litografického nástroje, aby bylo možné dosáhnout v jednotlivé expozici rozlišení 5 nm při tvorbě komplexních integrovaných obvodů.

TheMoDS (C. Skordis)

7. rámcový program EU – ERC Grant

Projekt TheMoDS zpochybňuje jeden z předpokladů moderní kosmologie, tedy že popis gravitace Einsteinovou obecnou teorií relativity je v kosmologickém měřítku správný. S tímto předpokladem a podle současných dat potřebujeme ke kosmologickému modelu existenci takzvaného temného sektoru: temnou hmotu (TH) a temnou energii (TE). O povaze TH víme velice málo a nebyla zatím experimentálně detekována. Nejjednodušší forma TE kompatibilní s daty, kosmologická konstanta, má hodnotu neslučitelnou s kvantovou teorií pole.

Náš tým konstruuje parametrické modely temného sektoru a modely gravitace mimo obecnou relativitu. Pomocí měření reliktního mikrovlnného záření pořízených sondou Planck Evropské kosmické agentury hodnotíme, který z modelů nejvíce odpovídá datům, s cílem dosažení přesnějšího porozumění gravitaci a roli temného sektoru v kosmologii.

ATLANTIK (T. Derrien)

Projekt ATLANTIC je zaměřen na rozvoj mezinárodní sítě pokročilého teoretického modelování v oblasti interakce laseru s hmotou. Tato síť přispěje k vývoji nových fyzikálních teorií propojením matematických modelů v rámci vytvořeného konsorcia vědeckých skupin, které jsou průkopníky těchto teorií. Tyto fyzikální modely podrobně řeší jevy v řádech attosekund až mikrosekund a velikosti v oblasti nanometrů až milimetrů a poskytují přesné predikce experimentálních dat, avšak nejednotným způsobem. Díky propojení daných vědeckých komunit bude možné řešit jevy, které doposud zůstávaly nevyjasněné a dosáhnout nad rámec současného stavu techniky.

PANOSC (A. Weber)

Projekt PaNOSC má za cíl standardizovat katalogy experimentálních dat a metadat a vytvořit federované služby pro vzdálený přístup, zpracování a analýzu dat z oblastí vědeckého výzkumu s využitím laserů a neutronů na základě FAIR principů. Data by měla být: vyhledatelná (Findable), přístupná (Accesible), kompatibilní (Interoperable) a znovuvyužitelná (Re-usable). Projektu se účastní 6 velkých evropských výzkumných center a dvě e-infrastruktury a je jedním z pilířů vývoje Evropského cloudu pro otevřenou vědu (European Open Science Cloud – EOSC).

AQUA3S (M. Pereira)

Evropský projekt H2020

aqua3S je projekt podpořený z evropského programu Horizon 2020, do kterého je zapojeno 23 partnerů ze základního výzkumu, aplikovaného výzkumu a průmyslu. Cílem projektu je návrh technických řešení pro zajištění kvality pitné vody a pro snížení rizik její nedostupnosti, například v důsledku narušení bezpečnosti vodovodní sítě. Projekt kombinuje nové technologie v oblasti bezpečnosti a ochrany vody s cílem standardizovat stávající technologie senzorů doplněné o nejmodernější detekční postupy a výstražné systémy. Navrhované technické řešení vytvoří velmi účinnou infrastrukturu, která minimalizuje náklady a maximalizuje návratnost do ní vložených investic.

SymACC (C. Skordis)

Prostřednictvím teorie a pozorování je dobře prokázáno, že vesmír ve své historii prochází zrychlenou expanzí. Toto zrychlená expanze probíhá ve dvou různých epochách. První z nich je časná epocha inflace a druhá je současná epocha nadvlády temné energie. Ačkoli metody obecné relativity, kterými jsou klasická teorie gravitace a kvantová teorie pole, která se zabývá interakcemi hmoty v kvantových měřítkách, vedly velkou část našeho chápání vesmíru, neumí plně vysvětlit tyto epochy zrychleného rozšiřování.

V tomto projektu je cílem identifikovat kosmologické stupně svobody, které mají klíčovou roli při inflaci a temné energii. Projekt navrhuje dosáhnout tohoto cíle pomocí moderních metod v holografii studiem ideálního případu časoprostoru, který umožňuje studovat zrychlenou expanzi. Projekt má za cíl: (i) identifikovat specifické deformace od ideálního případu, které vedou ke kosmologickým stupňům volnosti během inflace a tmavé energie odděleně; (ii) prozkoumat obecnost těchto deformací a jejich kosmologické důsledky metodami toků renormalizační skupiny; (iii) zabývat se deformacemi v kontextu vývoje závislého na čase a vývoje závislého na prostoru odděleně, aby se dále zlepšilo porozumění povaze kosmologických stupňů volnosti.

Tento interdisciplinární projekt navrhuje použít princip holografie z teorie strun, který může otevřít nový způsob studia kosmologických odchylek, zejména v kontextu temné energie. Zaměřením se na kosmologické kosmické časy se bude zabývat také platností holografie v nových prostředích.

UHDPulse (V. Olšovcová)

„FLASH“ radioterapie je slibný, nově vyvíjený způsob léčby rakoviny, který je významně šetrnější ke zdravým tkáním než konvenční radioterapie. Využívá možnosti téměř okamžité aplikace terapeutických dávek, a to prostřednictvím několika pulsů záření s extrémně vysokým dávkovým příkonem v pulsu. Také laserem řízené urychlovače částic, které jsou považovány za příští generaci urychlovačů pro radioterapii, produkují pulsy záření s extrémně vysokou dávkou v pulsu. Předtím, než bude možné začít využívat těchto typu svazků v klinické praxi, je nezbytné vyvinout vhodné metrologické metody pro přesné měření dávek v těchto specifických polích.

V rámci projektu UHDPulse bude vyvinuta metodika měření, včetně referenčních standardů, s návazností na jednotky SI a validované referenční metody pro měření dávky v polích s extrémně vysokým dávkovým příkonem v pulsu. Dále budou charakterizované vybrané detekční systémy a rozptýlené záření a vyvinuty metody pro relativní dozimetrii (se zajištěnou metrologickou návazností). Výsledky přispějí k vytvoření postupů správné praxe a budou prezentovány mezinárodním agenturám, organizacím zajišťujícím standardizaci, výrobcům a koncovým uživatelům. Hlavním cílem je zajištění aplikace správné terapeutické dávky onkologickým pacientům.

RI2 Integrate (A. Hála)

Hlavním cílem projektu RI2integrate je určit a využít ekonomický potenciál k rozvoji, který přináší výstavba a provoz excelentních výzkumných infrastruktur. Tyto infrastruktury mohou být katalyzátorem regionálního rozvoje, pokud jsou využity správné politické nástroje k jeho využití.

Hlavním výsledkem projektu je zlepšený přenos vědeckých výsledků do praxe a jejich přínos k ekonomickému a regionálnímu rozvoji celého regionu podle specifických potřeb, stejně jako posílení vazeb mezi jednotlivými sektory (výzkum X business X veřejná správa).

D-STIR (A. Hála)

Dlouhodobým cílem projektu je zlepšit rámec pro vědu, výzkum a inovace v celém regionu programu INTERREG Danube. Tohoto chceme dosáhnout zejména využitím konceptu společensky odpovědného přístupu ve vědě a inovacích.

Díky zavedení společensko-technického přístupu ve výzkumu – metodě STIR – je projekt D-STIR klíčový pro další rozvoj podmínek v sektoru VaVal a jeho kapacit stejně jako povědomí směrem k veřejnosti. Metoda zjišťuje a přispívá k tomu, aby činnosti výzkumu a inovací byly prováděny i v kontextu společenských, environmentálních a etických dopadů.

Metoda D-STIR je vysoce inovativní. Zavádí koncept RRI v rámci celého konsorcia v různých socio-ekonomických podmínkách. Metoda tak míří k dlouhodobému cíli – sektoru VaVal zaměřenému na vzájemné konkurenceschopnosti, spolupráci, ale i společenské odpovědnosti.





2.8 Spolupráce s vysokými školami v roce 2019

2.8.1 Spolupráce s VŠ na uskutečňování bakalářských, magisterských a doktorských studijních programů

Forma vědeckého vzdělávání

- Celkový počet doktorandů

| | |
|-----------------------------------|-----|
| Počet doktorandů k 31. 12. 2019: | 149 |
| Počet absolventů v roce 2019: | 21 |
| Počet nově přijatých v roce 2019: | 18 |

- Z toho zahraniční doktorandi

| | |
|-----------------------------------|----|
| Počet doktorandů k 31. 12. 2019: | 33 |
| Počet absolventů v roce 2019: | 8 |
| Počet nově přijatých v roce 2019: | 6 |

Forma výchovy studentů pregraduálního studia

Počet pregraduálních studentů podílejících se na vědecké činnosti ústavu: 63

Vědecké a vědecko-pedagogické hodnosti pracovníků ústavu

| | <i>vědecká hodnost nebo titul</i> | | <i>vědecko-pedagog. hodnost</i> | |
|----------------------------|-----------------------------------|-------------|---------------------------------|--------|
| | DrSc., DSc. | CSc., Ph.D. | profesor | docent |
| Počet k 31. 12. 2019 | 32 | 533 | 24 | 17 |
| z toho uděleno v roce 2019 | 1 | 17 | 1 | 1 |

2.8.2 Pedagogická činnost pracovníků ústavu

Zaměstnanci FZÚ přednášejí na více než deseti fakultách vysokých škol v rámci bakalářských, magisterských i doktorských programů. Obzvláště intenzivní je pedagogická činnost v Praze na MFF UK, FJFI ČVUT, FBMI ČVUT, FEL ČVUT, různých fakultách VŠCHT a na Přírodovědecké fakultě UP v Olomouci.

- Celkový počet odpřednášených hodin na VŠ v programech bakalářských/magisterských/doktorských

| | |
|--------------------------|-----------------|
| Letní semestr 2018/2019: | 1720/ 1074/ 223 |
| Zimní semestr 2018/2019: | 1983/ 1314/ 194 |

- Počet semestrálních cyklů přednášek/seminářů/cvičení v bakalářských programech

| | |
|--------------------------|------------|
| Letní semestr 2018/2019: | 66/ 21/ 50 |
| Zimní semestr 2018/2019: | 72/ 40/ 45 |

- Počet semestrálních cyklů přednášek/seminářů/cvičení v magisterských programech

| | |
|--------------------------|-------------|
| Letní semestr 2018/2019: | 136/ 15/ 23 |
| Zimní semestr 2018/2019: | 118/ 16/ 26 |

- Počet pracovníků ústavu působících na VŠ v programech bakalářských/magisterských/doktorských

| | |
|--------------------------|------------|
| Letní semestr 2018/2019: | 72/ 51/ 17 |
| Zimní semestr 2018/2019: | 68/ 48/ 17 |

2.8.3 Vzdělávání středoškolské mládeže

Vedení středoškolských studentů v rámci projektu Otevřená věda, účast při organizaci Mezinárodního turnaje mladých fyziků, vedení středoškolských maturitních prací na SPŠ sdělovací techniky, jednotlivé přednášky na gymnáziích v Praze aj.

- Počet odpřednášených hodin v roce 2018/ 2019 (2019/ 2020) 529 (694)
- Počet vedených prací (např. SOČ): 5 (2)
- Počet (spolu)organizovaných soutěží: 0 (3)

2.8.4 Spolupráce pracoviště s VŠ ve výzkumu

- Počet projektů řešených v r. 2019 společně s VŠ (grantové/programové)

| | |
|------------------------------|-------|
| Pracoviště AV příjemcem | 26/ 8 |
| Pracoviště AV spolupříjemcem | 23/ 3 |

2.8.5 Doktorandi a diplomanti, kteří vypracovali doktorskou či diplomovou práci ve Fyzikálním ústavu AV ČR a obhájili ji v roce 2019

Doktorandi

Ing. Tomáš Jakoubek

- Fakulta a škola: ČVUT, Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská
- Název práce: Vzácné rozpady částic obsahujících b-kvark
- Školitel (instituce): Václav Vrba (FZÚ)

Ing. Mária Čarná

- Fakulta a škola: ČVUT, Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská
- Název práce: Aplikační využití polovodičových detektorů
- Školitel (instituce): Václav Vrba (FZÚ)

MSc. Kay Condie Erb, Ph.D.

- Fakulta a škola: Matematicko-fyzikální fakulta, Univerzita Karlova

- Název práce: Algebraic Approaches to Elementary Excitations in Media with Broken Spatial or Time-reversal Symmetry
- Školitel (instituce): Ing. Jiří Hlinka, Ph.D. (Fyzikální ústav AV ČR, v. v. i.)

Ing. Jiří Kuchařík, Ph.D.

- Fakulta a škola: Matematicko-fyzikální fakulta, Univerzita Karlova
- Název práce: Charge transport in semiconductor nanostructures investigated by time resolved multi terahertz spectroscopy
- Školitel (instituce): Mgr. Hynek Němec, Ph.D. (Fyzikální ústav AV ČR, v. v. i.)

Ing. Petr Veřtát

- Fakulta a škola: Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská ČVUT v Praze
- Název práce: Martensitická transformace v Heuslerových slitinách
- Školitel (instituce): Oleg Heczko (Fyzikální ústav AV ČR, v.v.i.)
- Školitel specialista (instituce): Jan Drahekoupil (Fyzikální ústav AV ČR, v.v.i.)

Yuchen Chen

- Fakulta a škola: NUAA Nanjing
- Název práce: The origin of cyclic instability of NiTi dampers and actuators
- Školitel specialista (instituce): Petr Šittner

Mgr. Petra Matunová

- Fakulta a škola: FEL ČVUT
- Název práce: Study and simulation of molecular interactions on diamond surfaces
- Školitel (instituce): Bohuslav Rezek (FZU AVČR a FEL ČVUT)
- Školitel specialista (instituce): Vít Jirásek (FZU AVČR)

Daria Miliarieva

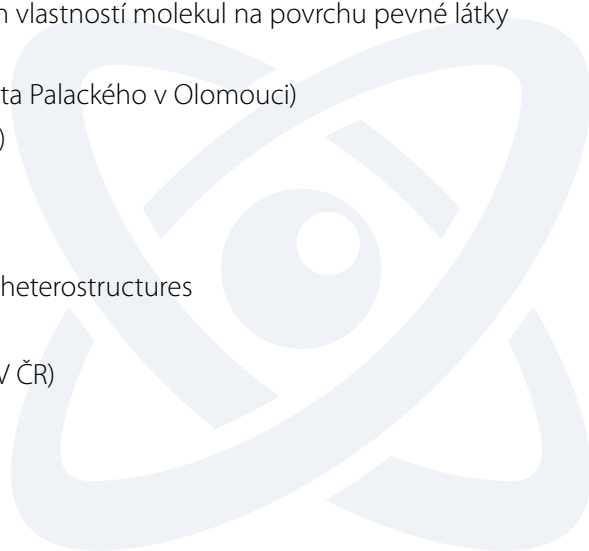
- Fakulta a škola: FEL ČVUT
- Název práce: Assembly and optoelectronic properties of nanodiamond dye composites
- Školitel (instituce): Bohuslav Rezek (FZU AVČR a FEL ČVUT)
- Školitel specialista (instituce): Věra Cimrová (UMCH AVČR)

Taras Chutora

- Fakulta a škola: Fakulta přírodovědecká, Univerzita Palackého v Olomouci
- Název práce: Studium transportních a mechanických vlastností molekul na povrchu pevné látky pomocí rastrovacích mikroskopů
- Školitel (instituce): prof. Miroslav Hrabovský (Univerzita Palackého v Olomouci)
- Školitel specialista (instituce): doc. Pavel Jelínek (FZU)

Ing. Tomáš Hubáček

- Fakulta a škola: TU-Liberec
- Název práce: The growth of InGaN/GaN scintillation heterostructures
- Školitel (instituce): E. Hulicius (FZU AV ČR)
- Školitel specialista (instituce): A. Hospodková (FZU AV ČR)



Ing. Tomáš Vaněk

- Fakulta a škola: TU-Liberec
- Název práce: Nitridové nanostruktury pro detektory
- Školitel (instituce): E. Hulicius (FZU AV ČR)
- Školitel specialista (instituce): A. Hospodková (FZU AV ČR)

Ing. František Hájek

- Fakulta a škola: FJFI - Praha
- Název práce: Luminescence properties of InGaN/GaN and InGaN/InGaN scintillation heterostructures
- Školitel (instituce): J. Oswald (FZU AV ČR)
- Školitel specialista (instituce): A. Hospodková (FZU AV ČR)

Ing. Václav Procházka

- Fakulta a škola: Fakulta elektrotechnická ČVUT v Praze
- Název práce: Vrstvy nanokrystalického diamantu pro senzorové aplikace
- Školitel (instituce): Dr. Pavel Kulha, Fakulta elektrotechnická ČVUT v Praze
- Školitel specialista (instituce): doc. Ing. Alexander Kromka, DrSc., FZU

Mgr. Yu-Ying Chang

- Fakulta a škola: FBMI ČVUT v Praze
- Název práce: The biofunctionalization of the nanostructured surfaces in nanomedicine
- Školitel (instituce): Dr. Z. Remeš, FBMI ČVUT v Praze
- Školitel specialista (instituce): doc. Ing. Alexander Kromka, DrSc., FZU

Mgr. Jakub Budil

- Fakulta a škola: Přírodovědecká fakulta UK
- Název práce: Interakce nanočástic a antibakteriálních látek s bakteriálním biofilmem: biofyzikální přístupy
- Školitel (instituce): Mgr. Petra Lišková, Ph.D.
- Školitel specialista (instituce): doc. Ing. Alexander Kromka, DrSc., FZU

Ing. Jan Trejbal, Ph.D.

- Fakulta a škola: Fakulta Stavební ČVUT v Praze
- Název práce: Plasma modifications of reinforcing fibers used in cement composite materials
- Školitel (instituce): doc. Ing. Vít Šmilauer, Ph.D., Fakulta Stavební ČVUT v Praze
- Školitel specialista (instituce): Ing. Štěpán Potocký, Ph.D., FZU

Ing. Kateřina Dragounová, Ph.D.

- Fakulta a škola: FJFI ČVUT v Praze
- Název práce: Optická spektroskopie příměsí a defektů v materiálech perspektivních pro optoelektronické aplikace
- Školitel (instituce): Ing. Zdeněk Potůček, Ph.D., FJFI ČVUT v Praze
- Školitel specialista (instituce): Ing. Štěpán Potocký, Ph.D., FZU

Ing. Josef Souček

- Fakulta a škola: FBMI ČVUT v Praze

- Název práce: Optimization of 3D diamond – neural functional interface
- Školitel (instituce): Mgr. Zdeněk Remeš, Ph.D. (FZU AVČR, v. v. i.)
- Školitel specialista (instituce): Prof. Miloš Nesládek (Hasselt University, Belgium)

Mgr. Jan Kulveit

- Fakulta a škola: MFF UK Praha
- Název práce: Nucleation in complex systems
- Školitel (instituce): Prof. RNDr. Pavel Demo, CSc. (FzU AVCR)

RNDr. Jaromír Tvrдый

- Fakulta a škola: PřF Masarykovy Univerzity v Brně
- Název práce: Revize minerálů beraunitové skupiny a jim příbuzných fosforečnanů
- Školitel (instituce): Doc.RNDr. Radek Škoda, Ph.D. (PřF MU Brno)
- Školitel specialista (instituce): Mgr. Jakub Plášil, Ph.D. (FZÚ AVČR, v. v. i.)

Mgr. Michal Roll

- Fakulta a škola: PřF UK v Praze
- Název práce: Využití alfa-spektroskopie pro stanovení radiogenního stáří vybraných supergenních minerálů
- Školitel (instituce): Mgr. Viktor Goliáš, Ph.D. (PřF MU Brno)
- Školitel specialista (instituce): Mgr. Jakub Plášil, Ph.D. (FZÚ AVČR, v. v. i.)

Mgr. Michal Zanáška, Ph.D.

- Fakulta a škola: MFF-UK Praha
- Název práce: Probe methods for diagnostics of plasmatic systems for deposition of thin films
- Školitel (instituce): prof. RNDr. Milan Tichý, DrSc.
- Školitel specialista (instituce): Mgr. Zdeněk Hubička, Ph.D.

Taras Chutora, Ph.D.

- Fakulta a škola: PřF UP v Olomouci
- Název práce: Studium molekulárních struktur na povrchu pevných látek
- Školitel (instituce): prof. RNDr. Miroslav Hrabovský, DrSc. (UP a FZÚ)

Martin Albrecht

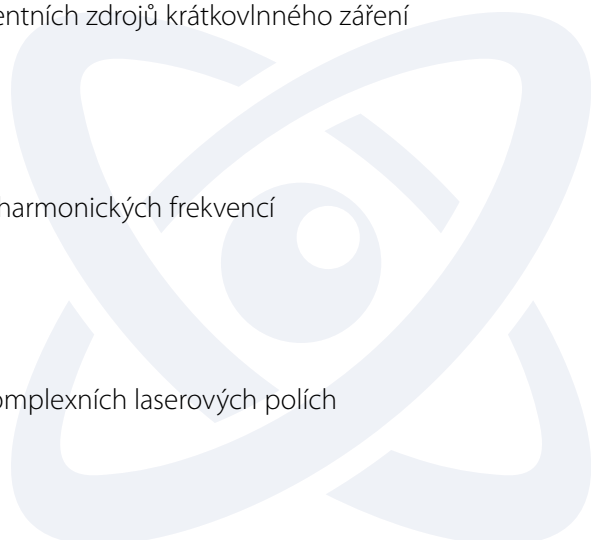
- Fakulta a škola: FJFI ČVUT
- Název práce: Aplikace laserem generovaných koherentních zdrojů krátkovlnného záření
- Školitel specialista (instituce): Jaroslav NejdI

Ondřej Fínke

- Fakulta a škola: FJFI ČVUT
- Název práce: Pokročilé terče pro generaci vysokých harmonických frekvencí
- Školitel (instituce): Jaroslav NejdI

Matej Jurkovič

- Fakulta a škola: FJFI ČVUT
- Název práce: Generace vysokých harmonických v komplexních laserových polích



- Školitel specialista (institute): Ondřej Hort

Jan Vábek

- Fakulta a škola: ČVUT/University Bordeaux
- Název práce: Multiscale approach to the description of high-harmonic generation in gases
- Školitel specialista (institute): Ondřej Hort

Ing. Sebastian Lorenz

- Fakulta a škola: ČVUT FJFI
- Název práce: Optimization of gas-targets for laser-driven electron acceleration
- Školitel specialista (institute): Gabriele Maria Grittani, ELI Beamlines

Alberto Pietrini

- Fakulta a škola: Uppsala University TekNat
- Název práce: Statistical processing of Flash X-ray Imaging of protein complexes
- Školitel (institute): Tomas Ekeberg
- Školitel specialista (institute): Janos Hajdu, ELI Beamlines

Hemanth Kumar Naraya Reddy

- Fakulta a škola: Uppsala University TekNat
- Název práce: Structural Studies of Large dsDNA Viruses using Single Particle Methods
- Školitel (institute): Martin Svenda
- Školitel specialista (institute): Janos Hajdu, ELI Beamlines

Kerstin Muhlig

- Fakulta a škola: Uppsala University TekNat
- Název práce: Aerosol sample injection and diagnostics for imaging experiments with X-ray lasers
- Školitel (institute): Janos Hajdu, ELI Beamlines

Mgr. Petra Čubáková

- Fakulta a škola: Jihočeská Univerzita Přírodovědecká Fakulta
- Název práce: Časově rozlišená Ramanovská spektroskopie (bio) molekul
- Školitel (institute): Miroslav Kloz, ELI Beamlines

Iuliia Baranova

- Fakulta a škola: MFF UK
- Název práce: Časově rozlišený rentgenový rozptyl a difrakční dynamika biomolekulárních struktur
- Školitel (institute): Borislav Angelov, ELI Beamlines

Tim Oelze

- Fakulta a škola: Technische Universität Berlin
- Název práce: Ultrafast electron dynamics in clusters studied with light field streaking technique
- Školitel (institute): Maria Krikunova, ELI Beamlines

Emily Erdman

- Fakulta a škola: Universita Karlova, Matematicko-fyzikální fakulta
- Název práce: Synchronisation of femtosecond pulses and coherent beam combining

- Školitel (instituce): Roman Antipenkov, ELI Beamlines

Alexandr Špaček

- Fakulta a škola: České vysoké učení technické, Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská
- Název práce: Nelineární jevy ve vysokovýkonových laserových systémech
- Školitel specialista (instituce): Jonathan Tyler Green, ELI Beamlines

Lukáš Indra

- Fakulta a škola: České vysoké učení technické, Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská
- Název práce: Generace a aplikace superkontinua pro vysokovýkonové laserové systémy
- Školitel specialista (instituce): Pavel Bakule, ELI Beamlines

Štěpán Vyhlička

- Fakulta a škola: Universita Karlova, Matematicko-fyzikální fakulta
- Název práce: Dispersion management of a 10 PW laser system
- Školitel (instituce): Bedřich Rus, ELI Beamlines

Zbyněk Hubka

- Fakulta a škola: České vysoké učení technické, Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská
- Název práce: Vlastnosti laserových zesilovačů ultrakrátkých pulsů
- Školitel specialista (instituce): Pavel Bakule, ELI Beamlines

Josef Cupal

- Fakulta a škola: České vysoké učení technické, Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská
- Název práce: Optické parametrické zesilovače a související systémy
- Školitel specialista (instituce): Roman Antipenkov, ELI Beamlines

Diplomanti

Ota Zaplatílek

- Fakulta a škola: ČVUT, Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská
- Název práce: Studium top kvarku v experimentu ATLAS
- Školitel (instituce): Marek Taševský (FZÚ)

Ing. Dalibor Repček

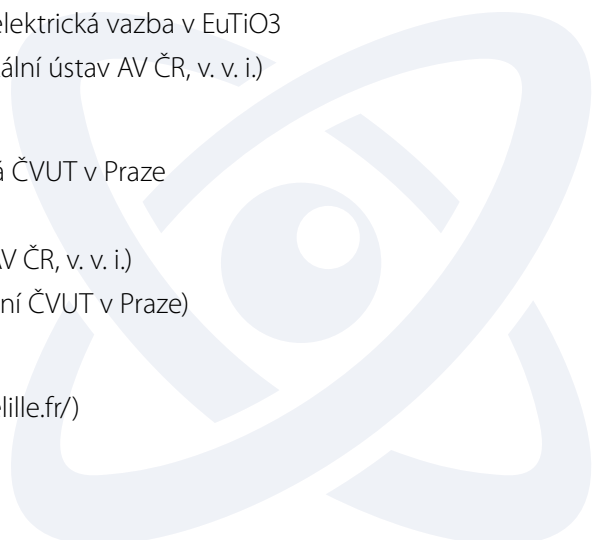
- Fakulta a škola: Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská, České vysoké učení technické
- Název práce: Morfický efekt a anizotropní magnetoelektrická vazba v EuTiO₃
- Školitel (instituce): RNDr. Stanislav Kamba, CSc. (Fyzikální ústav AV ČR, v. v. i.)

Miroslav Lebeda, Bc.

- Fakulta a škola: Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská ČVUT v Praze
- Název práce: Simulace iontové implantace
- Školitel (instituce): Jan Drahokoupil (Fyzikální ústav AV ČR, v. v. i.)
- Školitel specialista (instituce): Petr Vlčák (Fakulta strojní ČVUT v Praze)

Lucas Iwanikow

- Fakulta a škola: Centrale Lille, France (<https://centraledlille.fr/>)



- Název práce: Contribution to the study of epitaxial doped diamond layers and their characterizations
- Školitel (instituce): Prof. A. Talbi (Centrale Lille, France)
- Školitel specialista (instituce): Dr. V. Mortet (FZU)

Ing. Jakub Fibich

- Fakulta a škola: Technická univerzita v Liberci
- Název práce: Mechanické vlastnosti porézních grafenových struktur
- Školitel (instituce): prof. Ing. Petr Louda, CSc. (Technická univerzita v Liberci)
- Školitel specialista (instituce): Ing. J. Červenka, Ph.D. (Fyzikální ústav AV ČR, v. v. i.)

Ing. Lenka Marková

- Fakulta a škola: VŠCHT Praha, FCHI
- Název práce: Komplexní nanočástic se zlatými strukturami pro povrchově zesílenou Ramanovu spektroskopii
- Školitel (instituce): Doc. Pavel Řezanka, VŠCHT
- Školitel specialista (instituce): Dr. Ondřej Kaman, FzÚ

Ing. Tomáš Vrba

- Fakulta a škola: VŠCHT Praha, FCHI
- Název práce: Studium uvolňování biologicky aktivních látek z komplexních nanosystémů
- Školitel (instituce): Doc. Pavel Řezanka, VŠCHT
- Školitel specialista (instituce): Dr. Ondřej Kaman, FzÚ

Bc. Ondřej Sekyrka

- Fakulta a škola: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta biomedicínského inženýrství
- Název práce: Nový typ biokompatibilního pokrytí na bázi vápníkem dopovaného uhlíku
- Školitel (instituce): Miroslav Jelínek

Bc. Jana Kondratievová

- Fakulta a škola: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta biomedicínského inženýrství
- Název práce: Zlepšení vlastností DLC pokrytí implantátů při užití hybridní laserové technologie a dopace germaniem
- Školitel (instituce): Miroslav Jelínek

Bc. Filip Kallmünzer

- Fakulta a škola: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta biomedicínského inženýrství
- Název práce: Testování vlastností nanovrstev připravených hybridní laserovou deposicí
- Školitel (instituce): Jan Mikšovský

Bc. Adéla Nováková

- Fakulta a škola: Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská ČVUT
- Název práce: A new method of reducing corrosion of Zr fuel rods by coating them with a polycrystalline diamond layer, CrAlSiN alloy, and their combination
- Školitel (instituce): doc. Irena Kratochvílová
- obhájeno 13. 6. 2019 s vyznamenáním, cena děkana

Bc. Magdalena Lajčinová

- Fakulta a škola: Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská ČVUT
- Název práce: „Study of corrosion in nuclear reactor environment of Zr alloys surface coated with polycrystalline diamond layer and CrAlSiN alloy layer“
- Školitel (instituce): doc. Irena Kratochvílová
- obhájeno 13. 6. 2019 s vyznamenáním

Ing. Patricie Severová, Ph.D.

- Fakulta a škola: FJFI ČVUT v Praze
- Název práce: Optimalizace Yb:YAG tenkého disku pro vysokovýkonové zesilovače
- Školitel (instituce): Ing. Tomáš Mocek, Ph.D. (FZÚ)
- Školitel specialista (instituce): prof. Ing. Václav Kubeček, DrSc. (FJFI ČVUT v Praze)

Ing. Luděk Vyšín, Ph.D.

- Fakulta a škola: FJFI ČVUT v Praze
- Název práce: Vliv dávkového příkonu na radiační poškození biologických soustav hustě a řídicí ionizujícím zářením
- Školitel: Ing. Libor Juha, CSc. (FZÚ)
- Školitel specialista: Doc. Ing. Václav Čuba, Ph.D. (FJFI ČVUT v Praze)

Ing. Tomáš Burian, Ph.D.

- Fakulta a škola: MFF UK v Praze
- Název práce: Spektroskopické studium interakce fokusovaného svazku rentgenového laseru s hmotou
- Školitel: Ing. Libor Juha, CSc. (FZÚ)
- Školitel specialista: Doc. RNDr. Jan Wild, CSc. (MFF UK v Praze)

Eng. Valeria Istovskaia

- Fakulta a škola: Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská
- Název práce: Detection of radiation and energetic particles generated by petawatt lasers in plasmas
- Školitel (instituce): Jan Pšikal, PhD ELI Beamlines
- Školitel specialista (instituce): Lorenzo Giuffrida, PhD

Bonaventura Farace

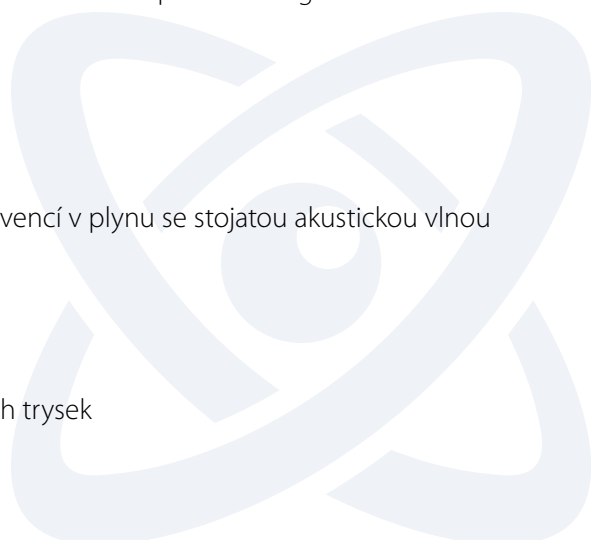
- Fakulta a škola: Politecnico Milano
- Název práce: Post-compression of high power femtosecond laser pulses for high-order harmonic generation
- Školitel (instituce): Jaroslav Nejd, ELI Beamlines

Ondřej Dvořáček

- Fakulta a škola: ČVUT FJFI
- Název práce: Generace vysokých harmonických frekvencí v plynu se stojatou akustickou vlnou
- Školitel (instituce): Jaroslav Nejd, ELI Beamlines

Samuel Šipikal

- Fakulta a škola: ČVUT FJFI
- Název práce: Interferometrická tomografie plynových trysek



- Školitel (instituce): Jaroslav Nejdí, ELI Beamlines

Štěpán Kadlec

- Fakulta a škola: ČVUT FJFI
- Název práce: Generace THz záření v laserovém plazmatu
- Školitel (instituce): Ondřej Hort, ELI Beamlines

Marcel Lamač

- Fakulta a škola: MFF UK
- Název práce: Laser-driven hard X-ray source for imaging applications
- Školitel (instituce): Jaroslav Nejdí, ELI Beamlines

Bc. Sebastian Lorenz

- Fakulta a škola: ČVUT FJFI
- Název práce: Charakterizace plynových terčů používaných pro urychlování elektronů laserem
- Školitel (instituce): Gabriele Maria Grittani, ELI Beamlines

Bc. Jiří Šišma

- Fakulta a škola: ČVUT FJFI
- Název práce: Studium plazmatického kanálu vytvořeného Besselovským svazkem femtosekundového laseru
- Školitel (instituce): Michal Nevrkla, ELI Beamlines

Bc. Ekaterina Eremenko

- Fakulta a škola: ČVUT FJFI
- Název práce: PIC simulace urychlování elektronů v brázdovém poli laseru ve vlnovodném režimu
- Školitel (instituce): Michal Nevrkla, ELI Beamlines

2.8.6 Společná pracoviště ústavu s účastí VŠ

Fyzikální stav velmi úzce spolupracuje s vysokými školami. Jednou z významných forem této spolupráce jsou společná pracoviště (laboratoře), která sdružují specialisty z různých institucí pro práci na společném výzkumném programu. FZÚ je členem těchto společných pracovišť:

Společná laboratoř optiky

Je pracovištěm Univerzity Palackého v Olomouci a Fyzikálního ústavu AV ČR v Praze. Byla založena již v roce 1979. Vědecké úsilí je soustředěno na kvantovou optiku, kde tzv. "Quantum Key Distribution" přineslo nové řešení dlouhodobého problému, jakým je bezpečné rozdělení tajného pořadí bitů mezi oprávněnými uživateli. Takové pořadí bitů, zvané klíč, může být využito pro zakódování zprávy s použitím jedné ze šifrovacích metod. Tyto základní přístupy jsou doplněny výzkumem jak holografie, optické a holografické interferometrie, laserové anemometrie a moiré, tak využití průmyslových laserů, ale i konstrukcí a opracováním optických prvků. Pro mezinárodní projekt „Observatoř Pierra Augera“, který je zaměřen na vysokoenergetické kosmické záření, byla ve spolupráci se Sekcí fyziky elementárních částic zhotovena část zrcadel pro fluorescenční teleskop.

Společná laboratoř nízkých teplot

Je pracovištěm Ústavu anorganické chemie AV ČR, Fyzikálního ústavu AV ČR, Matematicko-fyzikální fakulty Univerzity Karlovy a Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy. Výzkum je zaměřen na Mössbauerovu spektroskopii systémů obsahujících nanočástice sloučenin a slitin železa, magnetické a transportní vlastnosti supravodičů, studované pomocí vysoce citlivých magnetometrů typu „RF-SQUID“ a na kryogenní dynamiku tekutin, zejména proudění supratekutého ^4He a kvantovou turbulenci. Dlouhou tradici tzv. slabé supravodivosti dokládá obrázek prvního skvidového magnetometru vyvinutého ve střední Evropě v roce 1974 (v době informačního embarga) [M. Odehnal et al., Československý časopis pro fyziku A 24 356-363 (1974)]. Byl schopen detekce magnetických polí spojených s činností srdce a mozku.

Společná laboratoř pro magnetická studia

Společná laboratoř pro magnetická studia Fyzikálního ústavu AV ČR a Matematicko-fyzikální fakulty UK nabízí možnost studia pevných látek v kombinovaných extrémních podmínkách – v teplotním oboru 0,35-1000 K, magnetických polích do 14 T a za hydrostatického tlaku do 2 GPa. K dispozici je široké spektrum experimentálních metod (magnetizace, střídavá susceptibilita, elektrická a tepelná vodivost, tepelná kapacita, dilatometrie, termosíla, Ramanovská spektroskopie na magnetických materiálech aj.). Mezi studované materiály patří zejména silně anizotropní magnetika, magnetické nanočástice, tenké magnetické vrstvy, uhlíkové nanotuby, grafen, silně korelované a multiferoické systémy.

Badatelské centrum PALS

Bylo vytvořeno ve spolupráci s Ústavem fyziky plazmatu v roce 1998 jako uživatelská laboratoř založená na terawattovém Pražském Asterix Laserovém Systému (PALS), který byl původně vyvinut v MPQ v Garchingu ve SRN. Inovované zařízení reinstalované v nové laserové hale v Praze bylo zprovozněno v červnu 2000 a je využíváno ke studiu interakce laserového paprsku s hmotou, zvláště pro generaci horkého a hustého plazmatu. Důležitou novou součástí zařízení PALS je moderní dvojitá terčíková komora vybavená diagnostikou na současné světové úrovni. Od samého počátku poskytuje Centrum PALS část svého experimentálního času evropským badatelům v rámci programu Evropské unie „Access to Large Scale Facilities“.

Společná laboratoř optospintroniky

Společná laboratoř vznikla v roce 2011 jako výsledek spolupráce Oddělení spintroniky a nanoelektroniky FZÚ a Katedry chemické fyziky a optiky MFF UK v rámci předchozího Centra nanotechnologií a materiálů pro nanoelektroniku MŠMT. Výzkum je zaměřen na studium magnetooptických vlastností materiálů pro spintroniku a na studium spintronických nano-součástek s optickou generací a detekcí spinově-polarizovaných nosičů. Společná laboratoř je podporována z Advanced Grant of European Research Council 0MSPIN.

Centrum studia kovových materiálů s mikro- a nanokrystalickou strukturou

Společné pracoviště FZÚ, MFF UK, Praha a VŠCHT, Praha. Mikrokrystalické a nanokrystalické (mc/nc) materiály hrají klíčovou úlohu v budoucích technologiích, kde budou vystaveny zvýšenému působení napětí, teploty či tlaku. Základním předpokladem pro jejich úspěšné využití je inovativní a multidisciplinární výzkum zaměřený na vysvětlení chování těchto materiálů za extrémních podmínek. Smyslem centra je posunout hranice poznání mc/nc materiálů vývojem nových struktur na bázi kovových materiálů cílenou kontrolou v mikrostrukturním měřítku a jejich pokročilou charakterizací. Sdílením špičkových metod spolu s řadou klasických charakterizačních technik lze docílit průlomu potřebného pro budoucí aplikace. Centrum se zabývá intenzivní plastickou deformací obtížně tvařitelných slitin, práškovou metalurgií, uchováváním vodíku, in situ nanomechanickým testováním malých vzorků (např. mikro-, nanopilarů), vlastnostmi biodegradabilních slitin a stabilizací hranic zrn in situ nanočásticemi.

Společná laboratoř technologie polymerních nanovláken FZÚ AV ČR a FS ČVUT v Praze

Laboratoř byla založena v lednu 2013. Společný výzkum je zaměřen na využívání a rozvoj metod technologie polymerních vláken, které umožňují jejich povrchovou modifikaci nebo cílenou materiálovou transformaci (např. použitím plazmatických technik), studium mechanických, chemických a strukturních vlastností materiálů, které jsou zajímavé z hlediska fyziky, elektroniky a senzorky, biotechnologií (antibakteriálnost), s vysokým aplikačním potenciálem ve stavitelství a architektuře.

2.8.7 Akreditované programy

Fyzikální ústav AV ČR, v. v. i., je významným školícím pracovištěm pro celou řadu fyzikálních oborů. V rámci akreditovaných studijních programů ve spolupráci s vysokými školami jsou na pracovištích Fyzikálního ústavu školeni studenti doktorského (Ph.D.) a magisterského studia. V následující tabulce je uveden seznam akreditovaných oborů.

Akreditované studijní programy ve FZÚ

| <i>Dohoda s VŠ</i> | <i>Název programu</i> | <i>Název oboru</i> | <i>Platnost akreditace</i> |
|--------------------|-------------------------------|---|----------------------------|
| MFF UK Praha | Fyzika | Biofyzika, chemická a makromolekulární fyzika (A) | 31. 8. 2024 |
| MFF UK Praha | Fyzika | Fyzika kondenzovaných látek a materiálový výzkum | 31. 8. 2024 |
| MFF UK Praha | Fyzika | Fyzika plazmatu a ionizovaných prostředí | 31. 8. 2024 |
| MFF UK Praha | Fyzika | Fyzika povrchů a rozhraní | 31. 8. 2024 |
| MFF UK Praha | Fyzika | Teoretická fyzika, astronomie a astrofyzika | 31. 8. 2024 |
| MFF UK Praha | Fyzika | Kvantová optika a optoelektronika | 31. 8. 2024 |
| MFF UK Praha | Fyzika | Subjaderná fyzika | 31. 8. 2024 |
| MFF UK Praha | Fyzika | Fyzika nanostruktur (A) | 31. 8. 2024 |
| MFF UK Praha | Fyzika | Fyzika (A) | 31. 8. 2024 |
| MFF UK Praha | Fyzika | Částicová a jaderná fyzika (A) | 31. 8. 2024 |
| FEL ČVUT Praha | Elektrotechnika a informatika | Elektronika | 31. 12. 2019 |
| FEL ČVUT Praha | Elektrotechnika a informatika | Elektrotechnologie a materiály | 31. 12. 2019 |
| FEL ČVUT Praha | Elektrotechnika a informatika | Fyzika plazmatu | 31. 12. 2019 |
| FJFI ČVUT Praha | Aplikace přírodních věd | Fyzikální inženýrství | 31. 7. 2023 |
| FCHI VŠCHT Praha | Fyzika, Chemie | Molekulární chemická fyzika a sensorika (A) | 28. 11. 2029 |



2.9 Popularizace, konference, hosté, dohody

2.9.1 Nejvýznamnější popularizační aktivity pracoviště

Dny otevřených dveří (14. – 16. 11. 2019) a Týden vědy a techniky (11. – 17. 2019)

Fyzikální ústav Akademie věd ČR uvítal během listopadových Dnů otevřených dveří přes 1100 návštěvníků, kteří zavítali na čtyři pracoviště ústavu – na Slovance, v Cukrovarnické ulici a laserová centra HiLASE a ELI Beamlines v Dolních Břežanech. Účastníci měli možnost se na dnech otevřených dveří zúčastnit bohatého programu a navštívit laboratoře a přednášky zaměřené na nejrůznější témata fyzikálního výzkumu.

Dny otevřených dveří bývají kromě exkurzí a přednášek tradičně doplněny i doprovodnými aktivitami – například workshopem elektronové mikroskopie pro učitele základních a středních škol, fyzikální pokusy pro nejmenší, představení našeho výzkumu pomocí virtuálních prohlídek, či historická exkurze do areálu v Cukrovarnické.

V rámci Týdne vědy a techniky zajistil Fyzikální ústav kromě Dnů otevřených dveří také program „Poznej světlo“ v hlavní budově na Národní v úterý 12. 11. V rámci něj mohli návštěvníci zjistit, jak vypadá spektrum různých zdrojů světla, jak se vyrábí a používá fotovoltaický panel, či co je UV záření, jak je využitelné a jak se před ním chránit. Součástí programu TVT byla také účast dr. Fejfara v panelové diskuzi „Energie pro budoucnost“ a přednáška dr. Matese „Efektivní zpracování odpadu pomocí plazmatu“.

Veletrh vědy (6. – 8. 6. 2019)

Veletrh vědy je každoroční akcí pořádanou SSČ AV ČR, které se pravidelně účastníme. Fyzikální ústav se mohl v tomto roce pochlubit největším stánkem s více než 20 stanovišti na téma „Vydejte se s námi na cestu kolem svět(l)a – aneb poznejte světlo ve všech jeho podobách“ o celkové ploše přes 250 m².

V průběhu Veletrhu jej navštívilo několik tisíc návštěvníků, kteří s námi prošli celým světem světla: od tajemného neviditelného UV záření, které je dobrý sluha, ale zlý pán, až po nejintenzivnější laserové paprsky, které ukazují svou sílu v průmyslu i v tom nejpokročilejším výzkumu. Zjistili, že ani „běžné domácí“ světlo není tak úplně obyčejné a na vlastní oči si vyzkoušeli rozdíl mezi různými světelnými zdroji.

Celou expozicí se prolínalo téma udržitelnosti – aneb jak věda pomáhá při vývoji účinnějších solárních panelů, nových materiálů a světelných zdrojů či odolnějších povrchů. V laserovém bludišti se dětští návštěvníci mohli cítit jako agenti MI6 a zkusili si i pozici „strojvedoucího“ solárního (mini)vlaku. Představena byla nová mlžná komora českého výrobce, která byla pořízena z projektu Zkvalitnění strategického řízení FZU (HR Award). Mlžná komora upoutala jedinečným pohledem na základní částice našeho světa – protony, elektrony či miony a návštěvníci si vyzkoušeli, jaké to je být v detektorové hale CERNu. V neposlední řadě zažili efektní fyzikální pokusy s běžnými domácími potřebami a zabrousili i do biofyziky – aneb k čemu všemu se hodí plazma třeba u veterináře, ale i vašeho lékaře.

Za FZU se do přípravy a průběhu Veletrhu zapojilo přes 80 pracovníků.

Talentová akademie

Zkušenosti pracovníků Akademie věd a českých univerzit daly vzniknout laserovým centrům ELI Beamlines a HiLASE – největší vědecké investici v historii naší země. Být na světové špičce však znamená hledat ty, kdo nám pomohou se tam udržet. Již třetím rokem proto pokračujeme v pořádání úspěšné Talentové akademie pro nadané středoškoláky se zájmem o vědu a zápalem naplno se pustit do této jen málo probádané oblasti fyziky. Zájemci o účast museli již v červenci vyplnit dotazník sestávající z otázek fyzikálního i obecného charakteru, zaměřený na jejich porozumění a schopnost hledání řešení. Dvanáct vybraných studentů se zúčastnilo víkendového finále přímo v laboratořích laserových center, kde si vyzkoušeli reálnou práci vědců. Studenti museli intenzivní formou získat nové informace a ihned je převádět do praxe. Výsledky komplexního projektu pak týmově obhájit před komisí a kriticky posoudit slabé stránky. Studenti nakonec získali nejen certifikát o absolvování Talentové akademie, ale byla jim i nabídnuta spolupráce na popularizačních aktivitách Fyzikálního ústavu, účast ve vzdělávacích programech a spolupráce při studiu. Pět účastníků Talentové akademie z roku 2018 navíc absolvovalo v průběhu léta 2019 týdenní stáže na laserových centrech.

Mezinárodní den světla (16. 5.)

16. května 1960 americký fyzik a inženýr Theodore Maiman úspěšně spustil vůbec první laserový systém na světě. V roce 2019 byl tento den organizací UNESCO ustanoven jako Mezinárodní den světla. Akce se slaví napříč všemi kontinenty. V laserových centrech ELI Beamlines a Hilase Centre byl při této příležitosti uspořádán mimořádný den otevřených dveří s komentovanými prohlídkami a doprovodným programem, který navštívilo několik set účastníků.

Festival vědy (4. 9.)

Potřetí jsme se zúčastnili Festivalu vědy, venkovní popularizační akce, která probíhá začátkem školního roku na pražském Vítězném náměstí a může se pyšnit více než 17 000 návštěvníky. V roce 2019 FZU poprvé zvolil novou koncepci svého stánku, který jednak plošně rozšířil, především ale zaměřil zcela na jednu konkrétní vědeckou sekci (Sekci fyziky elementárních částic). Návštěvníci tak měli možnost se podrobně seznámit s daným vědním odvětvím, např. prostřednictvím mlžné komory, českým výzkumem v této oblasti, a důkladně si pohovořit s několika přítomnými odborníky. Ústav jako celek a další vědní sekce byly rovněž popularizovány přítomnými PR pracovníky a informačními materiály.

Zažít město jinak (21. 9.)

Pracoviště FZU v Cukrovarnické ulici se nově připojilo k festivalu Zažít město jinak, který každoročně organizuje spolek AutoMat. Cílem akce je umožnit setkávání obyvatel Prahy a oživit veřejný prostor. Fyzikální ústav úzce spolupracoval s lokálními organizátory na přípravě akce, předvedl pokusy a demonstrační pomůcky přímo ve veřejném prostoru Cukrovarnické ulice a částečně zpřístupnil všem zájemcům z řad veřejnosti i své prostory v rámci historické prohlídky areálu a sportovních událostí. Ve večerních hodinách proběhlo i promítání předrevolučního snímku Fyzikové v roce 2, který s humorem představuje strasti vědeckého života a byl natáčen v areálu FZU.

Noc vědců (27. 9.)

Noc vědců je celoevropskou akcí, která představuje vědecká pracoviště široké veřejnosti v nevšední atmosféře nočních a večerních hodin. Branami našich pracovišť prošlo během Noci vědců přes 700 návštěvníků, kteří se seznámili se špičkami současného fyzikálního výzkumu v České republice a měli příležitost na vlastní oči vidět moderní laboratoře a výzkumná pracoviště. Škála programů byla široká, od běžných přednášek a exkurzí po specializované programy pro studenty fyziky se zájmem o vědeckou kariéru či „science videomapping“. Noc

vědci je v ČR známá a zaběhlá akce, jednalo se již o patnáctý ročník, tentokrát s tématem „Šetrně k planetě“. Fyzikální ústav se akce zúčastnil již potřetí, jako jeden z mála ústavů Akademie věd.

Učitelé & Vědci

V březnu 2019 a poté v každém měsíci vyjma letních prázdnin proběhla nová akce Učitelé & Vědci, určená pro pedagogickou veřejnost. Menší skupina učitelů zde má možnost diskutovat v neformální atmosféře s erudovanými odborníky v oblasti fyziky o tématech, která návštěvníci sami předem vznášejí. Odborníci jsou vědeckými pracovníky FZU, ÚJF AV ČR (do budoucna i dalších relevantních ústavů Akademie věd) nebo MFF UK (především v případě didaktických témat). Každého setkání se účastnilo mezi 5 a 15 návštěvníky.

Příležitostné popularizační přednášky a besedy

V průběhu roku 2019 proběhlo několik besed a popularizačních seminářů o projektech ELI Beamlines a HiLASE, četné přednášky na hvězdárnách a školách o astronomických jevech, o aktuálních tématech z fyziky a o aktuálních problémech, řešených na FZU, vystoupení na tuzemských i zahraničních vysokých školách s prezentací evropských projektů ELI, HiLASE, o účasti FZU v mnoha mezinárodních projektech a spolupracích (CERN, Fermilab, Observatoř Pierra Augera, CTA, a další). Významným bylo např. vystoupení dr. Iva Svejkovského na Science Café v Českém centru v New Yorku.

Exkurze studentů středních a vysokých škol

probíhaly ve FZU na základě individuální dohody v průběhu celého roku 2019; tímto způsobem FZU navštívilo více než několik set studentů.

Rozhovory pro rozhlasové a televizní vysílání

Pracovníci FZU poskytli několik desítek rozhovorů a zúčastnili se vystoupení v pořadech veřejnoprávních i komerčních rozhlasových a televizních stanic a online médiích (Česká televize, Frekvence 1, novinky.cz, aj.).

Popularizační články v denním tisku, časopisech a na internetových zpravodajských portálech

Pracovníci FZU publikovali či poskytli podklady pro několik stovek příspěvků, např. „Česká věda má dnes další profesory Holé“ (MF Dnes), „Fyzika pevných látek na vzestupu“ (21. století), „Novičok mají zkrátit nanodiamanty z Česka“ (Metro), „Češi našli způsob, jak rozložit novičok“ (Deník N), „Největší výzvy dnes leží ve vesmíru“ (Týden), „Musíte být blázen“ (Respekt) nebo „Nová česká sloučenina by mohla lépe rozložit bojové chemické látky. Například novičok“ (novinky.cz), „Praha bude mít za dva roky centrum pro špičkovou fyziku“ (tyden.cz), „Česká firma vymyslela unikátní způsob, jak zvýšit výkonnost LED světel. Patentovat si ho chce i v USA a Japonsku“ (ihned.cz).

Československý časopis pro fyziku

Fyzikální ústav zajišťuje práci redakce (vedoucí, výkonný a technický redaktori a sekretariát redakce fungují v rámci FZU), časté jsou též příspěvky autorů z FZU v jednotlivých číslech. Časopis přináší původní i přeložené referativní články, aktuality, zprávy a recenze knih. Uveřejňuje diskuse o filozofických aspektech fyziky, vědní politice a články z historie fyziky (6 čísel ročně).

Jemná mechanika a optika

Fyzikální ústav zajišťuje práci redakce, četné jsou též příspěvky autorů v jednotlivých číslech, časopis je určen pro informování široké obce zájemců o současných problémech z oborů optiky a jemné mechaniky, včetně interdisciplinárních témat (8 čísel + 2 dvojčísla ročně).

Další akce

Badatelé z FZU se podíleli též na prezentaci FZU na několika tematických akcích a veletrzích v ČR i zahraničí. FZU byl představen například na Dni firem pro fyziku studentům MFF UK a Ulov mě na jaderce na FJFI ČVUT. Na našem ústavu také probíhají stáže projektu Otevřená věda, kterých se v roce 2019 zúčastnilo celkem 20 středoškolských studentů.

2.9.2 Akce s mezinárodní účastí, které pracoviště organizovalo nebo v nich vystupovalo jako spoluorganizátor

■ 1 PIEZO 2019 „Electroceramics for End Users X“

- Datum: 27.– 30.1.2019
- Místo: Špindlerův Mlýn
- Hlavní pořadatel: Fyzikální ústav AV ČR, v. v. i.
- Počet účastníků: 70 z toho ze zahraničí: 40
- Internetové stránky: <http://www.piezo2019.org/>
- Kontaktní osoba: Alexandr Dejneka, +420266052141, dejneka@fzu.cz

■ 2 Kolokvium k CP narušení v neutrinové fyzice

- Datum: 24. – 25. 10. 2019
- Místo: Ústav fyzikální chemie Jaroslava Heyrovského
- Hlavní pořadatel: Fyzikální ústav AV ČR, v. v. i.
- Spoluorganizátoři: Karlova universita
- Počet účastníků: 65 z toho ze zahraničí: 20
- Významná prezentace: Anatael Cabrera: LiquidO
- Internetové stránky: <https://indico.cern.ch/event/802062/overview>
- Kontaktní osoba: M. Lokajíček

■ 3 SPIE konference o poškození optiky a opracování materiálů EUV/rtg. zářením (XDam7)

- Datum: 1. – 3. dubna 2019
- Místo: Clarion Congress Hotel Prague
- Hlavní pořadatel: SPIE Europe
- Počet účastníků: 32 z toho ze zahraničí: 27
- Významná prezentace: J. A. Lolley, S. A. Wilson, G. J. Tallents: Modelling extreme ultraviolet ablation interactions (Invited Paper)
- Internetové stránky: <https://spie.org/EOO/conferencedetails/xdam8>
- Kontaktní osoba: Ing. Libor Juha, CSc.; chair of the conference

■ 4 Hranice kvantové a mezoskopické termodynamiky – 2019

- Datum: 14. – 20. 7. 2019
- Místo: Praha

- Hlavní pořadatel: Fyzikální ústav AV ČR, v. v. i. (odd. 14)
- Spolupořadatelé: Výbor pro vzdělávání, vědu, kulturu, lidská práva a petice Senátu Parlamentu ČR
- Počet účastníků: 222 z toho ze zahraničí: 206
- Významná prezentace: J. J. Mareš, P. Hubík, V. Špička: Possible role of extracellular tissue in biological neural networks.
- Internetové stránky: fqmt.fzu.cz/19
- Kontaktní osoba: RNDr. V. Špička CSc.

■ 5 57. Evropské setkání komunity výzkumu ve vysokých tlacích o vědě a technologii vysokých tlaků

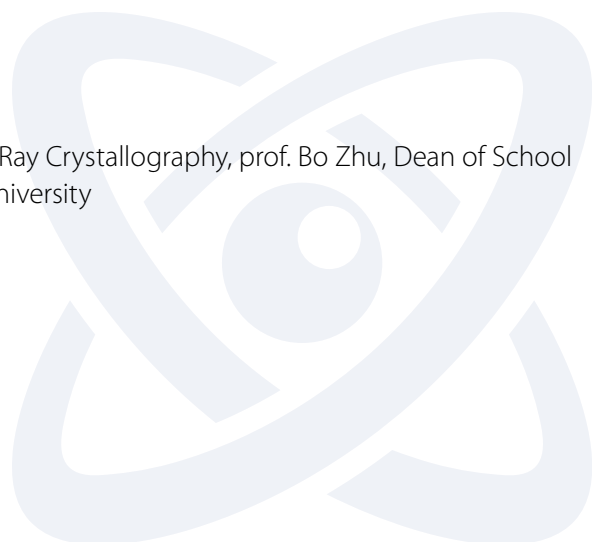
- Datum: 1. – 6. 9. 2019
- Místo: Praha, Hotel Duo
- Hlavní pořadatel: Fyzikální ústav AV ČR, v. v. i. & MFF UK
- Počet účastníků: 269 z toho ze zahraničí: 247
- Významná prezentace: Mikhail Eremets : Problems of metallic hydrogen and room temperature superconductivity
- Internetové stránky: <https://ehprg2019.org/>
- Kontaktní osoba: M. Míšek (FZU, Program committee chair)

■ 6 Workshop o antiferomagnetické spintronice: od topologie po neuromorfni počítání

- Datum: 7. – 10. 10. 2019
- Místo: Mainz, Německo
- Hlavní pořadatel: Jairo Sinova (FZU a University of Mainz, Germany), Tomas Jungwirth (FZU a University of Nottingham, UK), Hideo Ohno (Tohoku University, Sendai Japan), Shunsuke Fukami (Tohoku University, Sendai Japan)
- Počet účastníků: 80 z toho ze zahraničí: 80
- Významná prezentace: Tomáš Jungwirth – úvodní přednáška, Libor Šmejkal, Kamil Olejník, Xavi Marti, Joerg Wunderlich, Helena Reichlová, pozvané přednášky
- Internetové stránky: <https://www.spice.uni-mainz.de/afm-2019-home/>
- Kontaktní osoba: Tomáš Jungwirth

■ 7 Workshop práškové difrakce

- Datum: 7. – 12. 1. 2019
- Místo: Shanghai, CN
- Hlavní pořadatel: The 8th Shanghai Workshop on X-Ray Crystallography, prof. Bo Zhu, Dean of School of Materials Science and Engineering of Shanghai University
- Spolupořadatelé: Fyzikální ústav AV ČR, v. v. i.
- Počet účastníků: 40 z toho ze zahraničí: 40
- Kontaktní osoba: Dr. Jan Rohlíček



■ 8 Jana2006 – základní workshop

- Datum: 11. – 13. 3. 2019
- Místo: Jena, DE
- Hlavní pořadatel: Friedrich-Schiller Universität, Jena
- Spolupořadatelé: Fyzikální ústav AV ČR, v. v. i.
- Počet účastníků: 20 z toho ze zahraničí: 20
- Kontaktní osoba: Dr. Jakub Plášil

■ 9 5. škola pro určení krystalové struktury krystalů z difrakčních dat: aplikace na prášková data

- Datum: 22. – 24. 3. 2019
- Místo: Yasmine Hammamet, TN
- Hlavní pořadatel: Prof. Rached Ben Hassen, universita Tunis
- Spolupořadatelé: Fyzikální ústav AV ČR, v. v. i.
- Počet účastníků: 50 z toho ze zahraničí: 50
- Internetové stránky: <http://www.issbat.rnu.tn/seminaire/second%20circular.pdf>
- Kontaktní osoba: Dr. Jan Rohlíček

■ 10 Magnetická krystalografie

- Datum: 31. 5. – 9. 6. 2019
- Místo: Erice Sicílie
- Hlavní pořadatel: International School of Crystallography
- Spolupořadatelé: Fyzikální ústav AV ČR, v. v. i.
- Počet účastníků: 57 z toho ze zahraničí: 57
- Internetové stránky: https://crystalrice.org/2019/programme_mc.php
- Kontaktní osoba: Dr. Václav Petříček

■ 11 36. Ad hoc workshop Jana2006

- Datum: 20. – 21. 6. 2019
- Místo: Praha
- Hlavní pořadatel: Fyzikální ústav AV ČR, v. v. i.
- Spolupořadatelé: Spolupořadatelé – anglicky:
- Počet účastníků: 8 z toho ze zahraničí: 7
- Internetové stránky: <http://jana.fzu.cz/w036.html>
- Kontaktní osoba: Dr. Michal Dušek

■ 12 Jana2006 – základní workshop

- Datum: 9. – 10. 9. 2019
- Místo: Praha
- Hlavní pořadatel: 9th European Conference on Mineralogy and Spectroscopy

- Spolupořadatelé: Fyzikální ústav AV ČR, v. v. i.
- Počet účastníků: 0 z toho ze zahraničí: 0
- Internetové stránky: <https://www.ecms2019.eu/workshops-information>
- Kontaktní osoba: Dr. Jakub Plášil

■ 13 Workshop GIAN: řešení, upřesnění a interpretace komplikovaných anorganických struktur programem Jana2006

- Datum: 18. – 22. 2. 2019
- Místo: IIT Kharagpur, Indie
- Hlavní pořadatel: Partha Pratim Jana, Department of Chemistry, IIT
- Spolupořadatelé: Fyzikální ústav AV ČR, v. v. i.
- Počet účastníků: 14 z toho ze zahraničí: 14
- Kontaktní osoba: Dr. Lukáš Palatinus

■ 14 Workshop o symetrii a superprostorovému přístupu k modulovaným krystalickým strukturám

- Datum: 23. – 24. 10. 2019
- Místo: Oak Ridge, USA
- Hlavní pořadatel: Oak Ridge National Laboratory
- Spolupořadatelé: Fyzikální ústav AV ČR, v. v. i.
- Počet účastníků: 48 z toho ze zahraničí: 48
- Internetové stránky: <https://conference.sns.gov/event/182/>
- Kontaktní osoba: Dr. Václav Petříček

■ 15 Workshop o metodách práškové difrakce

- Datum: 14. – 18. 10. 2019
- Místo: Dresden, DE
- Spolupořadatelé: Fyzikální ústav AV ČR, v. v. i.
- Počet účastníků: 35 z toho ze zahraničí: 35
- Internetové stránky: <https://www.cpfs.mpg.de/3129473/workshop-on-powder-diffraction-methods.html>
- Kontaktní osoba: Dr. Jan Rohlíček

■ 16 37. Ad hoc workshop Jana2006

- Datum: 14. – 15. 11. 2019
- Místo: Praha
- Hlavní pořadatel: Fyzikální ústav AV ČR, v. v. i.
- Počet účastníků: 20 z toho ze zahraničí: 18
- Internetové stránky: <http://jana.fzu.cz/w037.html>
- Kontaktní osoba: Michal Dušek



17 38. Ad hoc workshop Jana2006

- Datum: 2. – 3. 12. 2019
- Místo: Praha
- Hlavní pořadatel: Fyzikální ústav AV ČR, v. v. i.
- Počet účastníků: 21 z toho ze zahraničí: 19
- Internetové stránky: <http://jana.fzu.cz/w038.html>
- Kontaktní osoba: Lukáš Palatinus

18 4. mezinárodní škola aperiodických krystalů

- Datum: 8. – 14. 9. 2019
- Místo: Normandie Port-Bail sur Mer
- Hlavní pořadatel: Laboratoire CRISMAT ENSICAEN
- Spolupořadatelé: Fyzikální ústav AV ČR, v. v. i.
- Počet účastníků: 35 z toho ze zahraničí: 35
- Internetové stránky: <https://isac4.sciencesconf.org/>
- Kontaktní osoba: Dr. Michal Dušek, Dr. Václav Petříček

19 Letní škola SFB 1143

- Datum: 22. – 23. 8. 2019
- Místo: Kloster Nimbschen Germany
- Hlavní pořadatel: Technical University of Dresden
- Spolupořadatelé: Fyzikální ústav AV ČR, v. v. i.
- Počet účastníků: 35 z toho ze zahraničí: 35
- Internetové stránky: <https://tu-dresden.de/mn/physik/sfb1143/graduierntenkolleg/tut/sommerschule-2019>

20 Molekulové systémy

- Datum: 29. 11. 2019
- Místo: FzÚ, pracoviště Cukrovarnická
- Hlavní pořadatel: Dr. Kaman, Doc. Jelínek, FzÚ, jednodenní workshop cílený na komplexní pohled na molekulové systémy – syntéza&technologie, charakterizace, magnetismus
- Počet účastníků: 10 z toho ze zahraničí: 1
- Významná prezentace: (invited speaker – Dr. R. Zairov, Abruzov Inst. of Organic and Physical Chemistry, Rus.Acad.Sci.)
- Kontaktní osoba: O. Kaman

21 Experimental campaign on high-energy laser-plasma interaction

- Hlavní pořadatel: LFRC in Mianyang, China
- Spolupořadatelé: ELI Beamlines
- Počet účastníků: 0 z toho ze zahraničí: 0
- Kontaktní osoba: Stefan Weber

■ 22 The 3rd International Conference on Extreme Light

- Datum: 21. – 25 October 2019
- Místo: ELI Beamlines
- Počet účastníků: 120 z toho ze zahraničí: 70
- Internetové stránky: <https://indico.eli-beams.eu/event/334/>
- Kontaktní osoba: Romana Kočová

■ 23 P3 User Meeting

- Datum: 5 April 2019
- Místo: ELI Beamlines
- Počet účastníků: 35 z toho ze zahraničí: 15
- Internetové stránky: <https://indico.eli-beams.eu/event/330/>
- Kontaktní osoba: Stefan Weber

■ 24 ELISS 2019

- Datum: 25-30 August 2019
- Místo: ELI Beamlines
- Počet účastníků: 85 z toho ze zahraničí: 65
- Internetové stránky: <https://indico.eli-beams.eu/event/329/>
- Kontaktní osoba: Michael Vich

■ 25 Elimaia: Laser Driven Acceleration Anapplications

- Datum: 24. – 25 October 2019
- Místo: ELI Beamlines
- Počet účastníků: 52 z toho ze zahraničí: 41
- Internetové stránky: http://indico.eli-beams.eu/e/ELIMAIA_UserWorkshop2019
- Kontaktní osoba: Daniele Margarone

■ 26 Multimessengers@Prague

- Datum: 4. – 7. 12. 2019
- Místo: Hotel Expo, Praha, Česká republika
- Hlavní pořadatel: Fyzikální ústav AV ČR, v. v. i.
- Počet účastníků: 49 z toho ze zahraničí: 21
- Internetové stránky: <https://multimessengers-prague.fzu.cz/>
- Kontaktní osoba: Federico Urban, Ph.D.

■ 27 27. mezinárodní konference o pokročilých laserových technologiích (ALT'19)

- Datum: 15. – 20. 9. 2019
- Místo: hotel Olšanka, Praha
- Hlavní pořadatel: Centrum HiLASE, Fyzikální ústav



- Spolupořadatelé: Prokhorov General Physics Institute of the Russian Academy of Sciences (Rusko), CZECH-IN s.r.o. (ČR)
- Počet účastníků: 260 z toho ze zahraničí: 220
- Internetové stránky: <http://altconference.org/program-alt19>
- Kontaktní osoba: Tomáš Mocek, mocek@fzu.cz

■ 28 Prague Laser SpaceApps workshop 2019

- Datum: 25. – 26. 9. 2019
- Místo: Centrum HiLASE, Dolní Břežany
- Hlavní pořadatel: Institut politologických studií, Fakulta sociálních věd, Univerzita Karlova
- Spolupořadatelé: Centrum HiLASE (ČR), Breakthrough Initiative (USA)
- Počet účastníků: 40 z toho ze zahraničí: 20
- Významná prezentace: Light-sailing, prof. Phil Lubin, Univ. of California, Santa Barbara
- Kontaktní osoba: Tomáš Mocek, mocek@fzu.cz

■ 29 XI. Mezinárodní seminář o jevu magnetické tvarové paměti

- Datum: 21. – 22. 11. 2019
- Místo: Ostré u Úštěka
- Hlavní pořadatel: Odd. Magnetických měření a materiálů
- Počet účastníků: 20 z toho ze zahraničí: 4
- Významná prezentace: K. Lunster – Martensitic Transformation in Epitaxial Films
- Kontaktní osoba: Oleg Heczko, Dr.

■ 30 ABINIT Prague 2019- Mezinárodní škola ab-initio výpočtů zaměřená na vlastnosti základního stavu, lineární odezvy a dynamiky krystalických pevných látek

- Datum: 2. – 6. 9. 2019
- Místo: Praha
- Hlavní pořadatel: Fyzikální ústav AV ČR, v. v. i.
- Spolupořadatelé: Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská, České vysoké učení technické; Univerzita v Liège (Belgie)
- Počet účastníků: 48 z toho ze zahraničí: 48
- Významná prezentace: Prof. X. Gonze, Density-functional Perturbation Theory
- Internetové stránky: <http://palata.fzu.cz/abinitschool/>
- Kontaktní osoba: Ing. Jiří Hlinka, Ph.D.

■ 31 TOPO 2019

- Datum: 16. – 20. 6. 2019
- Místo: Praha, Průhonice
- Hlavní pořadatel: Česká fyzikální společnost, sekce Jednoty českých matematiků a fyziků
- Spolupořadatelé: Fyzikální ústav AV ČR, v. v. i.

- Počet účastníků: 84 z toho ze zahraničí: 56
- Významná prezentace: Prof. M. Klaui: Topological dynamics – ultrafast spin manipulation for novel memory and thermal diffusion for unconventional logic devices
- Internetové stránky: <http://palata.fzu.cz/topo2019/>
- Kontaktní osoba: Ing. Jiří Hlinka, Ph.D.

2.9.3 Nejvýznamnější zahraniční vědci, kteří navštívili pracoviště

- Dr. Federico Sánchez, Instituto de Tecnologías en Detección y Astropartículas, Argentina, špičkový odborník na vývoj detektorů kosmického záření
- Dr. Wolfgang Wild, CTA Observatory, generální projektový manažer observatoře CTA
- Dr. Markus Gaug, CTA Observatory, špičkový odborník na atmosférický monitoring astročásticových experimentů
- Tanmay Vachaspati, Arizona State University, teoretický fyzik v oblasti částicové fyziky, astrofyziky, obecné teorie relativity a kosmologie, působil jako Rosenbaum Fellow v the Isaac Newton Institute v Cambridgi, byl členem Institute for Advanced Study v Princetonu, a je členem American Physical Society.
- Prof. Leeor Kronik, Faculty of Chemistry, Materials and Interfaces, Weizmann Institute of Science, Rehovot, Izrael, špičkový odborník na teorii funkcionálu hustoty a na kvantově mechanické výpočty vlastností materiálů
- Balázs Újfalussy, Wigner Research Centre for Physics, Hungarian Academy of Sciences, Budapešť, Maďarsko, přední odborník v oboru ab initio výpočtů elektronové struktury a fyzikálních vlastností supravodičů
- 9. prosince 2019 : navštívila pracoviště FZÚ v Cukrovarnické delegace NSF (National Science Foundation) v rámci tématické mise U. S. National Science Foundation Exploratory Multiplier Mission to Czech Republic, 9. – 13. prosince 2019, zaměřené na Artificial Intelligence and Nano Delegaci provázal Luděk Moravec, vědecký diplomat ČR v USA. Členy delegace byli:
 - Fred Kronz, Program Director, Division of Social and Economic Sciences, Directorate for Social, Behavioral, and Economic Sciences
 - Vyacheslav (Slava) Lukin, Program Director, Division of Physics, Directorate for Mathematical and Physical Sciences
 - Roxanne Nikolaus, Program Manager, Office of International Science and Engineering, Office of the Director
 - Amarda Shehu, Program Director, Division of Information and Intelligent Systems, Directorate for Computer and Information Science and Engineering
- Prof. Wolfgang Ketterle, Massachusetts Institute of Technology, nositel Nobelovy ceny za experimentální fyziku nízkých teplot (ultrastudené plyny).
- Prof. William Phillips, NIST and University of Maryland, Gaithersburg, nositel Nobelovy ceny za experimentální fyziku nízkých teplot (laserové chlazení).
- Prof. Rainer Weiss, Massachusetts Institute of Technology, nositel Nobelovy ceny za experimentální prokázání gravitačních vln a radiční astronomii.
- Prof. Gerard 't Hooft, Utrecht University, nositel Nobelovy ceny za částicovou fyziku a základy kvantové mechaniky.

- Prof. Marlan Scully, Texas A&M University, Baylor University and Princeton University, expert na kvantovou optiku, zakladatel laserové fyziky.
- dr hab. Izabela Jendrzewska, University of Silesia, Katowice, Polsko, špičkový odborník v oblasti přípravy chalkogenidů. Jednalo se o rozvoj spolupráce ve výzkumu chalkogenidů pro termoelektrické a spinkalorické aplikace, 4 týdny (K. Knížek).
- Assoc. Prof. Dr. Myriam H. Aguirre, Dept Condensed Matter Physics Universidad de Zaragoza, Španělsko, špičkový odborník v elektronové mikroskopii. Jednalo se o rozvoj spolupráce ve výzkumu spin Seebeckova jevu a přípravu společného projektu H2020-MSCA-RISE-2019.
- Prof. Philippe F. Smet, LumiLab research group, Department of Solid State Sciences, Ghent University, Belgium, špičkový odborník v oboru luminiscence pevných látek, speciálně pak persistentních luminoforů a fosforů pro konstrukci laditelných zdrojů bílého světla na bázi LED.
- Prof. Tania Paskova, North Carolina State University, National Science Foundation, USA, Prof. Tania Paskova se zabývá růstem krystalů III-V skupiny polovodičů metodami HVPE a MOCVD.
- Dr. Sahana Rößler, Max Planck Institute for Chemical Physics of Solids, Dresden, Germany, Expertka v oboru magnetismu a supravodivosti.
- Professor Yuri Dekhtyar, Riga Technical University, Institute of Biomedical Engineering and Nanotechnologies, expert v oboru studia poruch v pevných látkách s využitím stimulovaných jevů – elektronová spektroskopie (fotoelektronová a exoelektronová)
- prof. Mikhael D. Levi, Department of Chemistry, Bar-Ilan University, Israel, expert v oboru elektrochemie
- Dr. Stefan Zollner is the Academic Department Head and Professor of the Physics department at the New Mexico State University in Las Cruces, USA
- Prof. Phil Lubin, University of California Santa Barbara, USA, špičkový odborník v astrofyzice, kosmologii a využití laserů pro relativistický pohon
- Prof. Dong Eon Kim, Pohang University of Science and Technology, South Korea, špičkový odborník v oboru ultrarychlých kvantových jevů a jejich využití pro metrologii v atomové fyzice
- Javier Zarraonandia, Náměstek ministra pro průmysl, vědu a vzdělávání baskické vlády Zuloaga a Ainhoa Ondarzabal, generální ředitelka baskické organizace pro podporu podnikání
- Gerard Mourou, držitel Nobelovy ceny za fyziku za rok 2018

2.9.4 Aktuální meziústavní dvoustranné dohody 2019

- 1
 - Institute: University of Connecticut, Země: USA
 - Téma spolupráce: Memorandum of agreement on institutional cooperation
- 2
 - Institute: University of Rochester, Země: USA
 - Téma spolupráce: MoU regarding scientific and other cooperation
- 3
 - Institute: Arizona State University, Země: USA
 - Téma spolupráce: MoU on scientific collaboration (CEICO)

■ 4

- InSTITUTE: Carnegie Mellon University, Země: USA
- TÉMA SPOLUPRÁCE: Memorandum of Understanding – 02_16_027 – International Mobility of Researchers

■ 5

- InSTITUTE: New Mexico State University, Země: USA
- TÉMA SPOLUPRÁCE: Memorandum of Understanding – 02_16_027 – International Mobility of Research

■ 6

- InSTITUTE: New Mexico State University, Země: USA
- TÉMA SPOLUPRÁCE: MoU regarding scientific and other related cooperation

■ 7

- InSTITUTE: University of California, Země: USA
- TÉMA SPOLUPRÁCE: MoU mobility KA 39

■ 8

- InSTITUTE: Brookhaven Science Associates, LLC, Země: USA
- TÉMA SPOLUPRÁCE: Amendment to Non-proprietary User Agreement (2011-2016)

■ 9

- InSTITUTE: Fermi Research Alliance, LLC, Země: USA
- TÉMA SPOLUPRÁCE: Non-proprietary User Agreement (NUA FRA-2015-0092)

■ 10

- InSTITUTE: Large Synoptic Survey Telescope, INC., Země: USA
- TÉMA SPOLUPRÁCE: MoU on scientific collaboration – „Large Synoptic Survey Telescope“

■ 11

- InSTITUTE: Leland Stanford, Jr., University, Země: USA
- TÉMA SPOLUPRÁCE: Non-proprietary User Agreement – Contract No. DE-AC02-76-SFO515 (prodloužení o 10 let)

■ 12

- InSTITUTE: National Research Nuclear University „MEPhI“, Země: Ruská federace
- TÉMA SPOLUPRÁCE: MoU for a scientific collaboration on „Ultra intense laser matter interaction“.

■ 13

- InSTITUTE: S. Petersburg State University, Země: Ruská federace
- TÉMA SPOLUPRÁCE: MoU on Collaborative Program on Development of High Power Laser Technologies for Industrial and Scientific Applications

■ 14

- InSTITUTE: Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Země: Ruská federace



- Téma spolupráce: MoU for Collaborative Program on Research of Materials Surface Structuring by Laser Radiation

■ 15

- Institute: Russian Academy of Sciences, Země: Ruská federace
- Téma spolupráce: Memorandum on Scientific Collaboration

■ 16

- Institute: Keldysh Institute of Applied Mathematics (KIAM), Země: Ruská federace
- Téma spolupráce: MoU on a scientific collaboration in „Modelling of capillary discharges and pre-plasma formation“ at ELI-Beamlines

■ 17

- Institute: Penza State University, Země: Ruská federace
- Téma spolupráce: MoU on Research Collaboration

■ 18

- Institute: Ioffe Institute, Země: Ruská federace
- Téma spolupráce: MoU on the terms and conditions of mutual cooperation

■ 19

- Institute: Russian Academy of Sciences, Země: Ruská federace
- Téma spolupráce: MoU on scientific collaboration

■ 20

- Institute: Technische Hochschule Mittelhessen DIOPTIC GmbH MEOPTA – optika, s.r.o., Země: Německo
- Téma spolupráce: Partnership Agreement – Development of an universal wavefront measuring device on newly-developed wavefront sensor (DHS sensor)

■ 21

- Institute: Technische Universität Darmstadt, Země: Německo
- Téma spolupráce: Memorandum of Understanding – 02_16_027 International Mobility of Researchers

■ 22

- Institute: Ruhr-University Bochum, Země: Německo
- Téma spolupráce: MoU on collaborative Program on Development of High Power Lasers Technologies for Industrial and Scientific Applications

■ 23

- Institute: Technische Hochschule Mittelhessen Brueckmann Elektronik GmbH Rigaku Innovative Technologies Europe s.r.o., Země: Německo
- Téma spolupráce: Partnership Agreement – Development of an ultrafast, high-resolution X-ray camera system

■ 24

- Institute: University of Mainz, Země: Německo
- Téma spolupráce: Memorandum of Understanding – 02_16_027 – International Mobility of Researchers

■ 25

- Institute: Max-Planck-Institute for Chemical Physics of Solids, Země: Německo
- Téma spolupráce: Memorandum of Understanding – 02_16_027 – International Mobility of Researchers

■ 26

- Institute: Universität Stuttgart, Země: Německo
- Téma spolupráce: Memorandum of Understanding – 02_16_027 – International Mobility of Researchers

■ 27

- Institute: Deutsches Elektronen-Synchrotron DESY Universität Hamburg, Země: Německo
- Téma spolupráce: Cooperation Agreement – Czech Hamburg Advanced Medical and Photonics Project – CHAMPP

■ 28

- Institute: Technische Universität Darmstadt, Země: Německo
- Téma spolupráce: Agreement on the establishment of one „Tenure-Track“ Young Investigator Position „Nuclear Photonics“

■ 29

- Institute: Max-Planck_Gesellschaft, Země: Německo
- Téma spolupráce: Agreement to establish a partner group

■ 30

- Institute: European X-Ray Free-Electron Laser Facility GmbH, Země: Německo
- Téma spolupráce: MoU on cooperation in the field of Photon Science

■ 31

- Institute: Leipzig University, Země: Německo
- Téma spolupráce: MoU on terms and conditions of mutual cooperation

■ 32

- Institute: Deutsches Elektronen-Synchrotron DESY, Země: Německo
- Téma spolupráce: Software licence agreement – XRAYPAC Software

■ 33

- Institute: Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie GmbH, Země: Německo
- Téma spolupráce: MoU on establishing framework and academic cooperation



■ 34

- InSTITUTE: Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Země: Německo
- TÉMA SPOLUPRÁCE: MoU on the terms and conditions of mutual cooperation

■ 35

- InSTITUTE: Technische Universität Darmstadt, Země: Německo
- TÉMA SPOLUPRÁCE: MoU on a scientific collaboration on „Warm Dense Matter physics induced by intense laser and ion beam interaction with matter“

■ 36

- InSTITUTE: Deutsches Elektronen-Synchrotron DESY, Země: Německo
- TÉMA SPOLUPRÁCE: Cooperation Agreement – HERA experiments (Pozn.: nahrazuje předchozí memoranda)

■ 37

- InSTITUTE: Technische Universität Berlin (TUB), Země: Německo
- TÉMA SPOLUPRÁCE: MoU on the terms and conditions of mutual cooperation (kopie)

■ 38

- InSTITUTE: Deutsches Elektronen-Synchrotron DESY Cherenkov Telescope Array Observatory gemeinnützige GmbH, Země: Německo
- TÉMA SPOLUPRÁCE: Nákup akcií v Cherenkov Telescope Array project (CTA-Project)

■ 39

- InSTITUTE: Ferdinand-Braun-Institut, Leibnitz-Institut fuer Hoehstfrequentztechnik (FBH), Země: Německo
- TÉMA SPOLUPRÁCE: MoU on collaborative program on Laser-Diode Technology for High Average Power, Diode – Pumped Solid State Lasers (prolonged by Amendment no. 1)

■ 40

- InSTITUTE: Institute of Optics and Quantum Electronics (IOQ), Země: Německo
- TÉMA SPOLUPRÁCE: MoU on Collaborative Program for High Power, Diode-Pumped Laser Science and Technology

■ 41

- InSTITUTE: UK Research and Innovation, Země: Velká Británie
- TÉMA SPOLUPRÁCE: Novation agreement (STFC changed to UK Research and Innovation)

■ 42

- InSTITUTE: University of Edingburg, Země: Velká Británie
- TÉMA SPOLUPRÁCE: Memorandum of Understanding – 02_16_027 – Internationl Mobility of Researchers

■ 43

- InSTITUTE: Hitachi Europe Limited, Země: Velká Británie
- TÉMA SPOLUPRÁCE: Agreement

■ 44

- InSTITUTE: Royal Holloway and Bedford New College (RHUL), Země: Velká Británie
- TÉMA SPOLUPRÁCE: MoU on joint research activities in accelerator physics and its application

■ 45

- InSTITUTE: University of Oxford, Země: Velká Británie
- TÉMA SPOLUPRÁCE: MoU for a scientific collaboration on Theoretical and experimental study of matter under extreme conditions

■ 46

- InSTITUTE: Deep Underground Neutrino Experiment (DUNE) Collaboration, Země: Velká Británie
- TÉMA SPOLUPRÁCE: Lol on Scientific Collaboration (pozn.: MoU by mělo následovat)

■ 47

- InSTITUTE: Science and Technology Facilities Council (STFC), Země: Velká Británie
- TÉMA SPOLUPRÁCE: Consortium Agreement – Teaming Phase 2 – HiLASE Centre of Excellence

■ 48

- InSTITUTE: The Queen's University of Belfast, Země: Velká Británie
- TÉMA SPOLUPRÁCE: MoU for a scientific and technological collaboration towards Laser-driven Acceleration and Laser Plasma Physics experiments at ELI-Beamlines (prodlouženo Amendment no. 1)

■ 49

- InSTITUTE: Hangdong Global University, Země: Korejská republika
- TÉMA SPOLUPRÁCE: Agreement for the joint research project on the construction and optimization of the picosecond regenerative amplifier

■ 50

- InSTITUTE: Gwangju Institute of Science and Technology, Země: Korejská republika
- TÉMA SPOLUPRÁCE: MoU on Collaborative Program on Research and Development of Ultra-Intense Lasers and Applications – totožné s VS-2018/26

■ 51

- InSTITUTE: Gwangju Institute of Science and Technology, Země: Korejská republika
- TÉMA SPOLUPRÁCE: MoU on Collaborative Program on Research and Development of Ultra-Intense Lasers and Applications – totožné s VS-2018/30

■ 52

- InSTITUTE: Korea Institute of Machinery and Materials, Země: Korejská republika
- TÉMA SPOLUPRÁCE: MoU on Collaborative Program on Development of High Power Lasers Technologies for Industrial and Scientific Applications

■ 53

- InSTITUTE: Korea Basic Science Institute (KBSI), Země: Korejská republika
- TÉMA SPOLUPRÁCE: MoU – collaborative and joint research activities



■ 54

- Institute: AXEL Co., Ltd., Země: Korejská republika
- Téma spolupráce: Agreement on Research and Development (Project TA ČR, Program DELTA)

■ 55

- Institute: Korea Basic Science Institute (KBSI), Země: Korejská republika
- Téma spolupráce: MoU on Scientific Collaboration

■ 56

- Institute: Hangdong Global University, Země: Korejská republika
- Téma spolupráce: MoU on Collaborative program development of high energy laser for industry and application of laser shock peening

■ 57

- Institute: Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST), Země: Korejská republika
- Téma spolupráce: MoU on Collaborative Program on Application on Multi-slab, Diode Pumped Solid State Laser to SBS-PCM and Holographic Machining

■ 58

- Institute: Korea Atomic Energy Research Institute, Země: Korejská republika
- Téma spolupráce: MoU on Collaborative Program for High Power Pulsed Laser Technology Development

■ 59

- Institute: CERN – The European Organization for Nuclear Research, Země: Švýcarsko
- Téma spolupráce: MoU for the RD50 Collaboration

■ 60

- Institute: Paul Scherrer institute, Země: Švýcarsko
- Téma spolupráce: MoU mobility KA 4

■ 61

- Institute: École Polytechnique Federale de Lausanne, Photovoltaics-Laboratory of Microengineering Institute, Země: Švýcarsko
- Téma spolupráce: MoU on the terms and conditions of mutual cooperation

■ 62

- Institute: European Organization for Nuclear Research (CERN), Země: Švýcarsko
- Téma spolupráce: MoU for collaboration in the field of technology transfer

■ 63

- Institute: European Organization for Nuclear Research (CERN), Země: Švýcarsko
- Téma spolupráce: Memorandum on cooperation for the CLIC Detector and Physics Study

64

- InSTITUTE: Institut for Physical Research Vrije Universiteit Brussel (VUB), Forschungszentrum Jülich GmbH, Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS), Université de la Méditerranée Claud Bernard Lyon 1, Institute for Nuclear Problems – Belarussian State, Země: Švýcarsko
- TÉMA SPOLUPRÁCE: Agreement for Accession to the Crystal Clear Collaboration Agreement, K1500/TT/PH/004C

65

- InSTITUTE: Riga Technical University, Země: Lotyšsko
- TÉMA SPOLUPRÁCE: Cooperation Agreement

66

- InSTITUTE: Lund university, Země: Švédsko
- TÉMA SPOLUPRÁCE: MoU regarding scientific and other related cooperation

67

- InSTITUTE: Upsalla University, Země: Švédsko
- TÉMA SPOLUPRÁCE: MoU on Collaboration in Coherent Diffractive Imaging and Atomic, Molecular and Optical Sciences

68

- InSTITUTE: Università degli Studi dell'Insubria, Země: Itálie
- TÉMA SPOLUPRÁCE: MoU mobility

69

- InSTITUTE: Istituto di Scienza e Tecnologia dei materiali Ceramici del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), Země: Itálie
- TÉMA SPOLUPRÁCE: Scientific Collaboration and Non Disclosure Agreement

70

- InSTITUTE: University of Modena and Reggio Emilia, Země: Itálie
- TÉMA SPOLUPRÁCE: MoU on Collaborative Program on Development on High Power Ultrafast Surface Treatments for Industrial and Scientific Applications

71

- InSTITUTE: Fondazione Famiglia Pintaura, Země: Itálie
- TÉMA SPOLUPRÁCE: MoU on Collaborative Research partnership for Master and PhD Students

72

- InSTITUTE: Elettra – Sincrotrone Trieste S.C.p.A., Země: Itálie
- TÉMA SPOLUPRÁCE: Agreement on the access to electron beam (VS-2015/17)

73

- InSTITUTE: University of Parma, Země: Itálie
- TÉMA SPOLUPRÁCE: MoU on Collaborative Program on a Fiber Development for High Average Power, Diode-Pumped Solid State and Fiber Lasers (prolonged by Amendment no. 1)

■ 74

- Institute: University of Messina, Země: Itálie
- Téma spolupráce: MoU for a scientific and technological collaboration for „Monte Carlo characterization of Radiation Fields“ at ELI-Beamlines (extension – VS-2014/11)

■ 75

- Institute: Tata Institute of Fundamental Research (TIFT), Země: Indie
- Téma spolupráce: MoU regarding scientific and other related cooperation – high intensity laser matter interaction, laboratory astrophysics with short pulse laser matter interaction

■ 76

- Institute: Osaka University, Země: Japonsko
- Téma spolupráce: MoU regarding scientific and other related cooperation – laser driven plasmas

■ 77

- Institute: National Institute for Quantum and Radiological Science and Technology (QST), Země: Japonsko
- Téma spolupráce: Cooperation Arrangement in science and technology – cooperation on high intense laser physics research

■ 78

- Institute: Tohoku University, Země: Japonsko
- Téma spolupráce: MoU on collaboration

■ 79

- Institute: The University of Tokyo, Země: Japonsko
- Téma spolupráce: Agreement on academic exchange

■ 80

- Institute: National Institutes of Natural Sciences, Země: Japonsko
- Téma spolupráce: MoU on providing the framework for scientific and technical exchanges in the development of High Power Lasers and their Application

■ 81

- Institute: Kumamoto University, Země: Japonsko
- Téma spolupráce: Agreement on Academic Exchange

■ 82

- Institute: Tohoku University, Země: Japonsko
- Téma spolupráce: Join Research Agreement

■ 83

- Institute: Wroclaw University of Science and Technology, Země: Polsko
- Téma spolupráce: MoU regarding scientific and other related cooperation – optoelectronics

■ 84

- InSTITUTE: Institute of Plasma Physics and Laser Microfusion, Země: Polsko
- TÉMA SPOLUPRÁCE: MoU regarding scientific and other related cooperation

■ 85

- InSTITUTE: Wrocław University of Science and Technology, Země: Polsko
- TÉMA SPOLUPRÁCE: Lol regarding partnership for joint implementation of the Project entitled „Academic Partnership of Wrocław University of Science and Technology“

■ 86

- InSTITUTE: Jan Kochanowski University in Kielce, Země: Polsko
- TÉMA SPOLUPRÁCE: MoU on the terms and conditions of mutual cooperation

■ 87

- InSTITUTE: Polish Academy of Sciences, Země: Polsko
- TÉMA SPOLUPRÁCE: MoU – Agreement on the terms and conditions of mutual cooperation

■ 88

- InSTITUTE: University of Białystok, Země: Polsko
- TÉMA SPOLUPRÁCE: MoU on the terms and conditions of mutual cooperation

■ 89

- InSTITUTE: Le Laboratoire d'Optique Appliquée (CNRS, Ecole Polytechnique, ENSTA-ParisTech), Země: Francie
- TÉMA SPOLUPRÁCE: Collaboration Agreement – mobility KA 35

■ 90

- InSTITUTE: European Synchrotron Radiation Facility, Země: Francie
- TÉMA SPOLUPRÁCE: Medium Term Arrangement concerning the scientific use of synchrotron radiation for non-proprietary research for the period 2018 – 2022

■ 91

- InSTITUTE: European Synchrotron Radiation Facility, Země: Francie
- TÉMA SPOLUPRÁCE: MoU – Medium Term Arrangement concerning the scientific use of synchrotron radiation for non-proprietary research for the period 2018–2022

■ 92

- InSTITUTE: European Synchrotron Radiation Facility, Země: Francie
- TÉMA SPOLUPRÁCE: MoU on Arrangement between CENTRALSYNC Consortium and the European Synchrotron Radiation Facility concerning the long-term scientific use of synchrotron radiation for non-proprietary research for the period 2017 – 2021. MoU bude platné do podpisu „Long-term Arrangement“.

■ 93

- InSTITUTE: Centre Nationale de la Recherche Scientifique (CNRS), Země: Francie
- TÉMA SPOLUPRÁCE: MoU on the terms and conditions of mutual cooperation

■ 94

- InSTITUTE: Université de Lorraine, Země: Francie
- TÉMA SPOLUPRÁCE: Lol on Scientific cooperation in the frame of the proposed project

■ 95

- InSTITUTE: Université Lyon 1, Země: Francie
- TÉMA SPOLUPRÁCE: MoU on terms and conditions of mutual cooperation (Solid21)

■ 96

- InSTITUTE: Laboratoire de Physique des Interfaces et des Couches Minces, Ecole Polytechnique, Země: Francie
- TÉMA SPOLUPRÁCE: MoU on the terms and conditions of mutual cooperation

■ 97

- InSTITUTE: SIGMA Clermont, Země: Francie
- TÉMA SPOLUPRÁCE: MoU – Framework Agreement for Research and Academic Cooperation

■ 98

- InSTITUTE: Commissariat a l’Energie Atomique et aux Energies Alternatives (CEA) Institute of Plasma Physics, ASCR, Země: Francie
- TÉMA SPOLUPRÁCE: Lol for a joint experimental campaign on „Laser driven proton acceleration from H2 cryogenic target“

■ 99

- InSTITUTE: European Synchrotron Radiation Facility, Země: Francie
- TÉMA SPOLUPRÁCE: MoU for TANGO Collaboration

■ 100

- InSTITUTE: European Synchrotron Radiation Facility, Země: Francie
- TÉMA SPOLUPRÁCE: Studentship Agreement – „In-situ synchrotron X-Ray diffraction studies of smart structures for actuators by shape memory alloys (SMA)“

■ 101

- InSTITUTE: Institut National de la Recherche Scientifique (INRS), Země: Kanada
- TÉMA SPOLUPRÁCE: MoU mobility KA 36

■ 102

- InSTITUTE: Chinese Academy of Sciences, Země: Čínská lidová republika
- TÉMA SPOLUPRÁCE: MoU regarding scientific and other related cooperation on Laser-Plasma Interaction Experiments using Multi-PW Lasers and associated Theory and Simulation Activities

■ 103

- InSTITUTE: Chinese Academy of Sciences, Země: Čínská lidová republika
- TÉMA SPOLUPRÁCE: MoU on Collaborative Program on Development of Theoretical Approaches and Technological and Scientific Applications of Ultrashort Laser-Matter Interaction

104

- Institute: Chinese Academy of Sciences, Země: Čínská lidová republika
- Téma spolupráce: MoU on the terms and conditions of mutual cooperation

105

- Institute: Chinese Academy of Sciences, Země: Čínská lidová republika
- Téma spolupráce: Collaborative research agreement

106

- Institute: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Země: Čínská lidová republika
- Téma spolupráce: MoU on Research Collaboration – research and PhD training in the field of smart engineering materials

107

- Institute: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Země: Čínská lidová republika
- Téma spolupráce: MoU on Research Collaboration – research and PhD training in the field of smart engineering materials

108

- Institute: Universidade de Lisboa, Země: Portugalsko
- Téma spolupráce: MoU mobility KA 37

109

- Institute: Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores para os Microsistemas e as nanotecnologias (INESC-MN), Země: Portugalsko
- Téma spolupráce: MoU on the terms and conditions of mutual cooperations

110

- Institute: Centro De Laseres Pulsados (CLPU), Země: Španělsko
- Téma spolupráce: MoU regarding their scientific and other related cooperation

111

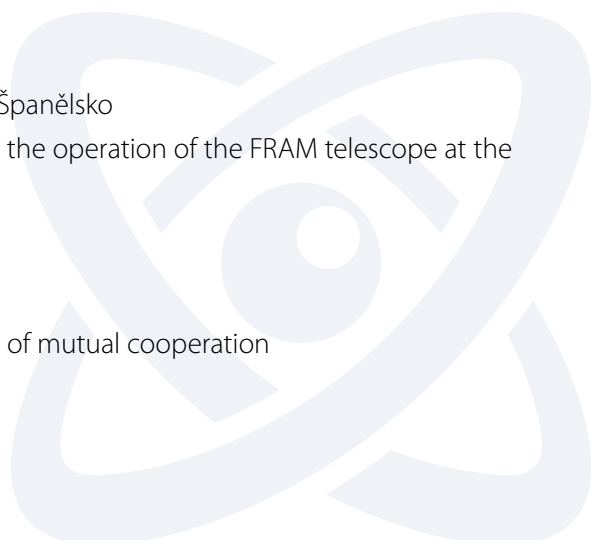
- Institute: Centro Nacional de Biotecnología of the Agencia Estatal Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Země: Španělsko
- Téma spolupráce: MoU mobility KA 26

112

- Institute: Instituto de Astrofísica de Canarias, Země: Španělsko
- Téma spolupráce: Agreement on the instalation and the operation of the FRAM telescope at the Roque de Los Muchachos Observatory

113

- Institute: University of Zaragoza, Země: Španělsko
- Téma spolupráce: MoU on the terms and conditions of mutual cooperation



■ 114

- Institute: The Basque Center for Materials, Applications and Nanostructures (BCM), Země: Španělsko
- Téma spolupráce: MoU on the terms and conditions of mutual cooperation

■ 115

- Institute: Centro Láser de la Universidad Politécnica de Madrid (CLUPM), Země: Španělsko
- Téma spolupráce: MoU on a Development of Laser Shock Processing (prolonged by Amendment no. 1)

■ 116

- Institute: National Applied Research Laboratories, Země: Taiwan
- Téma spolupráce: MoU on Research Collaboration with a vision to promote bilateral cooperation in science and technology development

■ 117

- Institute: National Applied Research Laboratories, Země: Taiwan
- Téma spolupráce: MoU for research collaboration

■ 118

- Institute: National Kaohsiung University of Applied Sciences, Země: Taiwan
- Téma spolupráce: MoU on education and academic research

■ 119

- Institute: University of Novi Sad, Země: Srbská republika
- Téma spolupráce: Partnership Statement – Project: Microtubules as Biological Nanowires and Pathways for Nanomotors

■ 120

- Institute: Universität Wien, Země: Rakousko
- Téma spolupráce: Academic license for the use of the software package VASP (Vienna ab.initio simulationprogram), VASP 5.2 and VASP 4.6

■ 121

- Institute: Medizinische Universität Innsbruck, Země: Rakousko
- Téma spolupráce: MoU on the terms and conditions of mutual cooperation

■ 122

- Institute: Center for Physical Sciences and Technology, Země: Litevská republika
- Téma spolupráce: MoU on joint project proposal ELI-SA (H2020), Deadline for applications: 30.3.2016

■ 123

- Institute: Vietnamská socialistická republika Academy of Science and Technology (VAST), Země: Vietnamská socialistická republika
- Téma spolupráce: Lol on Scientific Collaboration – Development of hydrogenated silicon thin films for solar cells and alternative applications

124

- Institute: Vietnamská socialistická republika Academy of Science and Technology (VAST), Země: Vietnamská socialistická republika
- Téma spolupráce: Lol on scientific collaboration: Development and application of measured methods for spectral changes of solar radiation with aim to realize optimal structures of the solar cells based on hydrogenated silicon thin films

125

- Institute: Research and Development Center Saigon Hi-Tech Park, Země: Vietnamská socialistická republika
- Téma spolupráce: Lol on scientific collaboration: „Development of alternative PECVD technology of hydrogenated silicon thin films for solar cells

126

- Institute: Fraunhofer-Gesellschaft zur forderung der angewandten forschung, Atlantis Engineering AE, Brunel University London, Core Innovation and Technology OE, Politecnico di Milano, The Shadow Robot Company Limited, Holonix SRL-SPIN OFF del politecnico di Milano, Země: Finsko, Německo, Itálie, Švýcarsko, Řecko, Velká Británie, Česká republika
- Téma spolupráce: Consortium Agreement – IQONIC

127

- Institute: International Particle Physics Outreach Group (IPPOG), Země: více zemí
- Téma spolupráce: MoU Establishing The International Particle Physics Outreach Group Collaboration

128

- Institute: ELI Attosecond Light Pulse Source, Eli Nuclear Physics, Země: Česká republika, více zemí
- Téma spolupráce: MoU on ELI-ERIC

129

- Institute: Polish Academy of Sciences University of Geneva (UNIGE), Země: Švýcarsko, Polsko
- Téma spolupráce: Agreement on „STT-1M Mini-array Construction and Testing as Technology Demonstrator for the Cherenkov Telescope Array“



2.9.5 Statistika zahraničních styků

Statistika zahraničních cest v roce 2019 – FZÚ

| | Výjezdy – počet | | Výjezdy – počet dnů | |
|-----------------------------------|-----------------|-------------------------|---------------------|-------------------------|
| | celkem | dlouhodobé ¹ | celkem | dlouhodobé ¹ |
| Sekce fyziky elementárních částic | 453 | 47 | 6 484 | 2 797 |
| Sekce fyziky kondenzovaných látek | 258 | 4 | 2 548 | 824 |
| Sekce fyziky pevných látek | 335 | 13 | 3 690 | 1 829 |
| Sekce optiky | 152 | 12 | 1 815 | 816 |
| Sekce výkonových systémů | 277 | 16 | 2 548 | 882 |
| Sekce ELI Beamlines | 496 | 6 | 2 921 | 395 |
| ostatní | 48 | 20 | 1 235 | 1 091 |
| celkem | 2 019 | 118 | 21 241 | 8 634 |

¹dlouhodobý pobyt = delší než 30 dnů

| Země | Výjezdy – počet | Země | Výjezdy – počet | Země | Výjezdy – počet |
|--------------------|-----------------|--------------------|-----------------|----------------------|-----------------|
| Alžírsko | 1 | Izrael | 6 | Portugalsko, Azory | 23 |
| Argentina | 20 | Japonsko | 78 | Rakousko | 77 |
| Austrálie, Oceánie | 7 | Kanada | 11 | Rumunsko | 8 |
| Belgie | 39 | Konžská dem. rep. | 2 | Rusko | 49 |
| Bělorusko (BYN) | 3 | Korejská republika | 13 | Řecko | 17 |
| Brazílie | 4 | Kypr | 10 | Slovensko | 52 |
| Bulharsko | 3 | Litva | 8 | Slovinsko | 3 |
| Černá Hora | 5 | Lotyšsko | 4 | Spoj. státy americké | 136 |
| Česká republika | 48 | Lucembursko | 1 | Srbsko | 2 |
| Čína | 36 | Madagaskar | 1 | Srí Lanka | 1 |
| Dánsko | 13 | Maďarsko | 39 | Španělsko | 70 |
| Estonsko | 6 | Malajsie | 1 | Švédsko | 51 |
| Finsko | 14 | Malta | 1 | Švýcarsko | 212 |
| Francie | 140 | Německo | 415 | Tchaj-wan | 11 |
| Chile | 8 | Nizozemsko | 38 | Tunisko | 1 |
| Chorvatsko | 8 | Norsko | 5 | Ukrajina | 9 |
| Indie | 4 | Nový Zéland | 6 | Velká Británie | 68 |
| Irsko | 4 | Panama | 1 | Vietnam | 3 |
| Itálie | 157 | Polsko | 66 | Celkem | 2019 |

Pracovníci FZÚ vyjeli v roce 2019 celkem do 56 zemí, celkové náklady ze strany FZÚ na jejich cesty činily 50,415 milionu Kč.

Hosté FZÚ v roce 2019 – přehled

| | <i>Počet – přijetí</i> | | | <i>Přijetí – počet dnů</i> | | |
|-----------------------------------|------------------------|-------------------|---------------|----------------------------|-------------------|---------------|
| | <i>interní</i> | <i>akademické</i> | <i>celkem</i> | <i>interní</i> | <i>akademické</i> | <i>celkem</i> |
| Sekce fyziky elementárních částic | 86 | 0 | 86 | 494 | 0 | 494 |
| Sekce fyziky kondenzovaných látek | 39 | 2 | 41 | 263 | 14 | 277 |
| Sekce fyziky pevných látek | 111 | 6 | 117 | 833 | 66 | 899 |
| Sekce optiky | 18 | 1 | 19 | 99 | 14 | 113 |
| Sekce výkonových systémů | 40 | 0 | 40 | 340 | 0 | 340 |
| Sekce ELI Beamlines | 137 | 0 | 137 | 1 419 | 0 | 1 419 |
| <i>celkem</i> | <i>431</i> | <i>9</i> | <i>440</i> | <i>3 448</i> | <i>94</i> | <i>3 542</i> |

| <i>Země</i> | <i>interní</i> | <i>akademické</i> | <i>celkem</i> | <i>Země</i> | <i>interní</i> | <i>akademické</i> | <i>celkem</i> |
|-------------|----------------|-------------------|---------------|-------------|----------------|-------------------|---------------|
| Německo | 60 | 4 | 64 | Bělorusko | 3 | 0 | 3 |
| VB | 53 | 0 | 53 | Dánsko | 3 | 0 | 3 |
| Francie | 38 | 0 | 38 | Řecko | 2 | 0 | 2 |
| Polsko | 31 | 2 | 33 | Venezuela | 2 | 0 | 2 |
| USA | 28 | 0 | 28 | Nový Zéland | 2 | 0 | 2 |
| Itálie | 25 | 0 | 25 | Lotyšsko | 1 | 1 | 2 |
| Rusko | 24 | 0 | 24 | Argentina | 1 | 0 | 1 |
| Japonsko | 22 | 0 | 22 | Austrálie | 1 | 0 | 1 |
| Španělsko | 16 | 0 | 16 | Uzbekistán | 1 | 0 | 1 |
| Švýcarsko | 11 | 0 | 11 | Chile | 1 | 0 | 1 |
| Nizozemí | 11 | 0 | 11 | Srbsko | 1 | 0 | 1 |
| Indie | 10 | 0 | 10 | Irán | 1 | 0 | 1 |
| Švédsko | 9 | 0 | 9 | Kazachstán | 1 | 0 | 1 |
| Ukrajina | 7 | 1 | 8 | Peru | 1 | 0 | 1 |
| Portugalsko | 8 | 0 | 8 | Kolumbie | 1 | 0 | 1 |
| Korea | 7 | 0 | 7 | Estonsko | 1 | 0 | 1 |
| Kanada | 7 | 0 | 7 | Litva | 1 | 0 | 1 |
| Rakousko | 6 | 0 | 6 | Finsko | 1 | 0 | 1 |
| Belgie | 6 | 0 | 6 | Thajsko | 1 | 0 | 1 |
| Slovensko | 5 | 1 | 6 | Brazílie | 1 | 0 | 1 |
| Čína | 5 | 0 | 5 | Kypr | 1 | 0 | 1 |

| | | | | | | | |
|----------|---|---|---|---------------|------------|----------|------------|
| Maďarsko | 5 | 0 | 5 | Mexiko | 1 | 0 | 1 |
| Izrael | 5 | 0 | 5 | JAR | 1 | 0 | 1 |
| Singapur | 3 | 0 | 3 | Celkem | 431 | 9 | 440 |

V roce 2019 navštívili FZÚ hosté z 46 zemí.





2.10 Publikace zaměstnanců FZÚ v roce 2019

2.10.1 Přehled

| | Sekce fyziky elementárních částic | Sekce fyziky kondenzovaných látek | Sekce fyziky pevných látek | Sekce optiky | Sekce výkonných systémů | Sekce realizace projektu ELI Beamlines | celkem |
|--------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------|--------------|-------------------------|--|--------|
| Kniha, monografie | 0,67 | 1 | 1 | 0,33 | 0 | 0 | 3 |
| Kapitola v knize | 0 | 4 | 3 | 2 | 2 | 1 | 12 |
| Publikace v impaktovaném periodiku | 160,77 | 129,01 | 235,57 | 57,63 | 44,46 | 56,56 | 684 |
| Publikace v neimpaktovaném periodiku | 3,19 | 13,33 | 13,5 | 8,92 | 16 | 13,06 | 68 |
| Publikace v konferenčním sborníku | 20,43 | 8,43 | 9,57 | 2,57 | 3 | 10 | 54 |
| Patenty | 0 | 2,67 | 8 | 1,33 | 1 | 4 | 17 |
| Užité a průmyslové vzory | 0 | 0 | 1 | 3 | 1 | 0 | 5 |

(Poznámka: Pokud má jeden vědecký výstup autory z různých sekcí Fyzikálního ústavu, jsou v tabulce výše započteny těmito sekcím jen poměrné části takového výstupu. Například pro publikaci s 10 autory z FZÚ, z toho 9 ze Sekce 2 a 1 ze Sekce 3, se započte 0,9 pro Sekci 2 a 0,1 pro Sekci 3.)

Členění publikací v impaktovaném periodiku dle oborů

| | |
|--|------------|
| Fyzika vysokých energií | 165 |
| Fyzika kondenzovaných látek a materiálový výzkum | 363 |
| Optika | 38 |
| Fyzika interakce laserového záření s hmotou | 79 |
| Nepřirazené obory | 39 |
| Celkem | 684 |

2.10.2 Významné výsledky vědecké činnosti v roce 2019

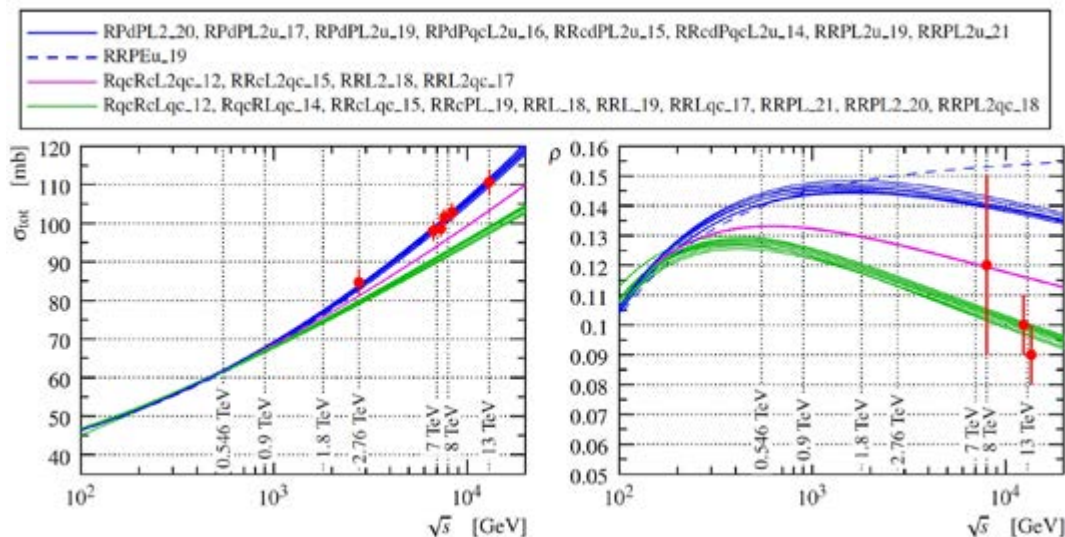
Sekce 1

- 1 Eur. Phys. J. C 79 (2019) 785
DOI: 10.1140/epjc/s10052-019-7223-4

První určení parametru ρ při $\sqrt{s} = 13$ TeV: testování existence bezbarvého vázaného stavu tří gluonů s lichou nábojovou symetrií

*Antchev, G., Aspell, P., Atanassov, I. et al. (TOTEM Collaboration, z FZU:
J. Kašpar, V. Kundrát, M. V. Lokajiček, J. Procházka)*

Experiment TOTEM na LHC v CERN provedl první měření parametru ρ , poměru reálné a imaginární složky jaderné amplitudy elastického rozptylu, při těžištové energii protonových srážek 13 TeV. Vysoká přesnost měření, v kombinaci s dalšími elastickými daty experimentu TOTEM, favorizuje alternativní modely elastického rozptylu, které kromě standardní složky, dvougluonového bezbarvého vázaného stavu se sudou nábojovou symetrií, tzv. Pomeron, vyžadují i existenci bezbarvého vázaného stavu tří gluonů s lichou nábojovou symetrií, tzv. Odderon.



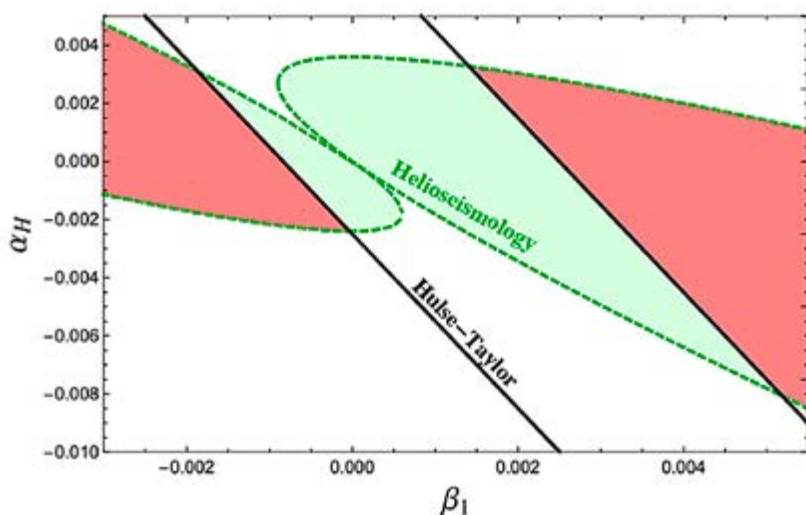
Porovnání měření experimentu TOTEM (červené znaky) s COMPETE modely pro různé těžištové energie protonových srážek. Žádný z modelů založený pouze na existenci dvougluonového bezbarvého stavu, Pomeronu, není schopen popsat zároveň energetickou závislost celkového účinného průřezu (vlevo) a parametru ρ (vpravo).

■ 2 Phys. Rev. Lett. 123 (2019) 091103
 DOI: 10.1103/PhysRevLett.123.091103

Zpřesnění limitů modifikované gravitace pomocí helioseismologie

I. D. Saltas, I. Lopes

Objasnění podstaty temné energie vyžaduje rozšíření obecné teorie relativity. Pozoruhodným rysem předpovědí obecných teorií v tomto smyslu je modifikace gravitačního zákona v kompaktních astrofyzikálních objektech prostřednictvím efektu páté síly. V této práci navrhuje helioseismologii jako nový způsob testování páté síly v lokálních měřících. S pomocí helioseismických simulací ukazujeme, jak pozorované frekvence solárních pulsací mohou podstatně vylepšit dřívější limity na velikost páté síly a tím poskytnout významný nový pohled na podstatu temné energie.



Očekávaná omezení na hodnoty kosmologických parametrů z helioseismologie (převzato z I. D. Saltas & I. Lopes, PRL 2019)

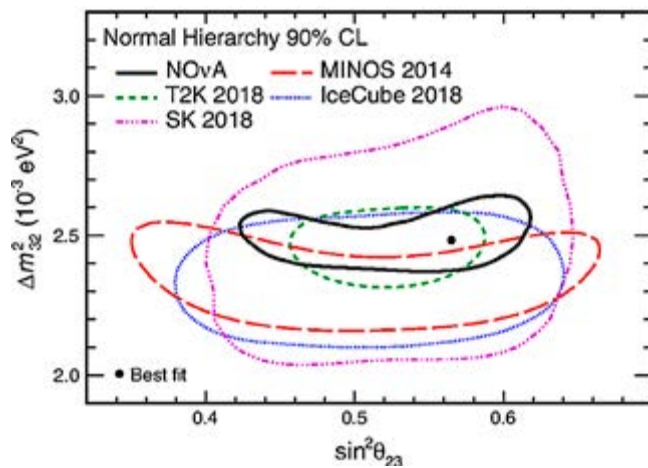


■ 3 Phys. Rev. Lett. 123 (2019) 151803
 DOI: 10.1103/PhysRevLett.123.151803

První měření parametrů oscilací neutrin pomocí neutrin a anti neutrin NOvA

M. A. Acero et al. (NOvA Collaboration, z FZU P. Filip, M. Lokajčěk, J. Zálešák)

Experiment NOvA zaznamenal 4.4σ signál vzniku elektronových antineutrin ve svazku 2 GeV mionových antineutrin na vzdálenosti 810 km a využitím 12,33x1020 protonů na terči dodaných neutrinovým svazkem NuMI ve Fermilab. Jedná se o alternativní měření k dříve změřenému mizení mionových antineutrin ze stejného svazku. Tato dvě měření prokazují oscilace neutrin.



První měření parametrů oscilací neutrin pomocí neutrin a anti neutrin NOvA



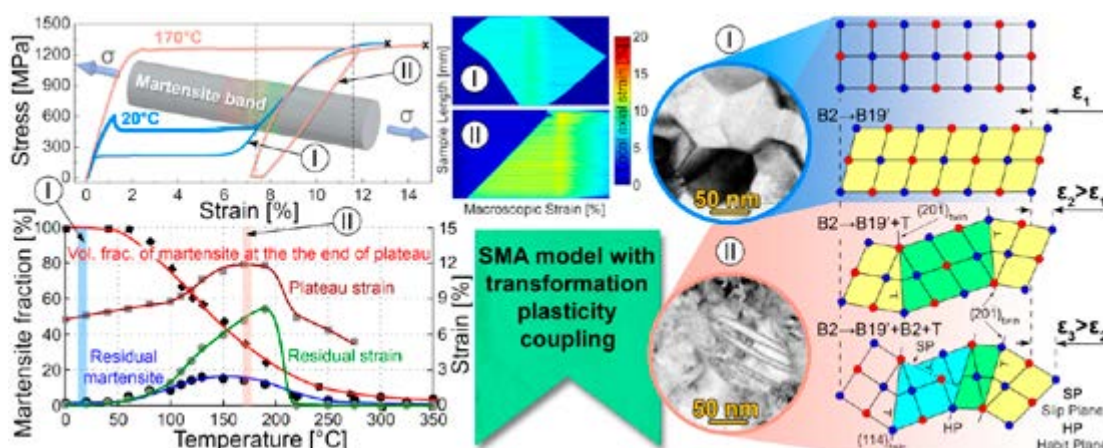
Sekce 2

- 4 Int. J. Plast. 116 (2019) 232-264
DOI: 10.1016/j.ijplas.2019.01.007

Termomechanické experimenty a teorie vysvětlující nevratnou martenzitickou transformaci ve slitině NiTi při zvýšených teplotách

L. Heller, P. Šittner, P. Sedlák, H. Seiner, O. Tyc, L. Kadeřávek, P. Sedmák, M. Vronka

Tahová deformace komerčních superelastických vláken NiTi byla studována v termomechanických zkouškách v širokém teplotním oboru s využitím in-situ metod elektrické rezistometrie, synchrotronové difrakce, korelace obrazu a ex-situ TEM.



Obrázek ukazuje výsledky tahových zkoušek na vláknech slitiny s tvarovou pamětí NiTi při zvýšených teplotách a napětích

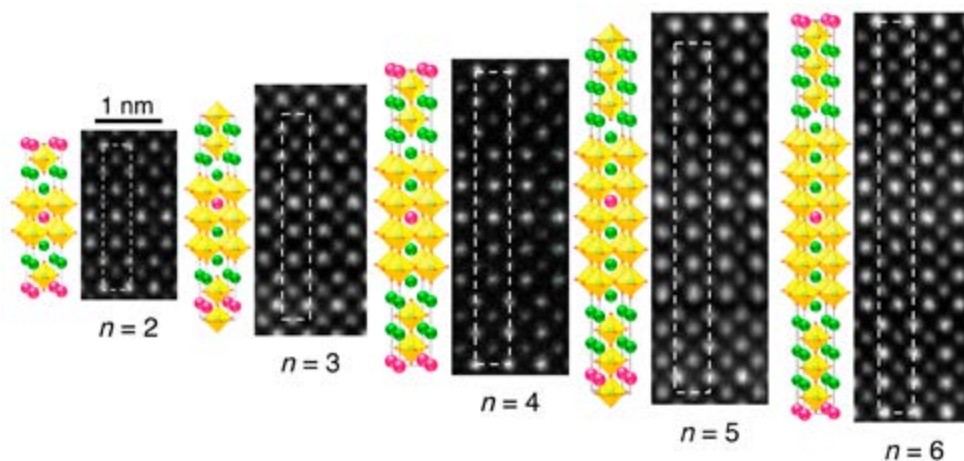


■ 5 Nat. Mater. 19 (2020) 176
 DOI: 10.1038/s41563-019-0564-4

Nový materiál pro 5G mobilní síť

N.M. Dawley, E.J. Marks, A.M. Hagerstrom, G.H. Olsen, M.E. Holtz, V. Goian, C. Kadlec, J. Zhang, X. Lu, J.A. Drisko, R. Uecker, S. Ganschow, C.J. Long, J.C. Booth, S. Kamba, C.J. Fennie, D.A. Muller, N.D. Orloff, D.G. Schlom

Tenké vrstvy $(\text{SrTiO}_3)_n\text{-}1(\text{BaTiO}_3)\text{1SrO}$ s homogenním pnutím byly připravené na DyScO_3 podložkách pomocí epitaxe molekulárními svazky. Nejlepší mikrovlnné dielektrické vlastnosti byly objevené ve vzorcích s $n=6$. Jejich permitivita vykazuje silné ladění elektrickým polem a dielektrické ztráty jsou anomálně nízké. Unikátní vlastnosti byly potvrzené výpočty z prvních principů a experimentálním pozorováním chování měkkého módu v THz oblasti. Tyto vrstvy jsou ideální pro komponenty do 5G sítí.



Schematické obrázky studovaných krystalových struktur $(\text{SrTiO}_3)_n\text{-}1(\text{BaTiO}_3)\text{1SrO}$ a jejich zobrazení ve skenovacím transmisním elektronovém mikroskopu. Žluté oktaedry zobrazují TiO_6 vrstvy, větší zelené a červené body značí atomy Sr a Ba.

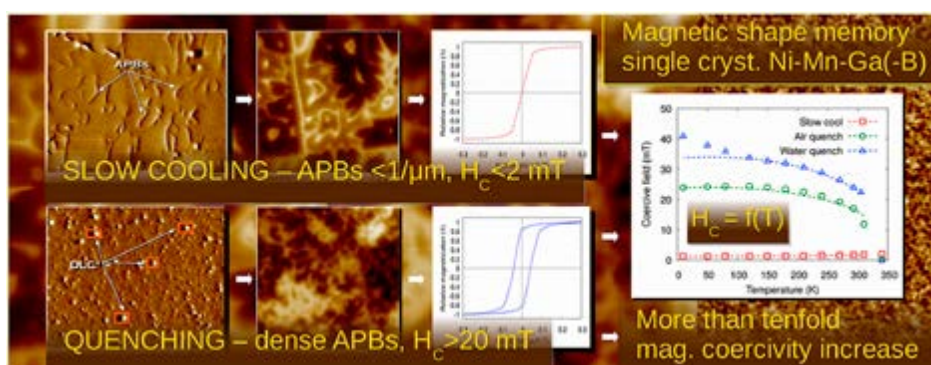


■ 6 Acta Mater. 169 (2019) 109-121
 DOI: 10.1016/j.actamat.2019.02.045

Řízení magnetické koercivity tepelným zpracováním monokrystalů Heuslerových slitin Ni-Mn-Ga (-B) vykazujících efekt magnetické tvarové paměti

L. Straka, L. Fekete, M. Ramesa, E. Belas, O. Heczko

Materiály s magnetickou tvarovou pamětí mohou vykazovat nové velmi zajímavé magnetomechanické jevy, pokud současně s vysokou mobilitou hranic dvojčatění vykazují magnetickou koercivitu. Nám se podařilo najít metodu, jak dosáhnout zvýšení koercivity pomocí kontrolovaného kalení materiálu. Současně s objevem metody jsme vysvětlili mechanismus magnetické koercivity, který souvisí s hustotou antifázových rozhraní. Objev je důležitý zejména proto, že umožňuje další zkoumání nových unikátních magnetomechanických jevů v materiálech s magnetickou tvarovou pamětí.



Antifázové hranice a odpovídající magnetické mikrostruktury pozorované u pomalu a rychle chlazeného monokrystalu s magnetickou tvarovou pamětí a odpovídající měření magnetické koercivity a její teplotní závislosti.

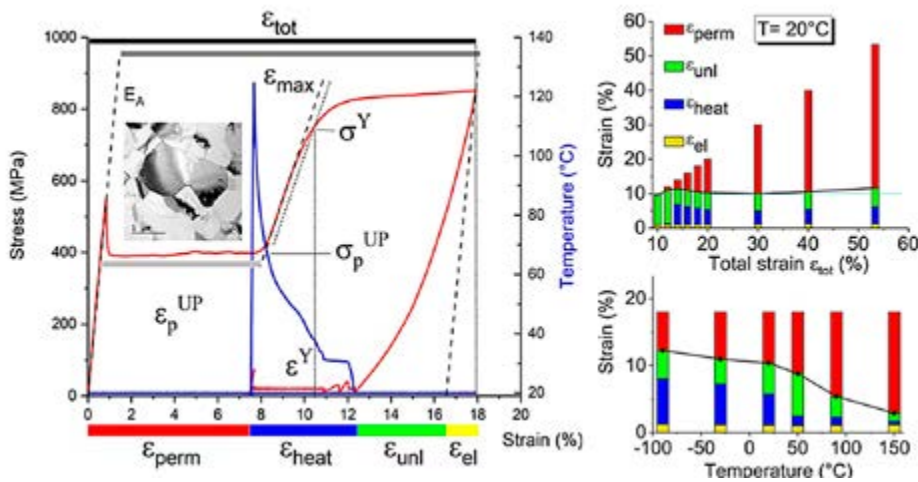


7 Acta Mater. 180 (2019) 243-259
 DOI: 10.1016/j.actamat.2019.09.012

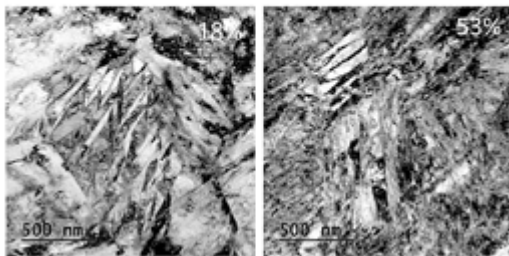
Vratná deformace v silně deformovaných vláknech slitiny NiTi

Y. Chen, O. Tyc, L. Kadeřávek, O. Molnárová, L. Heller, P. Šittner

Superelastická vlákna ze slitiny s tvarovou pamětí NiTi byla deformována v tahu v širokém teplotním oboru. Byla vyhodnocována vratnost deformace v závislosti na maximální deformaci a studovány deformační poruchy vnesené do materiálu pomocí TEM. Bylo zjištěno že plastická deformace je iniciována deformačním dvojčatením v orientovaném martenzitu doprovázeným dislokačním skluzem.



{114} austenite twins in the microstructure of NiTi wire deformed in tension up to 18% and 53% strains at room temperature



Obrázek ukazuje výsledky tahových zkoušek na vláknech NiTi v širokém teplotním oboru



8 Acta Mater. 170 (2019) 253-267
 DOI: 10.1016/j.actamat.2019.03.037

Modelování segregace příměsí na hranicích zrn a predikce potřebných parametrů

P. Lejček a S. Hofmann

Byl navržen termodynamický model pro rovnovážnou segregaci příměsí na hranicích zrn v reálných systémech. Model je založen na predikci všech potřebných parametrů, tj. (i) standardní entalpie a (ii) standardní entropie segregace, které jsou vztaženy k ideálnímu chování, a (iii) Fowlerovy binární interakční koeficienty popisující reálný příspěvek. Aplikace modelu je ukázána detailně na příkladu železa a binárních systémů na jeho bázi.

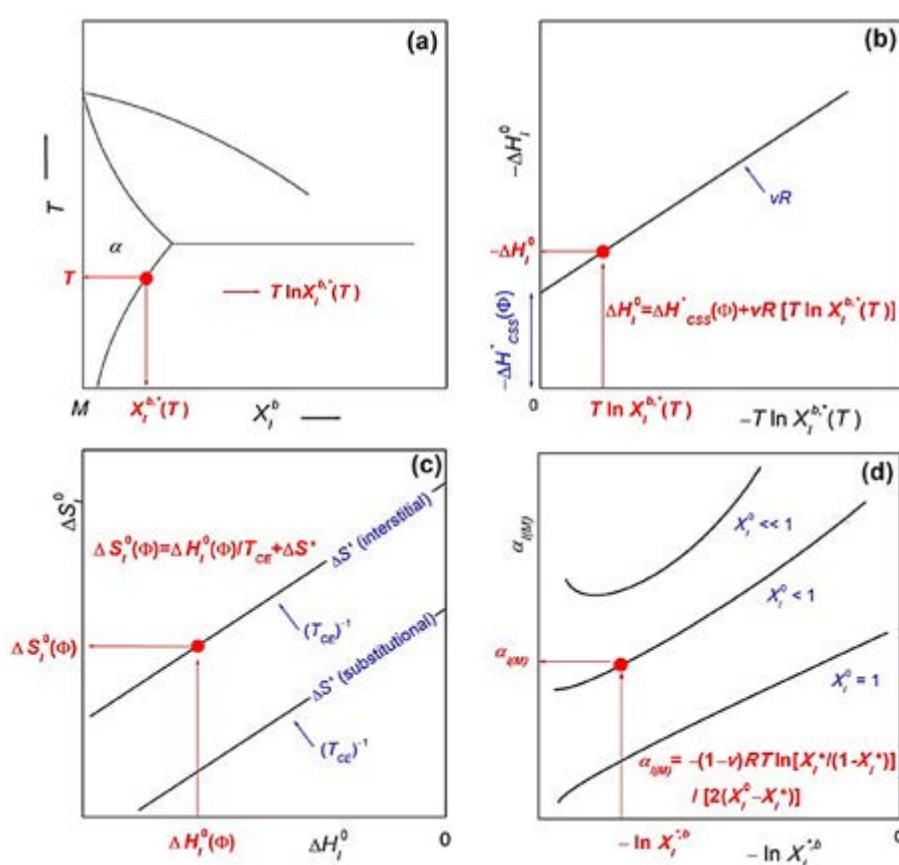


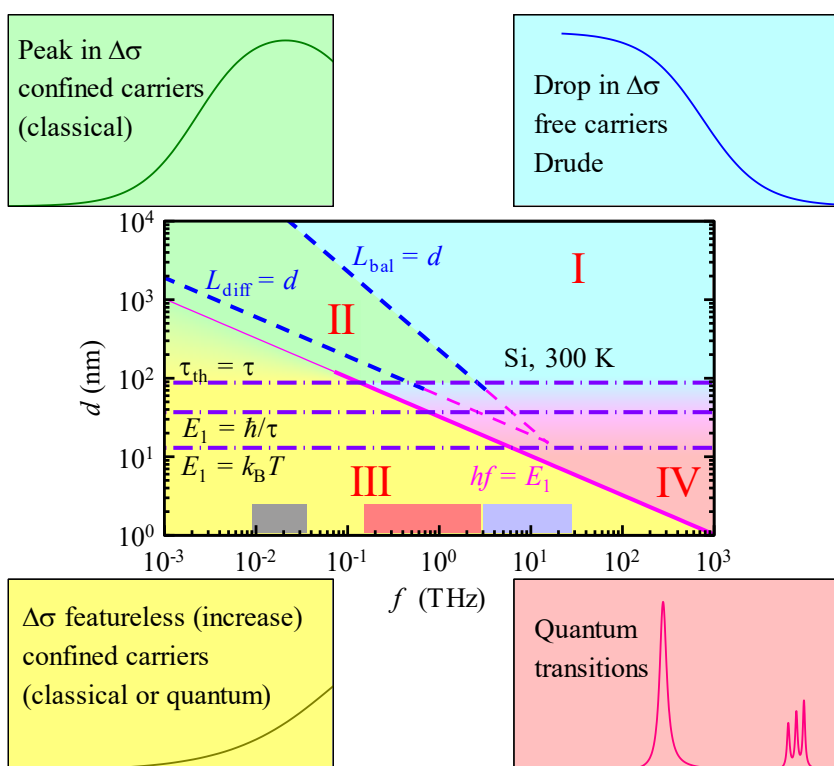
Schéma postupu získání parametrů segregace příměsí na hranicích zrn: z fázového diagramu (a) odečteme teplotu a rozpuštěnost příměsí v objemu. Pomocí tzv. diagramu segregace odečteme hodnotu standardní entalpie segregace pro danou hranici zrn (b). Na základě tzv. kompenzačního jevu mezi entropií a entalpií segregace příměsí získáme hodnotu standardní entropie segregace (c). Reálné chování systému pak korigujeme pomocí interakčního koeficientu na základě naší odvozené závislosti (d).

9 Adv. Opt. Mater. 7 (2019) 1900623
 DOI: 10.1002/adom.201900623

Transport náboje v nanomateriálech

P. Kužel a H. Němec

Vytvořili jsme komplexní přehled transportu a dynamiky nositelů náboje v terahertzovém režimu v nanostrukturách konvenčních polovodičů a v karbonových nanomateriálech (grafen, uhlíkové nanotrubic). Klasifikovali jsme existující režimy terahertzové odezvy, roztřídili jsme současné mikroskopické modely se zahrnutím klasických i kvantových přístupů a poskytli jednotnou představu chování nábojů lokalizovaných v nanostrukturách.



(a) Čtyři režimy odezvy nábojů v nanokrystalech křemíku o velikosti d na sondovací frekvenci f při pokojové teplotě: Drudeho vodivost (modrá), maximum klasické vodivosti (zelená), monotónní Drude-Smithův režim (žlutá) a kvantové přechody (červená).



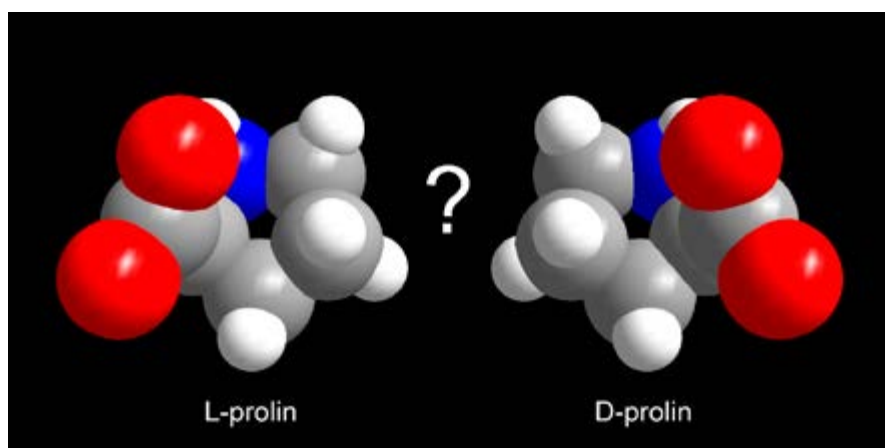
Sekce 3

■ 10 Science 364 (2019) 667–669
DOI: 10.1126/science.aaw2560

Elektronová difrakce jako metoda stanovení absolutní konfigurace molekul ve farmaceutickém nanokrystalu

P. Brázda, L. Palatinus, M. Babor

Stanovení absolutní konfigurace organických molekul je zásadní pro vývoj léčiv a následný schvalovací proces. V práci ukazujeme, že toto stanovení je možné pomocí elektronové difrakce na nanokrystalickém materiálu. Stanovení struktury ab initio elektronovou difrakcí bylo dosud omezeno na sloučeniny, které si zachovávají svou krystalinitu po dávce jednoho nebo více elektronů na čtvereční angstrom. V publikaci však byla provedena kompletní strukturální analýza farmaceutického kokrystalu sofosbuviru a L-prolinu, který je o jeden řád méně stabilní. Sběr dat na více pozicích krystalu a sofistikovaná metoda extrakce intenzit nám umožnila vyřešit strukturu ab initio. Dále ukazujeme, že dynamické difrakční efekty jsou dostatečně silné, aby umožnily jednoznačné určení absolutní struktury materiálu složeného z lehkých atomů.



Dvě různé absolutní konfigurace molekuly prolinu (označované jako L- a D-prolin) jsou si vzájemně zrcadlovými obrazy (chirální). V živých organizmech se vyskytuje pouze L-prolin. Rozptylem elektronů na nanokrystalech se podařilo určit, jaká z molekul se v připraveném léčivu nachází.

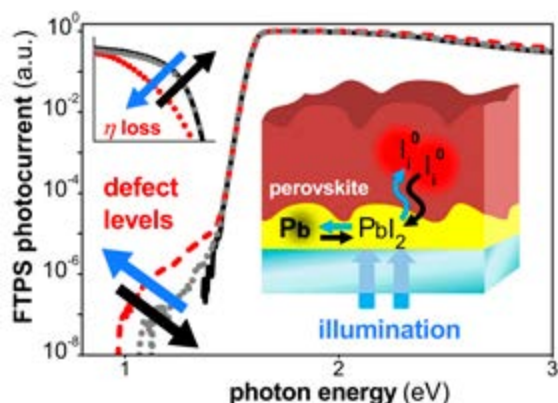


- 11 ACS Energy Lett. 4 (2019) 3011-3017
DOI: 10.1021/acsenerylett.9b02080

Reziduum halogenidu olova jako zdroj světlem indukovaných reverzibilních defektů v hybridních perovskitových vrstvách a solárních článcích

J. Holovský, A. Peter Amalathas, L. Landová, B. Dzurňák, B. Conrad, M. Ledinský, Z. Hájková, O. Pop-Georgievski, J. Svoboda, T. Chien-Jen Yang, Q. Jeangros

Pomocí spektroskopie slabých absorpcí byly u perovskitových solárních článků a vrstev pozorovány hluboké defekty v rozsahu min. 1 ppm vzniklé působením modrého osvětlení. Defekty vznikají po několika minutách osvětlení a současně klesá účinnost. Obojí vymizí po 1 nebo více hodinách ve tmě. Jev je způsoben přítomností zbytkové fáze halogenidu olova v materiálu připraveném dvoukrokovou metodou. Halogenid olova se rozkládá na kovové olovo a mobilní jód, který difunduje do perovskitu a způsobuje intersticiální defekty.



Při osvětlení (modré šipky) se rozkládá PbI_2 a jód difunduje do intersticiálních poloh, na křivce fotoproudu vzniká výběžek na úrovni 10^{-6} a klesá účinnost součástky (vložený graf V-A křivka).

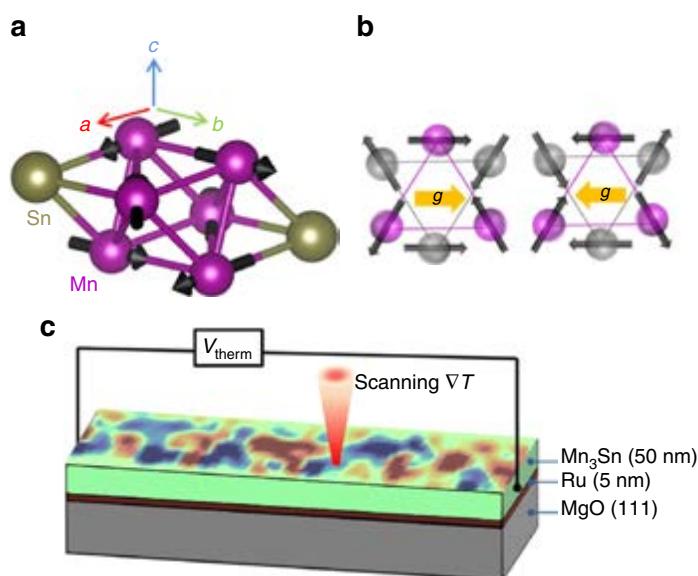


■ 12 Nat. Commun. 10 (2019) 5459
 DOI: 10.1038/s41467-019-13391-z

Zobrazení a zápis magnetických domén v nekolineárním antiferomagnetu Mn₃Sn

Reichlova, H., Janda, T., Godinho, J. et al. (z FZU J. Godinho, D. Kriegner,
 J. Železný, Z. Šobáň, T. Jungwirth, J. Wunderlich)

Antiferomagnety představují běžnější formu magnetického uspořádání látek než dobře známé a široce využívané feromagnety. Naše nedávné práce ukázaly možnost elektrického a optického zápisu a čtení informace v antiferomagnetických pamětech. Jejich detailní výzkum ovšem brzdí neviditelnost antiferomagnetických domén běžnými magnetickými mikroskopickými metodami. V této práci jsme vyvinuli dostatečně citlivou laboratorní mikroskopickou techniku, pomocí které se nám podařilo zobrazit antiferomagnetické domény v široce zkoumaném materiálu Mn₃Sn.



(a) Krystalová a nekolineární antiferomagnetická struktura materiálu Mn₃Sn. (b) Magnetická struktura opačně orientovaných antiferomagnetických domén. (c) Mikroskopie antiferomagnetických domén.

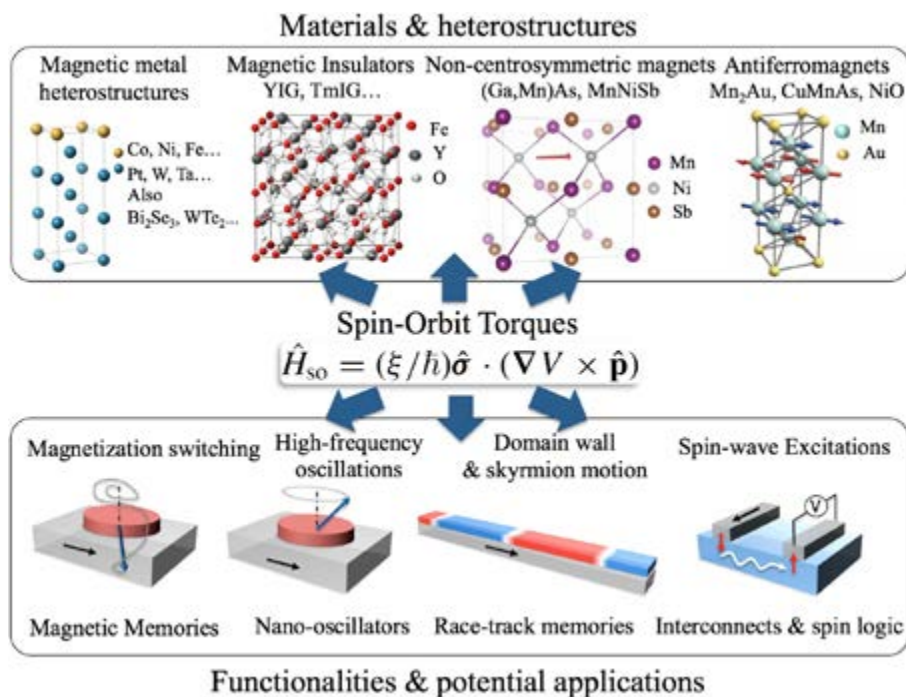


13 Rev. Mod. Phys. 91 (2019) 035004
DOI: 10.1103/RevModPhys.91.035004

Proudem indukovaná spin-orbitální pole ve feromagnetických a antiferomagnetických systémech

A. Manchon, J. Železný, I. M. Miron, T. Jungwirth, J. Sinova, A. Thiaville, K. Garello, P. Gambardella

Před patnácti lety jsme poukázali na možnost, že se běžné nemagnetické materiály mohou začít chovat magneticky, pokud jimi prochází elektrický proud. Objev tohoto delikátního kvantově-relativistického jevu následně vedl k vývoje nové vysoce efektivní metody elektrického zápisu informace v magnetických paměťových čípech. V nedávné době nás rovněž přivedl k úspěšným pokusům, ve kterých jsme rozšířily magnetické materiály potenciálně vhodné pro konstrukci pamětí z feromagnetů do běžnějších antiferomagnetů. V tomto souhrnném článku popisujeme hlavní principy, dosažené výsledky a očekávaný budoucí rozvoj celého tohoto oboru tzv. relativistické spintroniky a to jak z pohledu základního fyzikálního výzkumu, tak i aplikací v mikroelektronice.



Přehled materiálů, funkcionalit a aplikací relativistické spintroniky



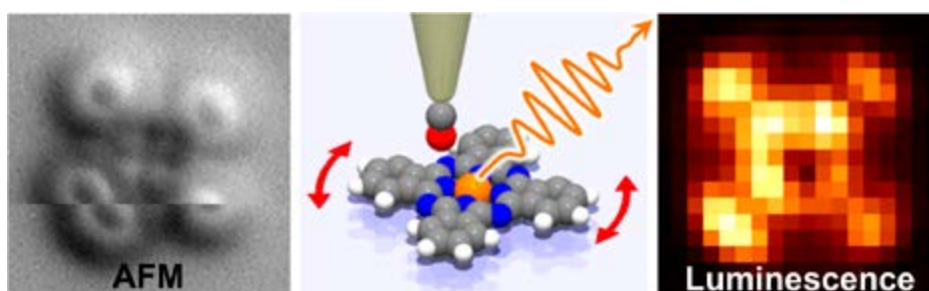
■ 14 Nano Lett. 19(12) (2019) 8605-8611
DOI: 10.1021/acs.nanolett.9b03180

Elektroluminiscence injekcí nosičů náboje pomocí hrotů funkcionalizovaných CO

J. Doležal, P. Merino, J. Redondo, L. Ondič, A. Cahlík, M. Švec

Zkoumali jsme elektroluminiscenci jednomolekulárních fotonových emitörů na vrstvách NaCl nesených Ag(111) a Au(111) se submolekulárním rozlišením pomocí nízkoteplotního rastrovacího tunelovacího mikroskopu, jež dokáže měřit tunelový proud, atomární síly a emisi světla zároveň. Byla studována role stavu hrotu ve fotonových mapách archetypálního fotoemitoru - ftalocyaninu zinku (ZnPc) - pomocí hrotů čistě kovových a CO-funkcionalizovaných. Ukázalo se, že funkcionalizace CO má zásadní dopad na rozlišení a kontrast fotonových map díky lokálnímu překryvu p-orbitalů hrotu a molekulárních orbitalů emitoru. Byla prokázána možnost užití stejného hrotu funkcionalizovaného CO jak na hrotem zesílenou detekci fotonů tak i na měření atomárních sil.

Dále jsme studovali elektroluminiscenci ZnPc způsobenou injekcí nosičů náboje při dostatečně velkém napětí. Přicházíme s ideou, že různé energetické zarovnání předních molekulárních orbitalů s Fermiho hladinami Au(111) and Ag(111) řídí, který excitační mechanismus bude pro daný systém primární, tj. zda injekce elektronů z hrotu do molekuly nebo děr. Tato zjištění podtrhují význam stavu hrotu pro výsledné fotonové mapy a přispívají k lepšímu pochopení fotofyziky organických molekul na površích pevných látek.



Kombinovaná mikroskopie atomárních sil a mapování elektroluminiscence na jediné molekule ZnPc, prováděná pomocí hrotu funkcionalizovaného molekulou CO

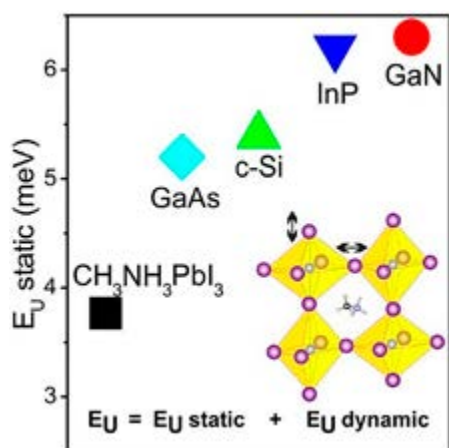


■ 15 J. Phys. Chem. Lett. 10 (2019) 1368–1373
 DOI: 10.1021/acs.jpcllett.9b00138

Teplotní závislost Urbachovy energie olovnato-jodidových perovskitů

M. Ledinský, T. Schönfeldová, J. Holovský, E. Aydın, Z. Hájková,
 L. Landová, N. Neyková, A. Fejfar, S. De Wolf

Detailní zkoumání absorpčního spektra halidových perovskitů je nepostradatelným nástrojem pro pochopení jejich fotovoltaických a luminiscenčních vlastností. V tomto článku se soustředíme na teplotní závislost absorpčních spekter jodidových tenkých perovskitových vrstev ($\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$), s důrazem na změny absorpce na hraně zakázaného pásu (tzv. Urbachovy energie). Z naměřených dat je zřejmá univerzální relace mezi Urbachovou energií a ztrátami v napětí na prázdno. Navíc je z nich možné určit relativní hustotu rekombinačně aktivních defektů v tomto materiálu, která v našem případě je 3.8 ± 0.7 meV. Tato hodnota je výrazně menší než odpovídající hodnota pro monokrystaly křemíku, galium arsenidu, indium fosfidu či galium nitridu, což jasně ukazuje na výjimečné optoelektronické vlastnosti halidových perovskitů.



Porovnání velikostí statické Urbachovy energie, získané z její tepelné závislosti, pro monokrystaly optoelektronicky významných polovodičů a tenkou vrstvu halidových perovskitových mikrokystalů. Perovskity mají velmi nízkou hustotu aktivních defektů.



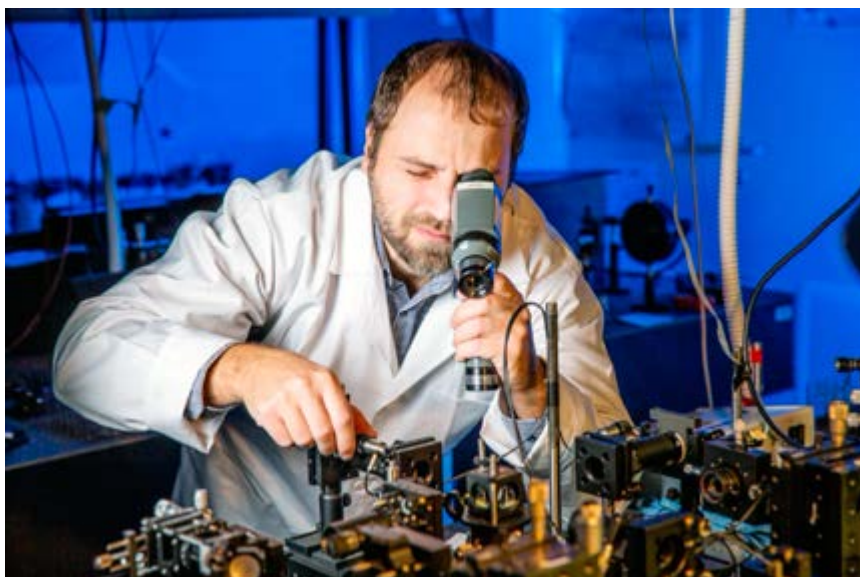
Sekce 4

- 16 Phys. Rev. Lett. 122 (2019) 170501
DOI: 10.1103/PhysRevLett.122.170501

První realizace kontrolované kvantové teleportace

A. Barasiński, Antonín Černocho, Karel Lemr

Základní buňkou rychlého kvantového internetu by se v budoucnu mohla stát kontrolovaná teleportace kvantových bitů, kterou jako první na světě experimentálně ověřili odborníci ze Společné laboratoře optiky Přírodovědecké fakulty UP a Fyzikálního ústavu AV ČR. Díky kontrolovanému přenosu kvantového stavu lze výrazně zrychlit tok informací v komunikační síti mezi mnoha uživateli, a to i na velké vzdálenosti. Výsledky bádání týmu olomouckých vědců byly zveřejněny v prestižním časopise Physical Review Letters.



A. Černocho v laboratoři kvantového zpracování informace, Společná laboratoř optiky UP a FZÚ AV ČR

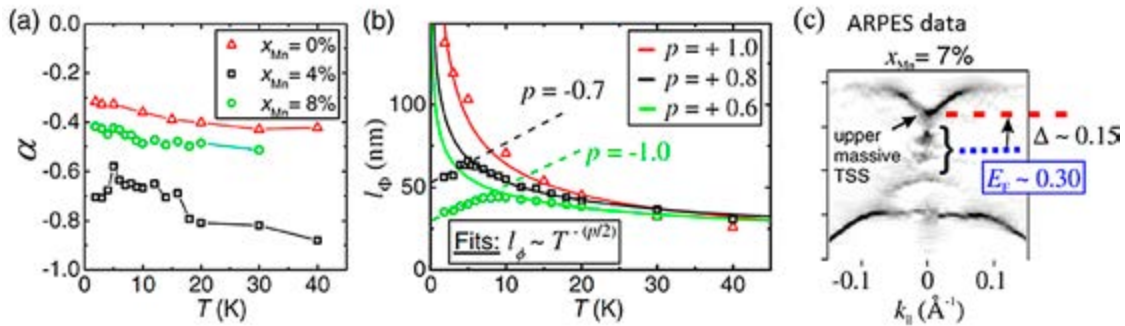


■ 17 Phys. Rev. Lett. 123 (2019) 036406
 DOI: 10.1103/PhysRevLett.123.036406

Vliv anomální fázové koherence na vodivost magnetických topologických izolátorů Mn :Bi2Se3

V. Tkáč et al. (z FZU: M. Vondráček, J. Honolka)

Nedávno publikovaná teorie [PRL 112, 146601 (2014)] na magneticky dopovaných topologických izolátorech předpovídá, že kvantové korekce $\Delta\kappa$ pro teplotní závislost elektrické vodivosti mohou změnit znaménko při přechodu přes Curieho teplotu. Tato změna je přisuzována potlačení Berryho fáze topologického povrchového stavu kvůli mezeře v energii způsobené přítomností magnetického uspořádání. Ukázali jsme, že změna znaménka může nastat v zachované Berryho fázi a vyřešili jsme rozpory rozvinutím teorie na nemonotónní teplotní závislost neelastických rozptylových délek vykazujících změnu při Curieově přechodu.



Vliv koncentrace Mn na vlastnosti Bi2Se3 tenkých vrstev

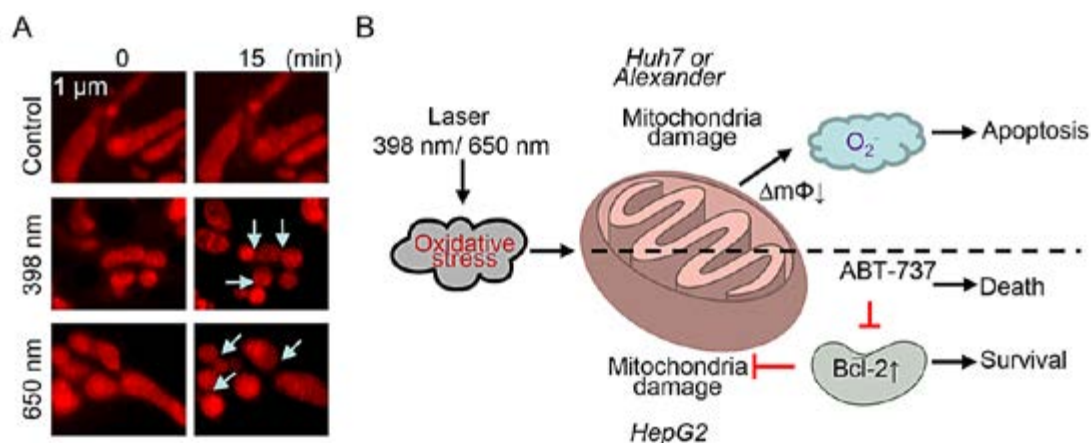


■ 18 Cell. Mol. Life Sci. (2019)
 DOI: 10.1007/s00018-019-03321-z

Světlem indukovaná modulace mitochondriální respirace: možnosti a omezení

Lunova, M., Smolková, B., Uzhytchak, M. et al. (z FZU M. Lunova, B. Smolková, M. Uzhytchak, Š. Kubinová, A. Dejneka, O. Lunov)

Biologické účinky laserů jsou již známé po dlouhý čas, avšak molekulární mechanismus buňkové odpovědi zůstává nejasný. Odhalili jsme, že mitochondrie slouží jako „senzor“ a „efektor“ pro nespecifickou reakci laseru s buňkami. Naše zjištění odhalují mechanismus, jakým laserová iradiace interferuje s buněčnou homeostázou a dokazuje, že laser umožňuje ovládání mitochondriální funkce bez použití chemických nebo biologických látek.



Interakce buněk s laserovou iradiací



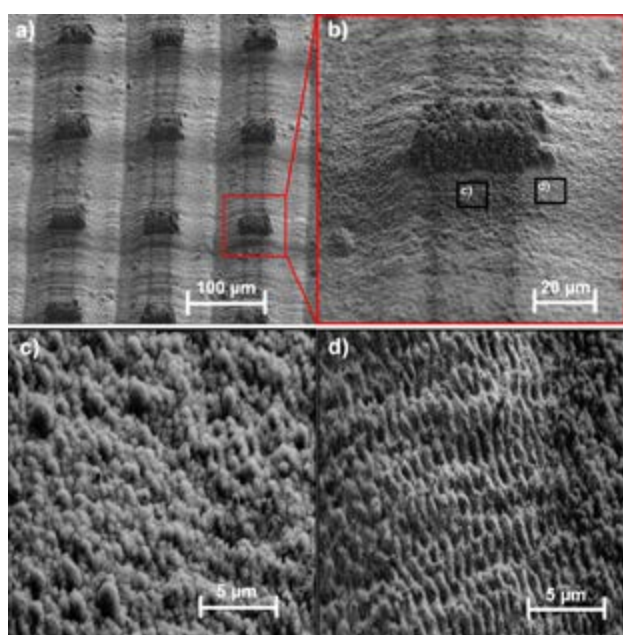
Sekce 5

■ 19 Appl. Surf. Sci. 493 (2019) 287-293
DOI: 10.1016/j.apsusc.2019.07.035

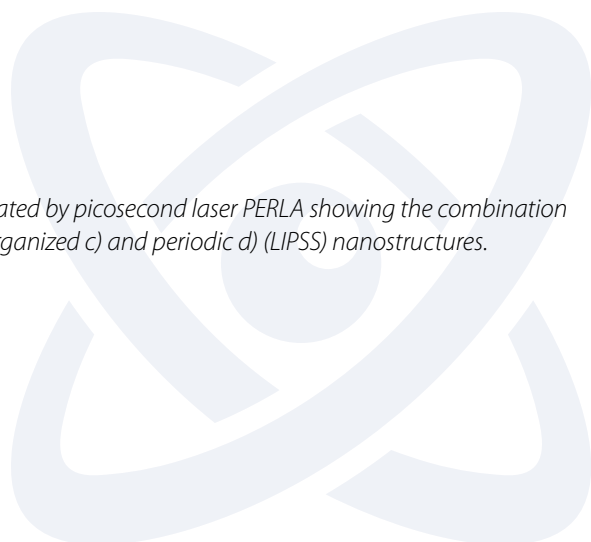
Superhydrofóbní letecká slitina AL7075 vytvořená pikosekundovým laserem bez využití fluoru

R. Jagdheesh, P. Hauschwitz, J. Mužík, J. Brajer, D. Rostohar, P. Jiříček, J. Kopeček, T. Mocek

Kovové povrchy odpuzující vodu jsou velmi žádané v mnoha odvětvích vědy i průmyslu pro celou řadu potenciálních aplikací zahrnujících například nemrznoucí, nereznoucí a samočistící povrchy. S inspirací v přírodních strukturách byly laserem PERLA, vyvinutým v centru HiLASE, na povrchu slitiny AL7075 vytvořeny lamelární a lotosovému listu podobné struktury pokryté vrstvou nanostruktur. Tato topografie povrchu je závislá na plošné hustotě energie laserového záření a vzájemné vzdálenosti jednotlivých laserových přejezdů po vzorku. Po laserovém opracování byl hydrofilní vzorek umístěn do vakua, kde došlo k redukci povrchové energie v důsledku tvorby uhlovodíků a změně smáčivosti. Analýza těchto výsledků odhaluje důležitost kombinace efektu hierarchických struktur a dominantního zastoupení nepolárních prvků pro výrobu superhydrofóbních povrchů. Povrchová geometrie je zodpovědná za změnu smáčivosti v důsledku uvěznění vzduchu a tvorbě kompozitního rozhraní pevná látka – voda – vzduch. Kombinace mikro a nanostruktur je nezbytná pro trvalé a neměnné superhydrofóbní vlastnosti povrchu i v případě velkých objemů vodních kapek.



SEM photography of superhydrophobic surface structures fabricated by picosecond laser PERLA showing the combination of micropillars a) with a pillar detail on b), covered by random-organized c) and periodic d) (LIPSS) nanostructures.

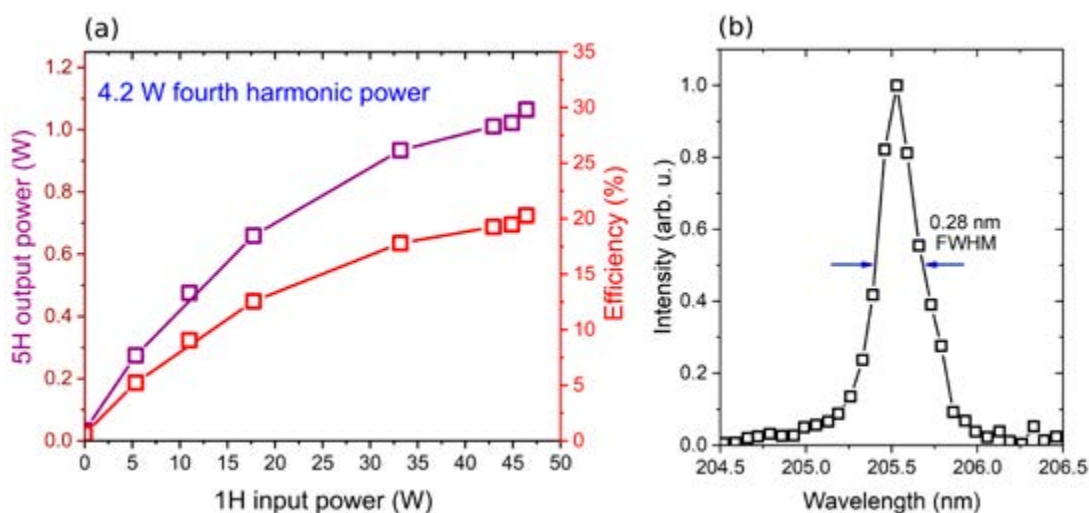


■ 20 Opt. Express 27(17) (2019) 24286-24299
 DOI: 10.1364/OE.27.024286

Nová pozorování vlastností tvrdého ultrafialového záření (UVC) o vlnových délkách 257 nm a 206 nm, které je generováno pikosekundovým diodově buzeným tenkodiskovým laserem.

H. Turcicova, O. Novak, L. Roskot, M. Smrz, J. Muzik, M. Chyla, A. Endo, T. Mocek

Tvrdé ultrafialové záření (UVC) o vlnových délkách 257 nm a 206 nm bylo generováno jako 4. a 5. harmonická frekvence ze základní vlnové délky 1030 nm diodově čerpaného vysokovýkonného tenkodiskového (Yb:YAG) laseru PERLA o opakovací frekvenci 77 kHz. Délka pulzu byla 1,5 ps. Využití tohoto typu elektromagnetického záření je ve vědě (spektroskopie, tvorba fotoelektronů), medicíně, ale hlavně v průmyslu (opracování materiálu, litografie). Použili jsme dva nelineární krystaly CLBO jako konvertory do UVC záření. 4. harmonickou jsme vytvořili jako kaskádní proces druhých harmonických ze základního svazku, 5. harmonickou jako sčítání frekvencí $1\omega+4\omega$. Dosažený výkon na 5. harmonické 1 W je jedním z nejvyšších, které kdy vůbec byly dosaženy pro pikosekundové pulzy. Měřili jsme externí projevy absorpce dvou UVC fotonů (TPA), tj. úhel rozfázování v důsledku tepla uvolněného při dvoufotonové absorpci a koeficient nelineární absorpce. Experimentálně a v simulacích jsme určili optimální zpoždění pulzu základního svazku za pulzem 4. harmonické, tak aby svazek 5. harmonické měl nejvyšší výkon. Pro pikosekundové pulzy jsme zjistili a kvantifikovali dosud nepublikovaný fakt, že při tvorbě 5. harmonické je prospěšný nadbytek fotonů základního svazku, avšak pouze v příslušně krátkých krystalech.



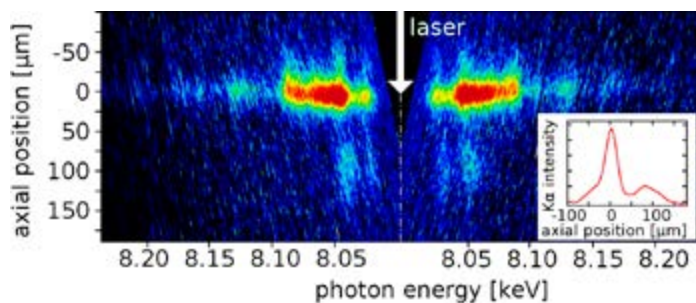
(a) Závislost výstupního výkonu 5. harmonické na vstupním výkonu 1. harmonické, kdy vstup 4. harmonické je konstantní 4,2 W. Účinnost konverze (červená křivka, pravá osa) udává počet fotonů 4. harmonické konvertovaných do 5. harmonické.
 (b) Spektrum 5. harmonické

■ 21 Nat. Commun. 10 (2019) 4212 (1-8)
DOI: 10.1038/s41467-019-12008-9

Prostorově a časově rozlišená rentgenová spektroskopická diagnostika generace horkých elektronů v laserovém plazmatu s parametry relevantními pro realizaci inerciálně udržované fúze

M. Šmíd, O. Renner, A. Colaitis, V. T. Tikhonchuk, T. Schlegel, F.B. Rosmej

Detailní charakterizace horkých elektronů (HE) generovaných interakcí intenzivních laserových svazků s pevnými látkami je důležitá pro rozvoj fyziky systémů s vysokou koncentrací energie a vývoj alternativních schémat pro realizaci inerciálně udržované fúze. Experimenty provedené na laserovém systému PALS prokázaly výrazné zpoždění mezi maximem laserového pulsu a generací HE. Kombinace rentgenové spektroskopie s atomovou fyzikou nabízí nový přístup k charakterizaci HE uvnitř látek o vysoké hustotě.



Experimentálně pozorovaná zrcadlově symetrická spektra emise Cu Ka z laserově ozářené fólie mědi zviditelňují distribuci horkých elektronů v relativně chladném a hustém materiálu terčíku. Dvoudimenzionální hydrodynamické modelování kombinované s netermálními atomovými simulacemi interpretuje velký prostorový rozsah emise Ka z deformované fólie jako důsledek zpoždění (250-500 ps) mezi maximem laserového pulsu a přítomností horkých elektronů.



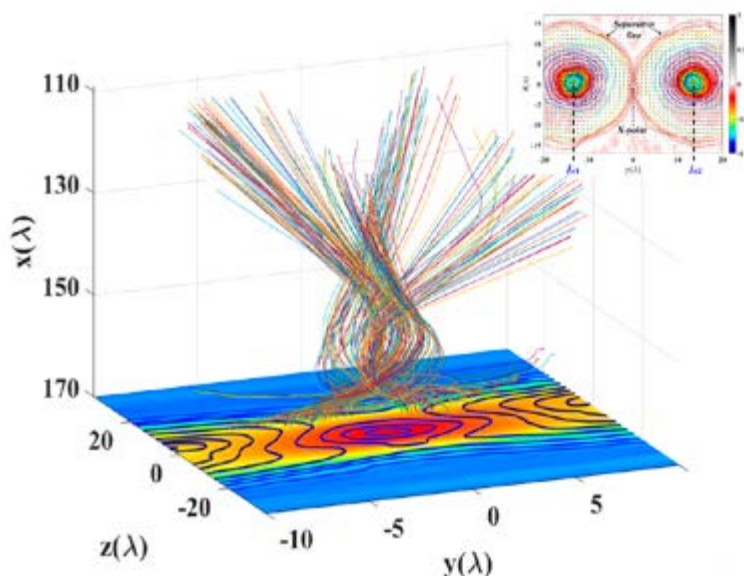
Sekce 9

■ 22 Sci. Rep. 9 (2019) 19462
DOI: 10.1038/s41598-019-55976-0

Generace elektromagnetického výtrysku během anihilace magnetického pole při relativistické interakci laseru s plasmatem

Y. J. Gu, F. Pegoraro, P. V. Satorov, D. Golovin, A. Yogo, G. Korn, a S. V. Bulanov

V tomto článku zkoumáme relativistickou magnetickou rekonekci v bezesrážkovém plazmatu pomocí trojrozměrných částicových simulací. Práce je motivována skutečností, že vysvětlení úzkého energetického spektra gama záblesku pozorovaného v Krabí mlhovině stále není v astrofyzice jasné. Výsledky generace monoenergetických svazků elektronů získané v naší práci podporují myšlenku ultra-relativistického urychlování elektronů rekonekcí magnetických siločar. Naše výsledky přispívají k výzkumu relativistických režimů rychlé disipace magnetického pole, kde se energie makroskopického magnetického pole přeměňuje na energii kolimovaných svazků nabitých částic. Náš výsledek také poskytuje také základ pro budoucí experimenty studia astrofyzikálních procesů probíhajících na laserových zařízeních.



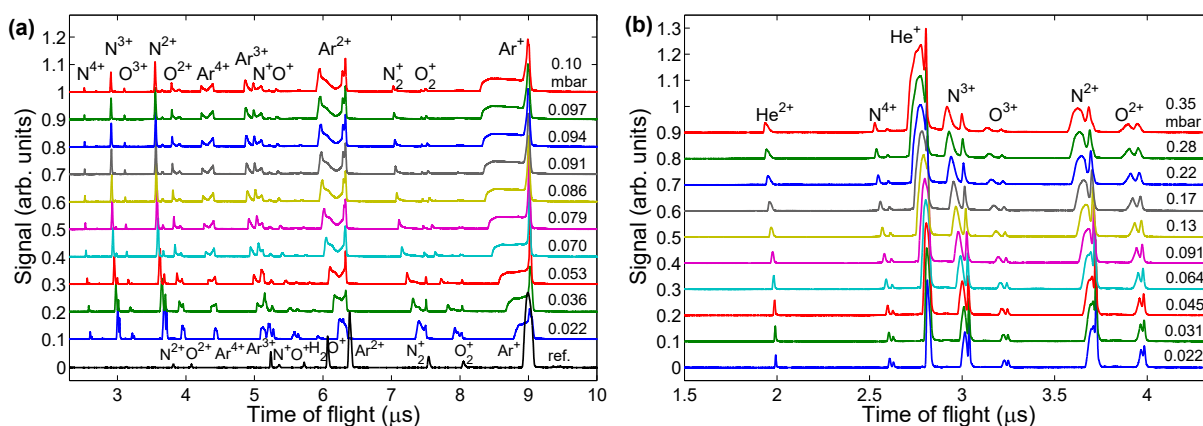
Typické trajektorie elektronů urychlených z oblasti rekonekce magnetického pole induktivním elektrickým polem (pole ukázáno v rovině y - z). Takzvaná X-line struktura se vytvoří, když se magnetická pole s opačnými polaritami spojí (znázorněno ve vloženém obrázku). Separatrix vytváří v příčném řezu křivku podobnou tvaru čísla 8 v místě, kde je pole nulové.

■ 23 Sci. Rep. 9 (2019) 8851
 DOI: 10.1038/s41598-019-45120-3

Vznik plazmového kanálu v plynu z aerosolového injektoru nanočástic ozářeném NIR laserem

E. Klimešová, O. Kulyk, Yanjun G, L. Dittrich, G. Korn, J. Hajdu, M. Krikunova, J. Andreasson

Aerosolové injektory nanočástic jsou důležité pro experimenty na izolovaných nanočásticích ve vakuu obklopených plynem. V práci zkoumáme, jak tento plyn interaguje s intenzivním blízkým infračerveným laserovým pulzem. Ionizací plynu vzniká za laserovým pulzem plazmový kanál. Následnou Coulombickou explozí vytvořeného plazmového kanálu dochází k urychlování iontů, které mají podstatný vliv na celou interakci. Výsledky lze použít ke kalibraci hustoty plynu v experimentech s injektorem a ke zkoumání dynamiky elektronů a iontů v nanočásticích obklopených plynem.



Měřený iontový signál (jednotlivá měření vertikálně posunuta pro přehlednost) injektorového plynu ozářeného NIR laserem při různých vstupních tlacích aerodynamické čočky. Vlnová délka: 800 nm, délka pulzu: 120 fs, maximální intenzita: $9 \times 10^{15} \text{ Wcm}^{-2}$, vzdálenost od konce aerodynamické čočky: 11 mm. (a) Argon. Spodní černá čára ukazuje referenční měření, kde byla celá vakuová komora naplněna argonem (bez použití injektoru). (b) Helium. Vstupní tlak aerodynamické čočky v milibarech je zobrazen vedle každého měření.

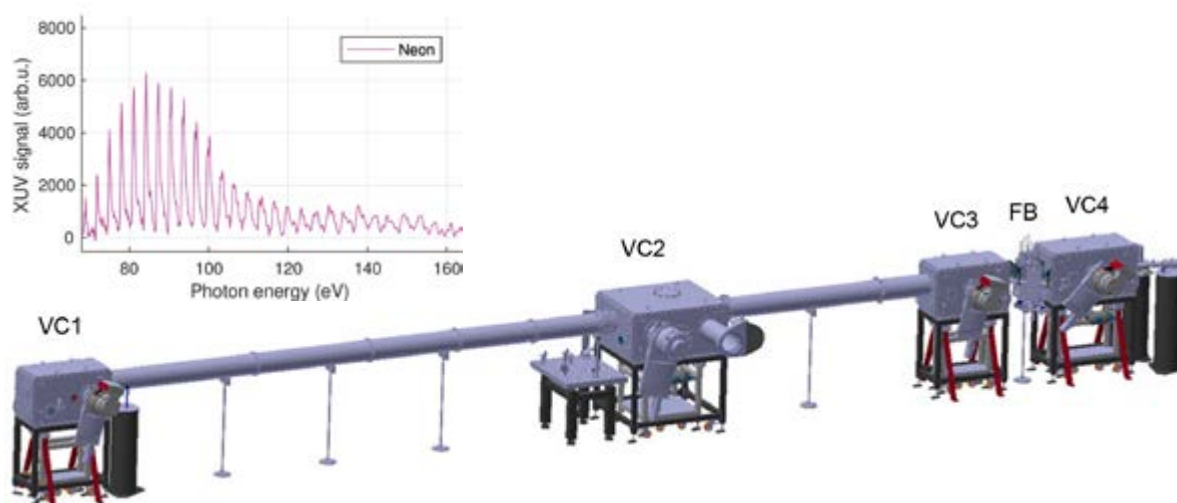


■ 24 Opt. Express 27 (2019) 8871-8883
 DOI: 10.1364/OE.27.008871

Zdroj koherentních XUV impulzů s vysokým výkonem pro uživatelské aplikace

O. Hort, M. Albrecht, V. E. Nefedova, O. Finke, D. D. Mai, S. Reyné, F. Giambruno, F. Frassetto, L. Poletto, J. Andreasson, J. Gautier, S. Sebban, J. Nejdl

V tomto článku prezentujeme experimentální výsledky získané na uživatelsky orientované XUV beamline implementované na ELI Beamlines. Koherentní XUV záření je vytvářené procesem generace vysokých harmonických frekvencí femtosekundového laseru v plynu při dlouhé ohniskové vzdálenosti fokusačního elementu tohoto laseru. Zařízení je navrženo tak, aby bylo schopno efektivně využít impulzy s energií 100 mJ, délkou 20 fs, centrální vlnovou délkou 830 nm a opakovací frekvencí 1 kHz. V článku prezentujeme spektra generovaného záření a energie XUV impulzů při použití budícího laserového systému s energií impulzu 5 mJ, délkou 40 fs a opakovací frekvencí 1 kHz. Stejně tak je zde popsán jedinečný XUV spektrometr pro charakterizaci zdroje, navržený k dosažení velmi vysoké citlivosti, a nová technika pro nedestrukční měření energie XUV impulzů.



Experimentální uspořádání vakuových komor HHG Beamline: VC1- fokusace/ překlopení svazku, VC2 – generace vysokých harmonických frekvencí, VC3 + FB – filtrování laserového záření, VC4 – diagnostika XUV svazku. Vložený obrázek znázorňuje XUV spektrum vysokých harmonických generovaných v neonu.



2.10.3 Knihy, monografie

1. B. S. Acharya et al. (The Cherenkov Telescope Array Consortium, z FZÚ: **J. Blažek, J. Chudoba, J. Ebr, P. Janeček, J. Juryšek, D. Mandát, M. Palatka, M. Pech, M. Prouza, P. Schovánek, P. Trávníček, M. Vraštil**)
Science with the Cherenkov Telescope Array
Science with the Cherenkov Telescope Array, ed. Ng Kah Fee, World Scientific Publishing Company, 2019, 338 p., ISBN: 978-981-327-008-4
2. **J. Hlinka, J. Pokorný, A. Bubnov**
TOPO2019: Topological structures in ferroic materials
Eds. J. Hlinka, J. Pokorný, A. Bubnov; Prague; (2019) pp. 1-95; ISBN:978-80-907237-0-2.
3. P. Škácha, **J. Plášil**, V. Horák
JÁCHYMOV—the mineralogical pearl of the Erzgebirge
Kniha: JÁCHYMOV—mineralogická perla Krušnohoří
JÁCHYMOV—mineralogická perla Krušnohoří

2.10.4 Kapitoly v knihách

1. Barrachina, Navarrete, Ciappina, Schulz
Coherence and contextuality in scattering experiments
The Few-Body Problem in Dynamic Systems Edited by Michael Schulz, (De Gruyter, Berlin, 2019) ISBN 978-3-11-057942-0 e-ISBN (PDF) 978-3-11-058029-7 e-ISBN (EPUB) 978-3-11-057946-8 Library of Congress Control Number: 2019947517
2. M. A. Belyanchikov, **M. Savinov**, Z. V. Bedran, **P. Bednyakov**, P. Proschek, J. Prokleska, V. I. Torgashev, E. S. Zhukova, S. S. Zhukov, L. S. Kadyrov, V. Thomas, A. Dudka, A. Zhugayevych, V. B. Anzin, R. K. Kremer, J. K. H. Fischer, P. Lunkenheimer, A. Loidl, E. Uykur, M. Dressel, B. Gorshunov
Broad-Band Spectroscopy of Nanoconfined Water Molecules
Springer Nature Switzerland AG 2020, I. Tiginyanu et al. (eds.), 4th International Conference on Nanotechnologies and Biomedical Engineering, IFMBE Proceedings 77, pp.7-11, Proceedings of ICNBME-2019, September 18-21, 2019, Chisinau, Moldova
3. **E. Buixaderas**, J. Dec
Phonons and relaxations in unfilled tetragonal tungsten-bronzes
OAJ Materials and Devices, Vol 4 (2), 1227 (2019)—DOI : 10.23647/ca.md20191227 Chapter in „Perovskites and other Framework Structure Materials: new trends and perspectives“, editors M.B. Smirnov and P. Saint-Grégoire, Publ. by Collaborating Academics IP,—to appear in 2020 (France)
Phonons and relaxations in unfilled tetragonal tungsten-bronzes
4. S. P. David, D. Sarkar
Transparent Ceramics
Chapter 3 in Ceramic processing—Industrial practice, eds. Debasish Sarkar, CRC press, 28.6.2019, pp.71-97
5. S. P. David, D. Sarkar
Porous Ceramic
(2019)
6. I. Fina, **X. Martí**
Spintronic Functionalities in Multiferroic Oxide-Based Heterostructures
Oxide Spintronics
7. **J. Hlinka, P. Ondrejko**
Skyrmions in ferroelectric materials
Chapter 4 in Recent Advances in Topological Ferroics and their Dynamics, edited by Robert L. Stamps, Helmut Schultheiß, in series Solid State Physics, Vol. 70, Academic Press, 2019, pp. 143-169.
8. **E. Hulcius, A. Hospodková, M. Zíková**
Quantum Dots
Chapter 6: Quantum dots (pp. 175-216), in: Metalorganic Vapor Phase Epitaxy (MOVPE): Growth, Materials Properties, Ed.: Stuart Irvine, Peter Capper, Wiley Series in Materials for Electronic & Optoelectronic Applications, ISBN: 978-1-119-31301-4, October 2019, 584 Pages.

9. Š. Jelínková, I. Kratochvílová, M. Pešl, P. Skládal, V. Rotrekl, J. Příbyl
Influence of selected cryoprotectants on regeneration of cryopreserved cells properties
Stem Cells: From Myth to Reality and Evolving
10. J. Petzelt and D. Nuzhnyy
Soft polar phonon mode in SrTiO₃ single crystals, ceramics and thin films
Chapter 1 in Strontium Titanate: Synthesis, Properties and Uses, eds. A. Tkach and P. Vilarinho, in series Materials Science and Technologies, Nova Science Publishers, 2019, pp. 1-39.
11. P. Pokorný, M. Novotný
Radicals and ions in magnetron sputtering discharges in noble gases
Chapter 2 in Horizons in World Physics, ed. A. Reimer, vol. 297, Nova Science Publishers, Inc., 2019, ISBN: 978-1-53614-712-4, pp. 59-116
12. O. Sidletskiy, P. Arhipov, S. Tkachenko, Ia. Gerasymov, D. Kurtsev, V. Jarý, R. Kučerková, M. Nikl, K. Lebbou, E. Auffray.
Garnet Crystal Growth in Non-precious Metal Crucibles. In: Engineering of Scintillation Materials and Radiation Technologies.
Sidletskiy O. et al. (2019) Garnet Crystal Growth in Non-precious Metal Crucibles. In: Korzhik M., Gektin A. (eds) Engineering of Scintillation Materials and Radiation Technologies. ISMART 2018. Springer Proceedings in Physics, vol 227. Springer, Cham

2.10.5 Publikace v impaktovaných časopisech

Fyzika vysokých energií

1. A Acharyya et al. (z FZÚ: J. Blažek, J. Ebr, P. Janeček, D. Mandát, M. Palatka, M. Pech, M. Prouza, P. Schovánek, P. Trávníček)
Monte Carlo studies for the optimisation of the Cherenkov Telescope Array layout
Astropart Phys. 111 (2019) 35–53.
2. A. Aab et al. (The Pierre Auger Collaboration, z FZÚ: A. Bakalová, J. Blažek, M. Boháčová, J. Chudoba, J. Ebr, J. Juryšek, D. Mandát, M. Palatka, M. Pech, M. Prouza, J. Řídký, E. Santos, P. Schovánek, P. Trávníček, J. Vícha, A. Yushkov)
Measurement of the average shape of longitudinal profiles of cosmic-ray air showers at the Pierre Auger Observatory
J. Cosmol. Astropart. Phys. 2019 (2019) 018(1)–018(19).
3. A. Aab et al. (The Pierre Auger Collaboration, z FZÚ: A. Bakalová, J. Blažek, M. Boháčová, J. Chudoba, J. Ebr, J. Juryšek, D. Mandát, M. Palatka, M. Pech, M. Prouza, J. Řídký, E. Santos, P. Schovánek, P. Trávníček, J. Vícha, A. Yushkov)
Data-driven estimation of the invisible energy of cosmic ray showers with the Pierre Auger Observatory
Phys. Rev. D 100 (2019) 082003(1)–082003(18).
4. A. Aab et al. (The Pierre Auger Collaboration, z FZÚ: A. Bakalová, J. Blažek, M. Boháčová, J. Chudoba, J. Ebr, J. Juryšek, D. Mandát, M. Palatka, M. Pech, M. Prouza, J. Řídký, E. Santos, P. Schovánek, P. Tobiška, P. Trávníček, J. Vícha, A. Yushkov)
Probing the origin of ultra-high-energy cosmic rays with neutrinos in the EeV energy range using the Pierre Auger Observatory
J. Cosmol. Astropart. Phys. 2019 (2019) 022(1)–022(28).
5. A. Aab et al. (The Pierre Auger Collaboration, z FZÚ: A. Bakalová, J. Blažek, M. Boháčová, J. Chudoba, J. Ebr, J. Juryšek, D. Mandát, M. Palatka, M. Pech, M. Prouza, J. Řídký, E. Santos, P. Schovánek, P. Trávníček, J. Vícha, A. Yushkov)
Limits on point-like sources of ultra-high-energy neutrinos with the Pierre Auger Observatory
J. Cosmol. Astropart. Phys. 11 (2019) 004–.
6. M. Aaboud et al. (ATLAS Collaboration, z FZÚ J. Chudoba, J. Hejbal, O. Hladík, P. Jacka, T. Jakoubek, O. Kepka, J. Kroll, A. Kupčo, M. Lokajíček, R. Lysák, M. Marčíšovský, M. Mikeščíková, S. Němeček, O. Penc, P. Šícho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský)
Search for scalar resonances decaying into $\mu+\mu-$ in events with and without b -tagged jets produced in proton-proton collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV with the ATLAS detector
JHEP 1907 (2019) 117(1)–117(39).

7. M. Aaboud et al. (ATLAS Collaboration, z FZÚ J. Chudoba, J. Hejbal, O. Hladík, P. Jacka, T. Jakoubek, O. Kepka, J. Kroll, A. Kupčo, M. Lokajíček, R. Lysák, M. Marčíšovský, M. Mikeščíková, S. Němeček, O. Penc, P. Šícho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský)
Measurement of the $tt\bar{Z}$ and $tt\bar{W}$ cross sections in proton-proton collisions at $s\sqrt{=13}$ TeV with the ATLAS detector
Phys. Rev. D 99 (2019) 072009(1)–072009(38).
8. M. Aaboud et al. (ATLAS Collaboration, z FZÚ J. Chudoba, J. Hejbal, O. Hladík, P. Jacka, T. Jakoubek, O. Kepka, J. Kroll, A. Kupčo, M. Lokajíček, R. Lysák, M. Marčíšovský, M. Mikeščíková, S. Němeček, O. Penc, P. Šícho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský)
Search for top-quark decays $t \rightarrow Hq$ with 36 fb^{-1} of pp collision data at $s\sqrt{=13}$ TeV with the ATLAS detector
JHEP 1905 (2019) 123(1)–123(68).
9. M. Aaboud et al. (ATLAS Collaboration, z FZÚ J. Chudoba, J. Hejbal, O. Hladík, P. Jacka, T. Jakoubek, O. Kepka, J. Kroll, A. Kupčo, M. Lokajíček, R. Lysák, M. Marčíšovský, M. Mikeščíková, S. Němeček, O. Penc, P. Šícho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský)
Search for chargino and neutralino production in final states with a Higgs boson and missing transverse momentum at $s\sqrt{=13}$ TeV with the ATLAS detector
Phys. Rev. D 100 (2019) 012006(1)–012006(37).
10. M. Aaboud et al. (ATLAS Collaboration, z FZÚ J. Chudoba, J. Hejbal, O. Hladík, P. Jacka, T. Jakoubek, O. Kepka, J. Kroll, A. Kupčo, M. Lokajíček, R. Lysák, M. Marčíšovský, M. Mikeščíková, S. Němeček, O. Penc, P. Šícho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský)
Search for large missing transverse momentum in association with one top-quark in proton-proton collisions at $s\sqrt{=13}$ TeV with the ATLAS detector
JHEP 1905 (2019) 041(1)–041(50).
11. M. Aaboud et al. (ATLAS Collaboration, z FZÚ J. Chudoba, J. Hejbal, O. Hladík, P. Jacka, T. Jakoubek, O. Kepka, J. Kroll, A. Kupčo, M. Lokajíček, R. Lysák, M. Marčíšovský, M. Mikeščíková, S. Němeček, O. Penc, P. Šícho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský)
Properties of $g \rightarrow b\bar{b}$ at small opening angles in pp collisions with the ATLAS detector at $s\sqrt{=13}$ TeV
Phys. Rev. D 99 (2019) 052004(1)–052004(26).
12. M. Aaboud et al. (ATLAS Collaboration, z FZÚ J. Chudoba, J. Hejbal, O. Hladík, P. Jacka, T. Jakoubek, O. Kepka, J. Kroll, A. Kupčo, M. Lokajíček, R. Lysák, M. Marčíšovský, M. Mikeščíková, S. Němeček, O. Penc, P. Šícho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský)
Search for single production of vector-like quarks decaying into Wb in pp collisions at $s\sqrt{=13}$ TeV with the ATLAS detector
JHEP 1905 (2019) 164(1)–164(56).
13. M. Aaboud et al. (ATLAS Collaboration, z FZÚ J. Chudoba, J. Hejbal, O. Hladík, P. Jacka, T. Jakoubek, O. Kepka, J. Kroll, A. Kupčo, M. Lokajíček, R. Lysák, M. Marčíšovský, M. Mikeščíková, S. Němeček, O. Penc, P. Šícho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský)
Electron and photon energy calibration with the ATLAS detector using 2015–2016 LHC proton-proton collision data
JINST 14 (2019) 03017(1)–03017(61).
14. M. Aaboud et al. (ATLAS Collaboration, z FZÚ J. Chudoba, J. Hejbal, O. Hladík, P. Jacka, T. Jakoubek, O. Kepka, J. Kroll, A. Kupčo, M. Lokajíček, R. Lysák, M. Marčíšovský, M. Mikeščíková, S. Němeček, O. Penc, P. Šícho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský)
Search for heavy long-lived multicharged particles in proton-proton collisions at $s\sqrt{=13}$ TeV using the ATLAS detector
Phys. Rev. D 99 (2019) 052003(1)–052003(26).
15. M. Aaboud et al. (ATLAS Collaboration, z FZÚ J. Chudoba, J. Hejbal, O. Hladík, P. Jacka, T. Jakoubek, O. Kepka, J. Kroll, A. Kupčo, M. Lokajíček, R. Lysák, M. Marčíšovský, M. Mikeščíková, S. Němeček, O. Penc, P. Šícho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský)
Study of the rare decays of B_s and B_0 mesons into muon pairs using data collected during 2015 and 2016 with the ATLAS detector
JHEP 1904 (2019) 098(1)–098(44).
16. M. Aaboud et al. (ATLAS Collaboration, z FZÚ J. Chudoba, J. Hejbal, O. Hladík, P. Jacka, T. Jakoubek, O. Kepka, J. Kroll, A. Kupčo, M. Lokajíček, R. Lysák, M. Marčíšovský, M. Mikeščíková, S. Němeček, O. Penc, P. Šícho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský)
Measurements of inclusive and differential fiducial cross-sections of $tt\bar{\gamma}$ production in leptonic final states at $s\sqrt{=13}$ TeV in ATLAS
Eur. Phys. J. C 79 (2019) 382(1)–382(56).

17. M. Aaboud et al. (ATLAS Collaboration, z FZÚ J. Chudoba, J. Hejbal, O. Hladík, P. Jacka, T. Jakoubek, O. Kepka, J. Kroll, A. Kupčo, M. Lokajíček, R. Lysák, M. Marčíšovský, M. Mikeščíková, S. Němeček, O. Penc, P. Šícho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský)
Measurements of inclusive and differential fiducial cross-sections of $t\bar{t}$ production with additional heavy-flavour jets in proton-proton collisions at $s\sqrt{= 13}$ TeV with the ATLAS detector
JHEP 1904 (2019) 046(1)–046(62).
18. M. Aaboud et al. (ATLAS Collaboration, z FZÚ J. Chudoba, J. Hejbal, O. Hladík, P. Jacka, T. Jakoubek, O. Kepka, J. Kroll, A. Kupčo, M. Lokajíček, R. Lysák, M. Marčíšovský, M. Mikeščíková, S. Němeček, O. Penc, P. Šícho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský)
Search for Higgs boson pair production in the $WW^{()}WW^{(*)}$ decay channel using ATLAS data recorded at $s\sqrt{=13}$ TeV*
JHEP 1905 (2019) 124(1)–124(39).
19. M. Aaboud et al. (ATLAS Collaboration, z FZÚ J. Chudoba, J. Hejbal, O. Hladík, P. Jacka, T. Jakoubek, O. Kepka, J. Kroll, A. Kupčo, M. Lokajíček, R. Lysák, M. Marčíšovský, M. Mikeščíková, S. Němeček, O. Penc, P. Šícho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský)
Study of the hard double-parton scattering contribution to inclusive four-lepton production in pp collisions at $s\sqrt{= 8}$ TeV with the ATLAS detector
Phys. Lett. B 790 (2019) 595–614.
20. M. Aaboud et al. (ATLAS Collaboration, z FZÚ J. Chudoba, J. Hejbal, O. Hladík, P. Jacka, T. Jakoubek, O. Kepka, J. Kroll, A. Kupčo, M. Lokajíček, R. Lysák, M. Marčíšovský, M. Mikeščíková, S. Němeček, O. Penc, P. Šícho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský)
Cross-section measurements of the Higgs boson decaying into a pair of τ -leptons in proton-proton collisions at $s\sqrt{=13}$ TeV with the ATLAS detector
Phys. Rev. D 99 (2019) 072001(1)–072001(58).
21. M. Aaboud et al. (ATLAS Collaboration, z FZÚ J. Chudoba, J. Hejbal, O. Hladík, P. Jacka, T. Jakoubek, O. Kepka, J. Kroll, A. Kupčo, M. Lokajíček, R. Lysák, M. Marčíšovský, M. Mikeščíková, S. Němeček, O. Penc, P. Šícho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský)
Search for long-lived particles produced in pp collisions at $s\sqrt{=13}$ TeV that decay into displaced hadronic jets in the ATLAS muon spectrometer
Phys. Rev. D 99 (2019) 052005(1)–052005(36).
22. M. Aaboud et al. (ATLAS Collaboration, z FZÚ J. Chudoba, J. Hejbal, O. Hladík, P. Jacka, T. Jakoubek, O. Kepka, J. Kroll, A. Kupčo, M. Lokajíček, R. Lysák, M. Marčíšovský, M. Mikeščíková, S. Němeček, O. Penc, P. Šícho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský)
Search for Higgs boson pair production in the $b\bar{b}WW^$ decay mode at $s\sqrt{=13}$ TeV with the ATLAS detector*
JHEP 1904 (2019) 092(1)–092(49).
23. M. Aaboud et al. (ATLAS Collaboration, z FZÚ J. Chudoba, J. Hejbal, O. Hladík, P. Jacka, T. Jakoubek, O. Kepka, J. Kroll, A. Kupčo, M. Lokajíček, R. Lysák, M. Marčíšovský, M. Mikeščíková, S. Němeček, O. Penc, P. Šícho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský)
Search for four-top-quark production in the single-lepton and opposite-sign dilepton final states in pp collisions at $s\sqrt{= 13}$ TeV with the ATLAS detector
Phys. Rev. D 99 (2019) 052009(1)–052009(36).
24. M. Aaboud et al. (ATLAS Collaboration, z FZÚ J. Chudoba, J. Hejbal, O. Hladík, P. Jacka, T. Jakoubek, O. Kepka, J. Kroll, A. Kupčo, M. Lokajíček, R. Lysák, M. Marčíšovský, M. Mikeščíková, S. Němeček, O. Penc, P. Šícho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský)
Search for the Production of a Long-Lived Neutral Particle Decaying within the ATLAS Hadronic Calorimeter in Association with a Z Boson from pp Collisions at $s\sqrt{= 13}$ TeV
Phys. Rev. Lett. 122 (2019) 151801(10)–151801(19).
25. M. Aaboud et al. (ATLAS Collaboration, z FZÚ J. Chudoba, J. Hejbal, O. Hladík, P. Jacka, T. Jakoubek, O. Kepka, J. Kroll, A. Kupčo, M. Lokajíček, R. Lysák, M. Marčíšovský, M. Mikeščíková, S. Němeček, O. Penc, P. Šícho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský)
Measurements of W and Z boson production in pp collisions at $s\sqrt{=5.02}$ TeV with the ATLAS detector
Eur. Phys. J. C 79 (2019) 128(1)–128(44).

26. M. Aaboud et al. (ATLAS Collaboration, z FZÚ J. Chudoba, J. Hejbal, O. Hladík, P. Jacka, T. Jakoubek, O. Kepka, J. Kroll, A. Kupčo, M. Lokajíček, R. Lysák, M. Marčíšovský, M. Mikeščíková, S. Němeček, O. Penc, P. Šícho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský)
Measurement of the photon identification efficiencies with the ATLAS detector using LHC Run 2 data collected in 2015 and 2016
Eur. Phys. J. C 79 (2019) 205(1)–205(55).
27. M. Aaboud et al. (ATLAS Collaboration, z FZÚ J. Chudoba, J. Hejbal, O. Hladík, P. Jacka, T. Jakoubek, O. Kepka, J. Kroll, A. Kupčo, M. Lokajíček, R. Lysák, M. Marčíšovský, M. Mikeščíková, S. Němeček, O. Penc, P. Šícho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský)
Measurement of the top quark mass in the $tt^- \rightarrow \text{lepton} + \text{jets}$ channel from $s\sqrt{=8}$ TeV ATLAS data and combination with previous results
Eur. Phys. J. C 79 (2019) 290(1)–290(76).
28. M. Aaboud et al. (ATLAS Collaboration, z FZÚ J. Chudoba, J. Hejbal, O. Hladík, P. Jacka, T. Jakoubek, O. Kepka, J. Kroll, A. Kupčo, M. Lokajíček, R. Lysák, M. Marčíšovský, M. Mikeščíková, S. Němeček, O. Penc, P. Šícho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský)
Search for heavy Majorana or Dirac neutrinos and right-handed W gauge bosons in final states with two charged leptons and two jets at $s\sqrt{=13}$ TeV with the ATLAS detector
JHEP 1901 (2019) 016(1)–016(51).
29. M. Aaboud et al. (ATLAS Collaboration, z FZÚ J. Chudoba, J. Hejbal, O. Hladík, P. Jacka, T. Jakoubek, O. Kepka, J. Kroll, A. Kupčo, M. Lokajíček, R. Lysák, M. Marčíšovský, M. Mikeščíková, S. Němeček, O. Penc, P. Šícho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský)
Measurement of photon–jet transverse momentum correlations in 5.02 TeV Pb + Pb and pp collisions with ATLAS
Phys. Lett. B 789 (2019) 167–190.
30. M. Aaboud et al. (ATLAS Collaboration, z FZÚ J. Chudoba, J. Hejbal, O. Hladík, P. Jacka, T. Jakoubek, O. Kepka, J. Kroll, A. Kupčo, M. Lokajíček, R. Lysák, M. Marčíšovský, M. Mikeščíková, S. Němeček, O. Penc, P. Šícho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský)
Search for invisible Higgs boson decays in vector boson fusion at $s\sqrt{=13}$ TeV with the ATLAS detector
Phys. Lett. B 793 (2019) 499–519.
31. M. Aaboud et al. (ATLAS Collaboration, z FZÚ J. Chudoba, J. Hejbal, O. Hladík, P. Jacka, T. Jakoubek, O. Kepka, J. Kroll, A. Kupčo, M. Lokajíček, R. Lysák, M. Marčíšovský, M. Mikeščíková, S. Němeček, O. Penc, P. Šícho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský)
A search for pairs of highly collimated photon-jets in pp collisions at $s\sqrt{=13}$ TeV with the ATLAS detector
Phys. Rev. D 99 (2019) 012008(1)–012008(29).
32. M. Aaboud et al. (ATLAS Collaboration, z FZÚ J. Chudoba, J. Hejbal, O. Hladík, P. Jacka, T. Jakoubek, O. Kepka, J. Kroll, A. Kupčo, M. Lokajíček, R. Lysák, M. Marčíšovský, M. Mikeščíková, S. Němeček, O. Penc, P. Šícho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský)
Measurements of gluon–gluon fusion and vector-boson fusion Higgs boson production cross-sections in the $H \rightarrow WW^ \rightarrow e\nu\mu\nu$ decay channel in pp collisions at $s\sqrt{=13}$ TeV with the ATLAS detector*
Phys. Lett. B 789 (2019) 508–529.
33. M. Aaboud et al. (ATLAS Collaboration, z FZÚ J. Chudoba, J. Hejbal, O. Hladík, P. Jacka, T. Jakoubek, O. Kepka, J. Kroll, A. Kupčo, M. Lokajíček, R. Lysák, M. Marčíšovský, M. Mikeščíková, S. Němeček, O. Penc, P. Šícho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský)
Performance of top-quark and W -boson tagging with ATLAS in Run 2 of the LHC
Eur. Phys. J. C 79 (2019) 375(1)–375(79).
34. M. Aaboud et al. (ATLAS Collaboration, z FZÚ J. Chudoba, J. Hejbal, O. Hladík, P. Jacka, T. Jakoubek, O. Kepka, J. Kroll, A. Kupčo, M. Lokajíček, R. Lysák, M. Marčíšovský, M. Mikeščíková, S. Němeček, O. Penc, P. Šícho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský)
Search for squarks and gluinos in final states with hadronically decaying τ -leptons, jets, and missing transverse momentum using pp collisions at $s\sqrt{=13}$ TeV with the ATLAS detector
Phys. Rev. D 99 (2019) 012009(1)–012009(34).

35. M. Aaboud et al. (ATLAS Collaboration, z FZÚ J. Chudoba, J. Hejbal, O. Hladík, P. Jacka, T. Jakoubek, O. Kepka, J. Kroll, A. Kupčo, M. Lokajíček, R. Lysák, M. Marčíšovský, M. Mikeščíková, S. Němeček, O. Penc, P. Šícho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský)
Search for heavy charged long-lived particles in proton-proton collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV using an ionisation measurement with the ATLAS detector
Phys. Lett. B 788 (2019) 96–116.
36. M. Aaboud et al. (ATLAS Collaboration, z FZÚ J. Chudoba, J. Hejbal, O. Hladík, P. Jacka, T. Jakoubek, O. Kepka, J. Kroll, A. Kupčo, M. Lokajíček, R. Lysák, M. Marčíšovský, M. Mikeščíková, S. Němeček, O. Penc, P. Šícho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský)
Search for long-lived particles in final states with displaced dimuon vertices in pp collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV with the ATLAS detector
Phys. Rev. D 99 (2019) 012001(1)–012001(32).
37. M. Aaboud et al. (ATLAS Collaboration, z FZÚ J. Chudoba, J. Hejbal, O. Hladík, P. Jacka, T. Jakoubek, O. Kepka, J. Kroll, A. Kupčo, M. Lokajíček, R. Lysák, M. Marčíšovský, M. Mikeščíková, S. Němeček, O. Penc, P. Šícho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský)
Search for doubly charged scalar bosons decaying into same-sign W boson pairs with the ATLAS detector
Eur. Phys. J. C 79 (2019) 58(1)–58(42).
38. M. Aaboud et al. (ATLAS Collaboration, z FZÚ J. Chudoba, J. Hejbal, O. Hladík, P. Jacka, T. Jakoubek, O. Kepka, J. Kroll, A. Kupčo, M. Lokajíček, R. Lysák, M. Marčíšovský, M. Mikeščíková, S. Němeček, O. Penc, P. Šícho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský)
Search for vector-boson resonances decaying to a top quark and bottom quark in the lepton plus jets final state in pp collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV with the ATLAS detector
Phys. Lett. B 788 (2019) 347–370.
39. M. Aaboud et al. (ATLAS Collaboration, z FZÚ J. Chudoba, J. Hejbal, O. Hladík, P. Jacka, T. Jakoubek, O. Kepka, J. Kroll, A. Kupčo, M. Lokajíček, R. Lysák, M. Marčíšovský, M. Mikeščíková, S. Němeček, O. Penc, P. Šícho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský)
In situ calibration of large-radius jet energy and mass in 13 TeV proton-proton collisions with the ATLAS detector
Eur. Phys. J. C 79 (2019) 135(1)–135(70).
40. M. Aaboud et al. (ATLAS Collaboration, z FZÚ J. Chudoba, J. Hejbal, O. Hladík, P. Jacka, T. Jakoubek, O. Kepka, J. Kroll, A. Kupčo, M. Lokajíček, R. Lysák, M. Marčíšovský, M. Mikeščíková, S. Němeček, O. Penc, P. Šícho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský)
A strategy for a general search for new phenomena using data-derived signal regions and its application within the ATLAS experiment
Eur. Phys. J. C 79 (2019) 120(1)–120(63).
41. M. Aaboud et al. (ATLAS Collaboration, z FZÚ J. Chudoba, J. Hejbal, O. Hladík, P. Jacka, T. Jakoubek, O. Kepka, J. Kroll, A. Kupčo, M. Lokajíček, R. Lysák, M. Marčíšovský, M. Mikeščíková, S. Němeček, O. Penc, P. Šícho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský)
Correlated long-range mixed-harmonic fluctuations measured in pp, p+Pb and low-multiplicity Pb+Pb collisions with the ATLAS detector
Phys. Lett. B 789 (2019) 444–471.
42. M. Aaboud et al. (ATLAS Collaboration, z FZÚ J. Chudoba, J. Hejbal, O. Hladík, P. Jacka, T. Jakoubek, O. Kepka, J. Kroll, A. Kupčo, M. Lokajíček, R. Lysák, M. Marčíšovský, M. Mikeščíková, S. Němeček, O. Penc, P. Šícho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský)
Search for Higgs boson decays into a pair of light bosons in the $b\bar{b}\mu\mu$ final state in pp collision at $\sqrt{s}=13$ TeV with the ATLAS detector
Phys. Lett. B 790 (2019) 1–21.
43. M. Aaboud et al. (ATLAS Collaboration, z FZÚ J. Chudoba, J. Hejbal, O. Hladík, P. Jacka, T. Jakoubek, O. Kepka, J. Kroll, A. Kupčo, M. Lokajíček, R. Lysák, M. Marčíšovský, M. Mikeščíková, S. Němeček, O. Penc, P. Šícho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský)
Measurement of the nuclear modification factor for inclusive jets in Pb+Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}}=5.02$ TeV with the ATLAS detector
Phys. Lett. B 790 (2019) 108–128.

44. M. Aaboud et al. (ATLAS Collaboration, z FZÚ J. Chudoba, J. Hejbal, O. Hladík, P. Jacka, T. Jakoubek, O. Kepka, J. Kroll, A. Kupčo, M. Lokajíček, R. Lysák, M. Marčíšovský, M. Mikeščíková, S. Němeček, O. Penc, P. Šícho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský)
Search for pair production of Higgs bosons in the $bb^{\bar{b}}b^{\bar{b}}$ final state using proton-proton collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV with the ATLAS detector
JHEP 1901 (2019) 030(10–030(50)).
45. M. Aaboud et al. (ATLAS Collaboration, z FZÚ J. Chudoba, J. Hejbal, O. Hladík, P. Jacka, T. Jakoubek, O. Kepka, J. Kroll, A. Kupčo, M. Lokajíček, R. Lysák, M. Marčíšovský, M. Mikeščíková, S. Němeček, O. Penc, P. Šícho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský)
Search for light resonances decaying to boosted quark pairs and produced in association with a photon or a jet in proton-proton collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV with the ATLAS detector
Phys. Lett. B 788 (2019) 316–335.
46. G. Aad et al. (ATLAS Collaboration, z FZÚ J. Chudoba, J. Hejbal, O. Hladík, P. Jacka, T. Jakoubek, O. Kepka, J. Kroll, A. Kupčo, M. Lokajíček, R. Lysák, M. Marčíšovský, M. Mikeščíková, S. Němeček, O. Penc, P. Šícho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský)
Evidence for the production of three massive vector bosons with the ATLAS detector
Phys. Lett. B 798 (2019) 134913(1)–134913(22).
47. G. Aad et al. (ATLAS Collaboration, z FZÚ J. Chudoba, J. Hejbal, O. Hladík, P. Jacka, T. Jakoubek, O. Kepka, J. Kroll, A. Kupčo, M. Lokajíček, R. Lysák, M. Marčíšovský, M. Mikeščíková, S. Němeček, O. Penc, P. Šícho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský)
Measurement of the inclusive isolated-photon cross section in pp collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV using 36 fb⁻¹ of ATLAS data
JHEP 1910 (2019) 203(1)–203(51).
48. G. Aad et al. (ATLAS Collaboration, z FZÚ J. Chudoba, J. Hejbal, O. Hladík, P. Jacka, T. Jakoubek, O. Kepka, J. Kroll, A. Kupčo, M. Lokajíček, R. Lysák, M. Marčíšovský, M. Mikeščíková, S. Němeček, O. Penc, P. Šícho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský)
Measurement of the inclusive cross-section for the production of jets in association with a Z boson in proton-proton collisions at 8 TeV using the ATLAS detector
Eur. Phys. J. C 79 (2019) 847(1)–847(68).
49. G. Aad et al. (ATLAS Collaboration, z FZÚ J. Chudoba, J. Hejbal, O. Hladík, P. Jacka, T. Jakoubek, O. Kepka, J. Kroll, A. Kupčo, M. Lokajíček, R. Lysák, M. Marčíšovský, M. Mikeščíková, S. Němeček, O. Penc, P. Šícho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský)
Measurement of W^{\pm} -boson and Z-boson production cross-sections in pp collisions at $\sqrt{s}=2.76$ TeV with the ATLAS detector
Eur. Phys. J. C 79 (2019) 901(1)–901(41).
50. G. Aad et al. (ATLAS Collaboration, z FZÚ J. Chudoba, J. Hejbal, O. Hladík, P. Jacka, T. Jakoubek, O. Kepka, J. Kroll, A. Kupčo, M. Lokajíček, R. Lysák, M. Marčíšovský, M. Mikeščíková, S. Němeček, O. Penc, P. Šícho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský)
Resolution of the ATLAS muon spectrometer monitored drift tubes in LHC Run 2
JINST 14 (2019) P09011(1)–P09011(36).
51. G. Aad et al. (ATLAS Collaboration, z FZÚ J. Chudoba, J. Hejbal, O. Hladík, P. Jacka, T. Jakoubek, O. Kepka, J. Kroll, A. Kupčo, M. Lokajíček, R. Lysák, M. Marčíšovský, M. Mikeščíková, S. Němeček, O. Penc, P. Šícho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský)
Identification of boosted Higgs bosons decaying into b-quark pairs with the ATLAS detector at 13 TeV
Eur. Phys. J. C 79 (2019) 836(1)–836(54).
52. G. Aad et al. (ATLAS Collaboration, z FZÚ J. Chudoba, J. Hejbal, O. Hladík, P. Jacka, T. Jakoubek, O. Kepka, J. Kroll, A. Kupčo, M. Lokajíček, R. Lysák, M. Marčíšovský, M. Mikeščíková, S. Němeček, O. Penc, P. Šícho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský)
Properties of jet fragmentation using charged particles measured with the ATLAS detector in pp collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV
Phys. Rev. D 100 (2019) 052011(1)–052011(38).
53. G. Aad et al. (ATLAS Collaboration, z FZÚ J. Chudoba, J. Hejbal, O. Hladík, P. Jacka, T. Jakoubek, O. Kepka, J. Kroll, A. Kupčo, M. Lokajíček, R. Lysák, M. Marčíšovský, M. Mikeščíková, S. Němeček, O. Penc, P. Šícho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský)
Search for diboson resonances in hadronic final states in 139 fb⁻¹ of pp collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV with the ATLAS detector
JHEP 1909 (2019) 091(1)–091(41).

54. G. Aad et al. (ATLAS Collaboration, z FZÚ J. Chudoba, J. Hejbal, O. Hladík, P. Jacka, T. Jakoubek, O. Kepka, J. Kroll, A. Kupčo, M. Lokajíček, R. Lysák, M. Marčíšovský, M. Mikeščíková, S. Němeček, O. Penc, P. Šícho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský)
Search for a heavy charged boson in events with a charged lepton and missing transverse momentum from pp collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV with the ATLAS detector
 Phys. Rev. D 100 (2019) 052013(1)–052013(29).
55. G. Aad et al. (ATLAS Collaboration, z FZÚ J. Chudoba, J. Hejbal, O. Hladík, P. Jacka, T. Jakoubek, O. Kepka, J. Kroll, A. Kupčo, M. Lokajíček, R. Lysák, M. Marčíšovský, M. Mikeščíková, S. Němeček, O. Penc, P. Šícho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský)
Search for excited electrons singly produced in proton–proton collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV with the ATLAS experiment at the LHC
 Eur. Phys. J. C 79 (2019) 803(1)–803(45).
56. G. Aad et al. (ATLAS Collaboration, z FZÚ J. Chudoba, J. Hejbal, O. Hladík, P. Jacka, T. Jakoubek, O. Kepka, J. Kroll, A. Kupčo, M. Lokajíček, R. Lysák, M. Marčíšovský, M. Mikeščíková, S. Němeček, O. Penc, P. Šícho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský)
Observation of electroweak production of a same-sign W boson pair in association with two jets in pp collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV with the ATLAS detector
 Phys. Rev. Lett. 123 (2019) 161801(1)–161801(21).
57. G. Aad et al. (ATLAS Collaboration, z FZÚ J. Chudoba, J. Hejbal, O. Hladík, P. Jacka, T. Jakoubek, O. Kepka, J. Kroll, A. Kupčo, M. Lokajíček, R. Lysák, M. Marčíšovský, M. Mikeščíková, S. Němeček, O. Penc, P. Šícho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský)
Search for heavy charged long-lived particles in the ATLAS detector in 36.1 fb^{-1} of proton–proton collision data at $\sqrt{s}=13$ TeV
 Phys. Rev. D 99 (2019) 092007(1)–092007(34).
58. G. Aad et al. (ATLAS Collaboration, z FZÚ J. Chudoba, J. Hejbal, O. Hladík, P. Jacka, T. Jakoubek, O. Kepka, J. Kroll, A. Kupčo, M. Lokajíček, R. Lysák, M. Marčíšovský, M. Mikeščíková, S. Němeček, O. Penc, P. Šícho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský)
Measurement of W^\pm boson production in Pb+Pb collisions at $s_{NN}=\sqrt{s}=5.02$ TeV with the ATLAS detector
 Eur. Phys. J.-Appl. Phys. 79 (2019) 935(1)–935(32).
59. G. Aad et al. (ATLAS Collaboration, z FZÚ J. Chudoba, J. Hejbal, O. Hladík, P. Jacka, T. Jakoubek, O. Kepka, J. Kroll, A. Kupčo, M. Lokajíček, R. Lysák, M. Marčíšovský, M. Mikeščíková, S. Němeček, O. Penc, P. Šícho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský)
Measurement of distributions sensitive to the underlying event in inclusive Z-boson production in pp collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV with the ATLAS detector
 Eur. Phys. J. C 79 (2019) 666(1)–666(44).
60. G. Aad et al. (ATLAS Collaboration, z FZÚ J. Chudoba, J. Hejbal, O. Hladík, P. Jacka, T. Jakoubek, O. Kepka, J. Kroll, A. Kupčo, M. Lokajíček, R. Lysák, M. Marčíšovský, M. Mikeščíková, S. Němeček, O. Penc, P. Šícho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský)
Search for heavy neutral leptons in decays of W bosons produced in 13 TeV pp collisions using prompt and displaced signatures with the ATLAS detector
 JHEP 1910 (2019) 265(1)–265(47).
61. G. Aad et al. (ATLAS Collaboration, z FZÚ J. Chudoba, J. Hejbal, O. Hladík, P. Jacka, T. Jakoubek, O. Kepka, J. Kroll, A. Kupčo, M. Lokajíček, R. Lysák, M. Marčíšovský, M. Mikeščíková, S. Němeček, O. Penc, P. Šícho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský)
Search for the electroweak diboson production in association with a high-mass dijet system in semileptonic final states in pp collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV with the ATLAS detector
 Phys. Rev. D 100 (2019) 032007(1)–032007(36).
62. G. Aad et al. (ATLAS Collaboration, z FZÚ J. Chudoba, J. Hejbal, O. Hladík, P. Jacka, T. Jakoubek, O. Kepka, J. Kroll, A. Kupčo, M. Lokajíček, R. Lysák, M. Marčíšovský, M. Mikeščíková, S. Němeček, O. Penc, P. Šícho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský)
Measurement of ZZ production in the $\ell\ell\nu\nu$ final state with the ATLAS detector in pp collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV
 JHEP 1910 (2019) 127(1)–127(48).

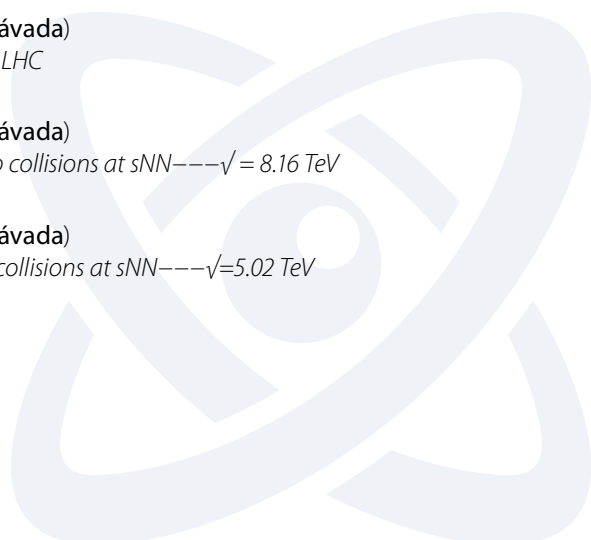
63. G. Aad et al. (ATLAS Collaboration, z FZÚ J. Chudoba, J. Hejbal, O. Hladík, P. Jacka, T. Jakoubek, O. Kepka, J. Kroll, A. Kupčo, M. Lokajíček, R. Lysák, M. Marčíšovský, M. Mikeščíková, S. Němeček, O. Penc, P. Šícho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský)
Measurement of fiducial and differential $W+W-$ production cross-sections at $\sqrt{s}=13$ TeV with the ATLAS detector
Eur. Phys. J.-Spec. Top. 79 (2019) 884(1)–884(48).
64. G. Aad et al. (ATLAS Collaboration, z FZÚ J. Chudoba, J. Hejbal, O. Hladík, P. Jacka, T. Jakoubek, O. Kepka, J. Kroll, A. Kupčo, M. Lokajíček, R. Lysák, M. Marčíšovský, M. Mikeščíková, S. Němeček, O. Penc, P. Šícho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský)
Modelling radiation damage to pixel sensors in the ATLAS detector
JINST 14 (2019) 06012(1)–06012(57).
65. G. Aad et al. (ATLAS Collaboration, z FZÚ J. Chudoba, J. Hejbal, O. Hladík, P. Jacka, T. Jakoubek, O. Kepka, J. Kroll, A. Kupčo, M. Lokajíček, R. Lysák, M. Marčíšovský, M. Mikeščíková, S. Němeček, O. Penc, P. Šícho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský)
Search for a right-handed gauge boson decaying into a high-momentum heavy neutrino and a charged lepton in pp collisions with the ATLAS detector at $\sqrt{s}=13$ TeV
Phys. Lett. B 798 (2019) 134942(1)–134942(38).
66. G. Aad et al. (ATLAS Collaboration, z FZÚ J. Chudoba, J. Hejbal, O. Hladík, P. Jacka, T. Jakoubek, O. Kepka, J. Kroll, A. Kupčo, M. Lokajíček, R. Lysák, M. Marčíšovský, M. Mikeščíková, S. Němeček, O. Penc, P. Šícho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský)
Measurement of the cross-section and charge asymmetry of W bosons produced in proton–proton collisions at $\sqrt{s}=8$ TeV with the ATLAS detector
Eur. Phys. J. C 79 (2019) 760(1)–760(38).
67. G. Aad et al. (ATLAS Collaboration, z FZÚ J. Chudoba, J. Hejbal, O. Hladík, P. Jacka, T. Jakoubek, O. Kepka, J. Kroll, A. Kupčo, M. Lokajíček, R. Lysák, M. Marčíšovský, M. Mikeščíková, S. Němeček, O. Penc, P. Šícho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský)
Combination of searches for invisible Higgs boson decays with the ATLAS experiment
Phys. Rev. Lett. 122 (2019) 231801(1)–231801(20).
68. G. Aad et al. (ATLAS Collaboration, z FZÚ J. Chudoba, J. Hejbal, O. Hladík, P. Jacka, T. Jakoubek, O. Kepka, J. Kroll, A. Kupčo, M. Lokajíček, R. Lysák, M. Marčíšovský, M. Mikeščíková, S. Němeček, O. Penc, P. Šícho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský)
Observation of light-by-light scattering in ultraperipheral Pb+Pb collisions with the ATLAS detector
Phys. Rev. Lett. 123 (2019) 052001(1)–052001(21).
69. G. Aad et al. (ATLAS Collaboration, z FZÚ J. Chudoba, J. Hejbal, O. Hladík, P. Jacka, T. Jakoubek, O. Kepka, J. Kroll, A. Kupčo, M. Lokajíček, R. Lysák, M. Marčíšovský, M. Mikeščíková, S. Němeček, O. Penc, P. Šícho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský)
Measurement of the production cross section for a Higgs boson in association with a vector boson in the $H \rightarrow WW^ \rightarrow \ell\nu\ell\nu$ channel in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV with the ATLAS detector*
Phys. Lett. B 798 (2019) 134949(1)–134949(39).
70. G. Aad et al. (ATLAS Collaboration, z FZÚ J. Chudoba, J. Hejbal, O. Hladík, P. Jacka, T. Jakoubek, O. Kepka, J. Kroll, A. Kupčo, M. Lokajíček, R. Lysák, M. Marčíšovský, M. Mikeščíková, S. Němeček, O. Penc, P. Šícho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský)
Search for high-mass dilepton resonances using 139 fb^{-1} of pp collision data collected at $\sqrt{s}=13$ TeV with the ATLAS detector
Phys. Lett. B 796 (2019) 68–87.
71. G. Aad et al. (ATLAS Collaboration, z FZÚ J. Chudoba, J. Hejbal, O. Hladík, P. Jacka, T. Jakoubek, O. Kepka, J. Kroll, A. Kupčo, M. Lokajíček, R. Lysák, M. Marčíšovský, M. Mikeščíková, S. Němeček, O. Penc, P. Šícho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský)
Measurement of $VH, H \rightarrow b\bar{b}$ production as a function of the vector-boson transverse momentum in 13 TeV pp collisions with the ATLAS detector
JHEP 1905 (2019) 141(10)–141(35).

72. G. Aad et al. (ATLAS Collaboration, z FZÚ J. Chudoba, J. Hejbal, O. Hladík, P. Jacka, T. Jakoubek, O. Kepka, J. Kroll, A. Kupčo, M. Lokajíček, R. Lysák, M. Marčíšovský, M. Mikeščíková, S. Němeček, O. Penc, P. Šícho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský)
Measurement of jet-substructure observables in top quark, W boson and light jet production in proton-proton collisions at $s\sqrt{=13}$ TeV with the ATLAS detector
 JHEP 1908 (2019) 033(1)–033(47).
73. G. Aad et al. (ATLAS Collaboration, z FZÚ J. Chudoba, J. Hejbal, O. Hladík, P. Jacka, T. Jakoubek, O. Kepka, J. Kroll, A. Kupčo, M. Lokajíček, R. Lysák, M. Marčíšovský, M. Mikeščíková, S. Němeček, O. Penc, P. Šícho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský)
Measurement of prompt photon production in $s\sqrt{=8.16}$ TeV p+Pb collisions with ATLAS
 Phys. Lett. B 796 (2019) 230–252.
74. G. Aad et al. (ATLAS Collaboration, z FZÚ J. Chudoba, J. Hejbal, O. Hladík, P. Jacka, T. Jakoubek, O. Kepka, J. Kroll, A. Kupčo, M. Lokajíček, R. Lysák, M. Marčíšovský, M. Mikeščíková, S. Němeček, O. Penc, P. Šícho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský)
Constraints on mediator-based dark matter and scalar dark energy models using $s\sqrt{=13}$ TeV pp collision data collected by the ATLAS detector
 JHEP 1905 (2019) 142(1)–142(84).
75. G. Aad et al. (ATLAS Collaboration, z FZÚ J. Chudoba, J. Hejbal, O. Hladík, P. Jacka, T. Jakoubek, O. Kepka, J. Kroll, A. Kupčo, M. Lokajíček, R. Lysák, M. Marčíšovský, M. Mikeščíková, S. Němeček, O. Penc, P. Šícho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský)
Search for heavy particles decaying into a top-quark pair in the fully hadronic final state in pp collisions at $s\sqrt{=13}$ TeV with the ATLAS detector
 Phys. Rev. D 99 (2019) 092004(1)–092004(38).
76. G. Aad et al. (ATLAS Collaboration, z FZÚ J. Chudoba, J. Hejbal, O. Hladík, P. Jacka, T. Jakoubek, O. Kepka, J. Kroll, A. Kupčo, M. Lokajíček, R. Lysák, M. Marčíšovský, M. Mikeščíková, S. Němeček, O. Penc, P. Šícho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský)
Comparison of Fragmentation Functions for Jets Dominated by Light Quarks and Gluons from pp and Pb+Pb Collisions in ATLAS
 Phys. Rev. Lett. 123 (2019) 042001(1)–042001(21).
77. G. Aad et al. (ATLAS Collaboration, z FZÚ J. Chudoba, J. Hejbal, O. Hladík, P. Jacka, T. Jakoubek, O. Kepka, J. Kroll, A. Kupčo, M. Lokajíček, R. Lysák, M. Marčíšovský, M. Mikeščíková, S. Němeček, O. Penc, P. Šícho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský)
Searches for third-generation scalar leptoquarks in $s\sqrt{=13}$ TeV pp collisions with the ATLAS detector
 JHEP 1906 (2019) 144(1)–144(49).
78. G. Aad et al. (ATLAS Collaboration, z FZÚ J. Chudoba, J. Hejbal, O. Hladík, P. Jacka, T. Jakoubek, O. Kepka, J. Kroll, A. Kupčo, M. Lokajíček, R. Lysák, M. Marčíšovský, M. Mikeščíková, S. Němeček, O. Penc, P. Šícho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský)
Combinations of single-top-quark production cross-section measurements and $|f_{LVVtb}|$ determinations at $s\sqrt{=7}$ and 8 TeV with the ATLAS and CMS experiments
 JHEP 1905 (2019) 088(1)–088(81).
79. G. Aad et al. (ATLAS Collaboration, z FZÚ J. Chudoba, J. Hejbal, O. Hladík, P. Jacka, T. Jakoubek, O. Kepka, J. Kroll, A. Kupčo, M. Lokajíček, R. Lysák, M. Marčíšovský, M. Mikeščíková, S. Němeček, O. Penc, P. Šícho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský)
Measurement of the four-lepton invariant mass spectrum in 13 TeV proton-proton collisions with the ATLAS detector
 JHEP 1904 (2019) 048(1)–048(51).
80. G. Aad et al. (ATLAS Collaboration, z FZÚ J. Chudoba, J. Hejbal, O. Hladík, P. Jacka, T. Jakoubek, O. Kepka, J. Kroll, A. Kupčo, M. Lokajíček, R. Lysák, M. Marčíšovský, M. Mikeščíková, S. Němeček, O. Penc, P. Šícho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský)
Measurement of $W\pm Z$ production cross sections and gauge boson polarisation in pp collisions at $s\sqrt{=13}$ TeV with the ATLAS detector
 Eur. Phys. J. C 79 (2019) 535(1)–535(51).

81. G. Aad et al. (ATLAS Collaboration, z FZÚ J. Chudoba, J. Hejbal, O. Hladík, P. Jacka, T. Jakoubek, O. Kepka, J. Kroll, A. Kupčo, M. Lokajíček, R. Lysák, M. Marčíšovský, M. Mikeščíková, S. Němeček, O. Penc, P. Šícho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský)
Electron reconstruction and identification in the ATLAS experiment using the 2015 and 2016 LHC proton-proton collision data at $s\sqrt{= 13\text{ TeV}}$
Eur. Phys. J. C 79 (2019) 639(1)–639(40).
82. G. Aad et al. (ATLAS Collaboration, z FZÚ J. Chudoba, J. Hejbal, O. Hladík, P. Jacka, T. Jakoubek, O. Kepka, J. Kroll, A. Kupčo, M. Lokajíček, R. Lysák, M. Marčíšovský, M. Mikeščíková, S. Němeček, O. Penc, P. Šícho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský)
Search for long-lived neutral particles in pp collisions at $s\sqrt{= 13\text{ TeV}}$ that decay into displaced hadronic jets in the ATLAS calorimeter
Eur. Phys. J. C 79 (2019) 481(1)–481(47).
83. G. Aad et al. (ATLAS Collaboration, z FZÚ J. Chudoba, J. Hejbal, O. Hladík, P. Jacka, T. Jakoubek, O. Kepka, J. Kroll, A. Kupčo, M. Lokajíček, R. Lysák, M. Marčíšovský, M. Mikeščíková, S. Němeček, O. Penc, P. Šícho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský)
Searches for scalar leptoquarks and differential cross-section measurements in dilepton-dijet events in proton-proton collisions at a centre-of-mass energy of $s\sqrt{= 13\text{ TeV}}$ with the ATLAS experiment
Eur. Phys. J. C 79 (2019) 733(1)–733(62).
84. G. Aad et al. (ATLAS Collaboration, z FZÚ J. Chudoba, J. Hejbal, O. Hladík, P. Jacka, T. Jakoubek, O. Kepka, J. Kroll, A. Kupčo, M. Lokajíček, R. Lysák, M. Marčíšovský, M. Mikeščíková, S. Němeček, O. Penc, P. Šícho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský)
Search for low-mass resonances decaying into two jets and produced in association with a photon using pp collisions at $s\sqrt{=13\text{ TeV}}$ with the ATLAS detector
Phys. Lett. B 795 (2019) 56–75.
85. G. Aad et al. (ATLAS Collaboration, z FZÚ J. Chudoba, J. Hejbal, O. Hladík, P. Jacka, T. Jakoubek, O. Kepka, J. Kroll, A. Kupčo, M. Lokajíček, R. Lysák, M. Marčíšovský, M. Mikeščíková, S. Němeček, O. Penc, P. Šícho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský)
Measurement of the ratio of cross sections for inclusive isolated-photon production in pp collisions at $s\sqrt{=13}$ and 8 TeV with the ATLAS detector
JHEP 1904 (2019) 093(1)–093(44).
86. G. Aad et al. (ATLAS Collaboration, z FZÚ J. Chudoba, J. Hejbal, O. Hladík, P. Jacka, T. Jakoubek, O. Kepka, J. Kroll, A. Kupčo, M. Lokajíček, R. Lysák, M. Marčíšovský, M. Mikeščíková, S. Němeček, O. Penc, P. Šícho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský)
Dijet azimuthal correlations and conditional yields in pp and p+Pb collisions at $s_{NN}=5.02\text{TeV}$ with the ATLAS detector
Phys. Rev. C 100 (2019) 034903(1)–034903(24).
87. G. Aad et al. (ATLAS Collaboration, z FZÚ J. Chudoba, J. Hejbal, O. Hladík, P. Jacka, T. Jakoubek, O. Kepka, J. Kroll, A. Kupčo, M. Lokajíček, R. Lysák, M. Marčíšovský, M. Mikeščíková, S. Němeček, O. Penc, P. Šícho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský)
Observation of electroweak $W\pm Z$ boson pair production in association with two jets in pp collisions at $s\sqrt{= 13\text{ TeV}}$ with the ATLAS detector
Phys. Lett. B 793 (2019) 469–492.
88. G. Aad et al. (ATLAS Collaboration, z FZÚ J. Chudoba, J. Hejbal, O. Hladík, P. Jacka, T. Jakoubek, O. Kepka, J. Kroll, A. Kupčo, M. Lokajíček, R. Lysák, M. Marčíšovský, M. Mikeščíková, S. Němeček, O. Penc, P. Šícho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský)
Measurement of angular and momentum distributions of charged particles within and around jets in Pb+Pb and pp collisions at $s_{NN}=\sqrt{=5.02\text{ TeV}}$ with the ATLAS detector
Phys. Rev. C 100 (2019) 064901(1)–064901(29).
89. G. Aad et al. (ATLAS Collaboration, z FZÚ J. Chudoba, J. Hejbal, O. Hladík, P. Jacka, T. Jakoubek, O. Kepka, J. Kroll, A. Kupčo, M. Lokajíček, R. Lysák, M. Marčíšovský, M. Mikeščíková, S. Němeček, O. Penc, P. Šícho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský)
Measurement of flow harmonics correlations with mean transverse momentum in lead-lead and proton-lead collisions at $s_{NN}=\sqrt{=5.02\text{ TeV}}$ with the ATLAS detector
Eur. Phys. J. C 79 (2019) 985(1)–985(37).

90. G. Aad et al. (ATLAS Collaboration, z FZÚ **J. Chudoba, J. Hejbal, O. Hladík, P. Jacka, T. Jakoubek, O. Kepka, J. Kroll, A. Kupčo, M. Lokajíček, R. Lysák, M. Marčíšovský, M. Mikeščíková, S. Němeček, O. Penc, P. Šícho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský**)
ATLAS b -jet identification performance and efficiency measurement with $t\bar{t}$ events in pp collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV
Eur. Phys. J. C 79 (2019) 970(1)–970(36).
91. V. M. Abazov et al. (D0 Collaboration, z FZÚ **A. Kupčo, M. Lokajíček, CH. Royon**)
Properties of $Z\pm c(3900)$ Produced in pp Collision
Phys. Rev. D 100 (2019) 012005(1)–012005(10).
92. R. U. Abbasi et al. (Telescope Array Collaboration, z FZÚ **F. Urban**)
Mass composition of ultrahigh-energy cosmic rays with the Telescope Array Surface Detector data
Phys. Rev. D 99 (2019) 022002(1)–022002(11).
93. R. U. Abbasi et al. (Telescope Array Collaboration, z FZÚ **F. Urban**)
Constraints on the diffuse photon flux with energies above 10^{18} eV using the surface detector of the Telescope Array experiment
Astropart Phys. 110 (2019) 8–14.
94. M. A. Acero et al. (NOvA Collaboration, z FZÚ **P. Filip, M. Lokajíček, J. Zálešák**)
First Measurement of Neutrino Oscillation Parameters using Neutrinos and Antineutrinos by NOvA
Phys. Rev. Lett. 123 (2019) 151803(1)–151803(8).
95. M. A. Acero et al. (NOvA Collaboration, z FZÚ **P. Filip, M. Lokajíček, J. Zálešák**)
Observation of seasonal variation of atmospheric multiple-muon events in the NOvA Near Detector
Phys. Rev. D 99 (2019) 122004(1)–122004(11).
96. S. Acharya et al. (ALICE Collaboration, z FZÚ **J. A. Mareš, P. Závada**)
Charged jet cross section and fragmentation in proton-proton collisions at $\sqrt{s}=7$ TeV
Phys. Rev. D 99 (2019) 012016(1)–012016(16).
97. S. Acharya et al. (ALICE Collaboration, z FZÚ **J. A. Mareš, P. Závada**)
Measuring $K0S^\pm$ interactions using pp collisions at $\sqrt{s}=7$ TeV
Phys. Lett. B 790 (2019) 22–34.
98. S. Acharya et al. (ALICE Collaboration, z FZÚ **J. A. Mareš, P. Závada**)
 Υ suppression at forward rapidity in Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}}=5.02$ TeV
Phys. Lett. B 790 (2019) 89–101.
99. S. Acharya et al. (ALICE Collaboration, z FZÚ **J. A. Mareš, P. Závada**)
Direct photon elliptic flow in Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}}=2.76$ TeV
Phys. Lett. B 789 (2019) 308–322.
100. S. Acharya et al. (ALICE Collaboration, z FZÚ **J. A. Mareš, P. Závada**)
Dielectron and heavy-quark production in inelastic and high-multiplicity proton-proton collisions at $\sqrt{s_{NN}}=13$ TeV
Phys. Lett. B 788 (2019) 505–518.
101. S. Acharya et al. (ALICE Collaboration, z FZÚ **J. A. Mareš, P. Závada**)
Centrality and pseudorapidity dependence of the charged-particle multiplicity density in Xe-Xe collisions at $\sqrt{s_{NN}}=5.44$ TeV
Phys. Lett. B 790 (2019) 35–48.
102. S. Acharya et al. (ALICE Collaboration, z FZÚ **J. A. Mareš, P. Závada**)
Multiplicity dependence of light (anti-)nuclei production in p-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}}=5.02$ TeV
Phys. Lett. B 800 (2019) 135043(1)–135043(13).
103. S. Acharya et al. (ALICE Collaboration, z FZÚ **J. A. Mareš, P. Závada**)
Measurement of the inclusive isolated photon production cross section in pp collisions at $\sqrt{s}=7$ TeV
Eur. Phys. J. C 79 (2019) 896(1)–896(20).
104. S. Acharya et al. (ALICE Collaboration, z FZÚ **J. A. Mareš, P. Závada**)
Inclusive J/ψ production at mid-rapidity in pp collisions at $\sqrt{s}=5.02$ TeV
JHEP 1910 (2019) 084(1)–084(21).

105. S. Acharya et al. (ALICE Collaboration, z FZÚ **J. A. Mareš, P. Závada**)
Study of the Λ - Λ interaction with femtoscopy correlations in pp and p -Pb collisions at the LHC
Phys. Lett. B 797 (2019) 134822(1)–134822(21).
106. S. Acharya et al. (ALICE Collaboration, z FZÚ **J. A. Mareš, P. Závada**)
Charged-particle production as a function of multiplicity and transverse sphericity in pp collisions at $s\sqrt{=5.02}$ and 13 TeV
Eur. Phys. J. C 79 (2019) 857(1)–857(29).
107. S. Acharya et al. (ALICE Collaboration, z FZÚ **J. A. Mareš, P. Závada**)
Production of muons from heavy-flavour hadron decays in pp collisions at $s\sqrt{= 5.02}$ TeV
JHEP 1909 (2019) 008(23)–008(23).
108. S. Acharya et al. (ALICE Collaboration, z FZÚ **J. A. Mareš, P. Závada**)
Measurement of charged jet cross section in pp collisions at $s\sqrt{=5.02}$ TeV
Phys. Rev. D 100 (2019) 092004(1)–092004(22).
109. S. Acharya et al. (ALICE Collaboration, z FZÚ **J. A. Mareš, P. Závada**)
Measurement of the production of charm jets tagged with $D0$ mesons in pp collisions at $s\sqrt{=7}$ TeV
JHEP 1908 (2019) 133(1)–133(29).
110. S. Acharya et al. (ALICE Collaboration, z FZÚ **J. A. Mareš, P. Závada**)
First Observation of an Attractive Interaction between a Proton and a Cascade Baryon
Phys. Rev. Lett. 123 (2019) 112002(1)–112002(13).
111. S. Acharya et al. (ALICE Collaboration, z FZÚ **J. A. Mareš, P. Závada**)
Coherent J/ψ photoproduction at forward rapidity in ultra-peripheral Pb-Pb collisions at $sNN\text{---}\sqrt{=5.02}$ TeV
Phys. Lett. B 798 (2019) 134926(1)–134926(22).
112. S. Acharya et al. (ALICE Collaboration, z FZÚ **J. A. Mareš, P. Závada**)
One-dimensional charged kaon femtoscopy in p -Pb collisions at $sNN\text{---}\sqrt{= 5.02}$ TeV
Phys. Rev. C 100 (2019) 024002(1)–024002(15).
113. S. Acharya et al. (ALICE Collaboration, z FZÚ **J. A. Mareš, P. Závada**)
Investigations of Anisotropic Flow Using Multiparticle Azimuthal Correlations in pp , p -Pb, Xe-Xe, and Pb-Pb Collisions at the LHC
Phys. Rev. Lett. 123 (2019) 142301(1)–142301(18).
114. S. Acharya et al. (ALICE Collaboration, z FZÚ **J. A. Mareš, P. Závada**)
Multiplicity dependence of (anti-)deuteron production in pp collisions at $s\sqrt{= 7}$ TeV
Phys. Lett. B 794 (2019) 50–63.
115. S. Acharya et al. (ALICE Collaboration, z FZÚ **J. A. Mareš, P. Závada**)
Calibration of the photon spectrometer PHOS of the ALICE experiment
JINST 14 (2019) P05025(1)–P05025(27).
116. S. Acharya et al. (ALICE Collaboration, z FZÚ **J. A. Mareš, P. Závada**)
Measurement of $D0$, $D+$, D^{+} and $D+s$ production in pp collisions at $s\sqrt{= 5.02}$ TeV with ALICE*
Eur. Phys. J. C 79 (2019) 388(1)–388(32).
117. S. Acharya et al. (ALICE Collaboration, z FZÚ **J. A. Mareš, P. Závada**)
Event-shape and multiplicity dependence of freeze-out radii in pp collisions at $s\sqrt{= 7}$ TeV
JHEP 1909 (2019) 108(1)–108(21).
118. S. Acharya et al. (ALICE Collaboration, z FZÚ **J. A. Mareš, P. Závada**)
Real-time data processing in the ALICE High Level Trigger at the LHC
Comput. Phys. Comm. 242 (2019) 25–48.
119. S. Acharya et al. (ALICE Collaboration, z FZÚ **J. A. Mareš, P. Závada**)
Charged-particle pseudorapidity density at mid-rapidity in p -Pb collisions at $sNN\text{---}\sqrt{= 8.16}$ TeV
Eur. Phys. J. C 79 (2019) 307(1)–307(23).
120. S. Acharya et al. (ALICE Collaboration, z FZÚ **J. A. Mareš, P. Závada**)
Study of J/ψ azimuthal anisotropy at forward rapidity in Pb-Pb collisions at $sNN\text{---}\sqrt{=5.02}$ TeV
JHEP 1902 (2019) 012(1)–012(26).



121. S. Acharya et al. (ALICE Collaboration, z FZÚ **J. A. Mareš, P. Závada**)
Jet fragmentation transverse momentum measurements from di-hadron correlations in $\sqrt{s} = 7$ TeV pp and $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV p-Pb collisions
JHEP 1903 (2019) 169(1)–169(21).
122. S. Acharya et al. (ALICE Collaboration, z FZÚ **J. A. Mareš, P. Závada**)
 $\Lambda + c$ production in Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV
Phys. Lett. B 793 (2019) 212–223.
123. S. Acharya et al. (ALICE Collaboration, z FZÚ **J. A. Mareš, P. Závada**)
Event-shape engineering for the D-meson elliptic flow in mid-central Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV
JHEP 1902 (2019) 150(1)–150(30).
124. S. Acharya et al. (ALICE Collaboration, z FZÚ **J. A. Mareš, P. Závada**)
Energy dependence of exclusive J/ψ photoproduction off protons in ultra-peripheral p-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV
Eur. Phys. J. C 79 (2019) 402(1)–402(24).
125. S. Acharya et al. (ALICE Collaboration, z FZÚ **J. A. Mareš, P. Závada**)
Multiplicity dependence of light-flavor hadron production in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV
Phys. Rev. C 99 (2019) 024906(1)–024906(30).
126. S. Acharya et al. (ALICE Collaboration, z FZÚ **J. A. Mareš, P. Závada**)
Measurement of dielectron production in central Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV
Phys. Rev. C 99 (2019) 024002(1)–024002(23).
127. S. Acharya et al. (ALICE Collaboration, z FZÚ **J. A. Mareš, P. Závada**)
p-p, p- Λ and Λ - Λ correlations studied via femtoscopy in pp reactions at $\sqrt{s} = 7$ TeV
Phys. Rev. C 99 (2019) 024001(1)–024001(21).
128. S. Acharya et al. (ALICE Collaboration, z FZÚ **J. A. Mareš, P. Závada**)
Analysis of the apparent nuclear modification in peripheral Pb-Pb collisions at 5.02 TeV
Phys. Lett. B 793 (2019) 420–432.
129. S. Acharya et al. (ALICE Collaboration, z FZÚ **J. A. Mareš, P. Závada**)
Production of the $p(770)0$ meson in pp and Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV
Phys. Rev. C 99 (2019) 064901(1)–064901(20).
130. S. Acharya et al. (ALICE Collaboration, z FZÚ **J. A. Mareš, P. Závada**)
Azimuthal Anisotropy of Heavy-Flavor Decay Electrons in p-Pb Collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV
Phys. Rev. Lett. 122 (2019) 072301(1)–072301(13).
131. S. Acharya et al. (ALICE Collaboration, z FZÚ **J. A. Mareš, P. Závada**)
Suppression of $\Lambda(1520)$ resonance production in central Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV
Phys. Rev. C 99 (2019) 024905(1)–024905(12).
132. S. Acharya et al. (ALICE Collaboration, z FZÚ **J. A. Mareš, P. Závada**)
Direct photon production at low transverse momentum in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 2.76$ and 8 TeV
Phys. Rev. C 99 (2019) 024912(1)–024912(19).
133. S. Acharya et al. (ALICE Collaboration, z FZÚ **J. A. Mareš, P. Závada**)
Transverse momentum spectra and nuclear modification factors of charged particles in Xe-Xe collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.44$ TeV
Phys. Lett. B 788 (2019) 166–179.
134. S. Acharya et al. (ALICE Collaboration, z FZÚ **J. A. Mareš, P. Závada**)
Measurement of $Y(1S)$ elliptic flow at forward rapidity in Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV
Phys. Rev. Mater. 123 (2019) 192301(1)–192301(18).
135. S. Acharya et al. (ALICE Collaboration, z FZÚ **J. A. Mareš, P. Závada**)
Two-particle differential transverse momentum and number density correlations in p-Pb collisions at 5.02 TeV and Pb-Pb collisions at 2.76 TeV at the CERN Large Hadron Collider
Phys. Rev. C 100 (2019) 044903(1)–044903(59).
136. T. Anson, E. Babichev, C. Charmousis, **S. Ramazanov**
Cosmological instability of scalar-Gauss-Bonnet theories exhibiting scalarization
J. Cosmol. Astropart. Phys. 1906 (2019) 023(1)–023(11).

137. G. Antchev et al. (TOTEM Collaboration, z FZÚ **J. Kašpar, V. Kundrát, J. Procházka, M. V. Lokajíček**)
First measurement of elastic, inelastic and total cross-section at $\sqrt{s} = 13$ TeV by TOTEM and overview of cross-section data at LHC energies
Eur. Phys. J. C 79:103 (2019) 103(1)–103(10).
138. G. Antchev et al. (z FZÚ **J. Kašpar, V. Kundrát, M. V. Lokajíček, J. Procházka**)
Elastic differential cross-section measurement at $\sqrt{s} = 13$ TeV by TOTEM
Eur. Phys. J. C 79 (2019) 861(1)–861(15).
139. E. Babichev, D. Gorbunov, **S. Ramazanov**
Affleck–Dine baryogenesis via mass splitting
Phys. Lett. B 792 (2019) 228–232.
140. E. Babichev, D. Gorbunov, **S. Ramazanov**
New mechanism of producing superheavy Dark Matter
Phys. Rev. B 794 (2019) 69–76.
141. N. Bolis, A. Albrecht, R. Holman
Non-Gaussianity from entanglement during inflation
J. Cosmol. Astropart. Phys. 1907 (2019) 021(1)–021(17).
142. N. Bolis, **C. Skordis**, D. B. Thomas, **T. Zlosnik**
Parametrized post-Newtonian-Vainshteinian formalism for the Galileon field
Phys. Rev. D 99 (2019) 084009(01)–084009(18).
143. Y-Z. Chu, S. Park
Does nonlocal gravity yield divergent gravitational energy-momentum fluxes?
Phys. Rev. D 99 (2019) 044052(01)–044052(11).
144. E. J. Copeland, M. Kopp, A. Padilla, P. M. Saffin, **C. Skordis**
Dark Energy after GW170817 Revisited
Phys. Rev. Lett. 122 (2019) 061301(01)–061301(6).
145. E. Eigen et al. (CALICE Collaboration, z FZÚ **J. Cvach, M. Janata, M. Kovalčuk, J. Kvasnička, I. Polák, J. Smolík, V. Vrba, J. Zálešák, J. Zuklín**)
Characterisation of different stages of hadronic showers using the CALICE Si-W ECAL physics prototype
Nucl. Instrum. Meth. A 937 (2019) 41–52.
146. G. Eigen, **J. Cvach, J. Kvasnička, I. Polák**, A. Traet, J. Zalieckas
Gain stabilization of SiPMs with an adaptive power supply
JINST 14 (2019) P05006(1)–P05006(34).
147. G. Antchev et al. (from FZÚ **J. Kašpar, V. Kundrát, J. Procházka, M. V. Lokajíček**)
First determination of the ρ parameter at $\sqrt{s} = 13$ TeV: probing the existence of a colourless C -odd three-gluon compound state
Eur. Phys. J. C 79 (2019) 785(1)–785(26).
148. Lucian Harland-Lang, Valery Khoze, Mikhail Ryskin, **Marek Taševský**
LHC Searches for Dark Matter in Compressed Mass Scenarios: Challenges in the Forward Proton Mode
JHEP 1904 (2019) 1–26.
149. **P. Jiroušek, A. Vikman**
New Weyl-invariant vector-tensor theory for the cosmological constant
J. Cosmol. Astropart. Phys. 1904 (2019) 004(01)–004(15).
150. P. Zasche, R. Uhlař, P. Svoboda, **J. Juryšek**, D. Korčáková, M. Wolf, M. Šlechta, L. Kotková (z FZÚ: **J. Juryšek**)
V348 And and V572 Per: Bright Triple Systems with Eccentric Eclipsing Binaries
ApJ 158 (2019) 95–7.
151. S. Karpov, G. Beskin, V. Plokhotnichenko, Yu. Shibanov, D. Zyuzin (z FZÚ: **S. Karpov**)
The study of coherent optical pulsations of the millisecond pulsar PSR J1023+0038 on Russian 6-m telescope
As. Na. 340 (2019) 607–612.
152. S. Karpov, M. Jelinek, J. Štrobl (z FZÚ: **S. Karpov**)
Looking for fast optical bursts from FRB121102: Case study for a small telescopes with sub-second temporal resolution
As. Na. 340 (2019) 613–617.

153. S. Karpov, A. Bajat, A. Christov, **M. Prouza**
Evaluation of scientific complementary metal–oxide–semiconductor sensors for sky survey applications
As. Na. 340 (2019) 638–645.
154. S. Karpov, R. Cunniffe, **J. Ebr, P. Janeček**
Testing the nonlinearity of the Moravian Instruments G4-16000 CCD camera
As. Na. 339 (2019) 391–396.
155. J. Kvasnička
Data Acquisition System for the CALICE AHCAL Calorimeter
JINST 12 (2019) C03043(1)–C03043(10).
156. Y. Liu(DESY), M. S. Amjad(University Coll. London), P. Baesso(Bristol U.), D. Cussans(Bristol U.), J. Dreyling-Eschweiler(DESY), R. Ete(DESY), I. Gregor(DESY), L. Huth(DESY), A. Irls(Orsay, LAL), H. Jansen(DESY), K. Krueger(DESY), **J. Kvasnička**(DESY and Prague, Inst. Phys.), R. Peschke(DESY and Hawaii U.), E. Rossi(DESY), A. Rummler(CERN), F. Sefkow(DESY), M. Stanitzki(DESY), M. Wing(DESY and University Coll. London), M. Wu(DESY)
EUDAQ2—A flexible data acquisition software framework for common test beams
JINST 14 (2019) P10033(1)–P10033(15).
157. A. Maniyar, G. Lagache, M. Bethermin, **S. Ilić**
Constraining cosmology with the cosmic microwave and infrared backgrounds correlation
Astron. Astrophys. 621 (2019) A32(1)–A32(16).
158. **H. Matsunaga**
Light-cone reduction of Witten’s open string field theory
JHEP 04 (2019) 143(1)–143(29).
159. S. Park, R. P. Woodard
Exciting the scalar ghost mode through time evolution
Phys. Rev. D 99 (2019) 024014(1)–024014(12).
160. S Acharya et al. (ALICE Collaboration, z FZÚ **J. A. Mareš, P. Závada**)
 $3\Lambda H$ and $3\Lambda^{\bar{}} H^{\bar{}}$ lifetime measurement in Pb–Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV via two-body decay
Phys. Lett. B 797 (2019) 134905(1)–134905(20).
161. S Acharya et al. (ALICE Collaboration, z FZÚ **J. A. Mareš, P. Závada**)
Measurement of prompt $D0$, D^+ , D^{+} , and $D+S$ production in p–Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV*
JHEP 1912 (2019) 092(1)–092(43).
162. **C. Unal**
Imprints of primordial non-Gaussianity on gravitational wave spectrum
Phys. Rev. D 99 (2019) 041301(01)–041301(07).
163. M. Wolf, P. Zasche, H. Kučáková, **M. Mašek**, K. Hoňková, **J. Juryšek**, A. Paschke, L. Šmelcer, M. Zejda
Triple Eccentric Systems V0345 Lac, YY Sgr, and DR Vul
Acta Astron. 69 (2019) 63–78.

Magnetické a dielektrické vlastnosti

1. A. Bartasyte, S. Margueron, A. M. Glazer, **E. Simon, I. Gregora**, S. Huband, P. A. Thomas
Vibrational modes and overlap matrix of LiNbO_3 – Ta_2O_5 mixed crystals
Phys. Rev. B 99 (2019) 094306(1)–094306(13).
2. A. Bartha, **M. Míšek, M. Žáček**, V. Sechovský, J. Prokleška
Basal plane anisotropy in Ce_2RhIn_8
Phys. Rev. B 100 (2019) 184425(1)–184425(5).
3. T. Bartok, L. Lorencová, S. Hronceková, V. Gajdošová, E. Jane, M. Mihreš, P. Kasak, **O. Kaman**, R. Sokol, V. Bella, A. A. Eckstein, J. Mosnacek, A. Vikartovska, J. Tkáč
Advanced impedimetric biosensor configuration and assay protocol for glycoprofiling of a prostate oncomarker using Au nanoshells with a magnetic core
Biosens. Bioelectron. 131 (2019) 24–29.
4. A. V. Beklemisheva, N. A. Yudanov, A. A. Gurevich, L. V. Panina, **V. Zablotskii, A. Dejneka**
Matrices of Ferromagnetic Microwires for the Control of Cellular Dynamics and Localized Delivery of Medicines
Phys. Metals Metallogr. 120/6 (2019) 556–562.

5. T. Bertok, L. Lorencová, S. Hrončková, V. Gajdošová, E. Jane, M. Hireš, P. Kasak, **O. Kaman**, R. Sokol, V. Bella, A. A. Eckstein, J. Mosnacek, A. Vikartovská, J. Tkáč
Synthesis and characterization of Au nanoshells with a magnetic core and betaine derivatives
MethodsX 6 (2019) 1999–2012.
6. N. Bhattacharjee, A. A. Sapozhnik, S. Yu. Bodnar, V. Yu. Grigorev, S. Y. Agustsson, J. Cao, D. Dominko, M. Obergfell, O. Gomony, **J. Sinova**, M. Kläui, H. -J. Elmers, M. Jourdan, J. Demsar
Zrušený článek: Néel Spin-Orbit Torque Driven Antiferromagnetic Resonance in Mn₂Au Probed by Time-Domain THz Spectroscopy
Phys. Rev. Lett. 5 (2019) 237201–237201.
7. M Böttcher, S Heinze, S Egorov, J Sinova and B Dupé
B–T phase diagram of Pd/Fe/Ir(111) computed with parallel tempering Monte Carlo
New J. Phys. 20 (2019) 103014(1)–103014(11).
8. **E. Buixaderas**, **M. Kempa**, Š. Svirskas, **C. Kadlec**, **V. Bovtun**, **M. Savinov**, M. Paściak, J. Dec
Dynamics of mesoscopic polarization in uniaxial tetragonal tungsten-bronze (SrxBa1-x)Nb2O6
Phys. Rev. B 100 (2019) 184113(1)–184113(11).
9. **M. Buryi**, **R. Král**, **V. Babin**, **J. Páterek**, **V. Vaněček**, **P. Veverka**, M. Kohoutková, **V. Laguta**, M. Fasoli, I. Villa, F. Cova, A. Vedda, **M. Nikl**
Trapping and Recombination Centers in Cesium Hafnium Chloride Single Crystals: EPR and TSL Study
J. Phys. Chem. C 123 (2019) 19402–19411.
10. **M. Buryi**, **V. Laguta**, **M. Nikl**, V. Gorbenko, T. Zorenko, Yu. Zorenko
LPE growth and study of the Ce³⁺ incorporation in LuAlO₃:Ce single crystalline film scintillators
CrystEngComm 21 (2019) 3313–3321.
11. P. Čermák, **J. Hejtmánek**, T. Plecháček, J. Navrátil, J. Kašparová, V. Holý, Z. Zmrhalová, **M. Jarošová**, L. Beneš, Č. Drašar
Thermoelectric properties and stability of TI-doped SnS
J. Alloy. Compd. 811 (2019) 151902(1)–151902(9).
12. Krishna Chaitanya Pitike, Nasser Khakpash, **John Mangeri**, George A. Rossetti Jr., Serge M. Nakhmanson
Landau-Devonshire thermodynamic potentials for displacive perovskite ferroelectrics from first principles
J. Mater. Sci. 1573 (2019) 4803(1)–4803(20).
13. V. B. Chzhan, I. S. Tereshina, **E. A. Tereshina-Chitrova**, G. S. Burkhanov, G. A. Politova, H. Drulis
Magnetocaloric properties of hydrogenated Gd, Tb and Dy
J. Magn. Magn. Mater. 470 (2019) 41–45.
14. F. Cordero, **E. Buixaderas**, C. Galassi
Damage from coexistence of ferroelectric and antiferroelectric domains and clustering of O vacancies in PZT: an elastic and Raman study
Materials 12(6) (2019) 957(1)–957(15).
15. David J. E. Marsh, Kin Chung Fong, Erik W. Lentz, **Libor Šmejkal**, Mazhar N. Ali
A Proposal to Detect Dark Matter Using Axionic Topological Antiferromagnets
Phys. Rev. Lett. 6 (2019) 1–6.
16. L. V. B. Diop, **Z. Arnold**, **J. Kamarád**, O. Isnard
Pressure dependence of the magnetic properties and phase diagram of HoCo₂B₆ ferrimagnetic compound
J. Magn. Magn. Mater. 476 (2019) 106–110.
17. P. Doležal, M. Kratochvílová, V. Holý, P. Čermák, V. Sechovský, **M. Dušek**, **M. Míšek**, T. Chakraborty, Y. Noda, Suhan Son, and Je-Geun Park
Crystal structures and phase transitions of the van der Waals ferromagnet V₁3
Phys. Rev. Mater. 3 (2019) 121401(1)–121401(6).
18. Melanie Dupé, Stefan Heinze, **Jairo Sinova**, Bertrand Dupé
Stability and magnetic properties of Fe double layers on Ir (111)
Phys. Rev. B 98 (2019) 224415–224415.
19. **M. Falkowski**, P. Doležal, **A. V. Andreev**, E. Duverger-Nédellec, and L. Havela
Structural, thermodynamic, thermal, and electron transport properties of single-crystalline LaPt₂Si₂
Phys. Rev. B 100 (2019) 064103(1)–064103(12).

20. D. Geffroy, J. Kaufmann, A. Hariki, P. Gunacker, A. Hausoel, **J. Kuneš**
Collective Modes in Excitonic Magnets: Dynamical Mean-Field Study
Phys. Rev. Lett. 122 (2019) 127601(1)–127601(6).
21. **D. I. Gorbunov**, I. Ishii, T. Nomura, **M. S. Henriques**, **A. V. Andreev**, M. Uhlarz, T. Suzuki, S. Zherlitsyn, J. Wosnitza
Magnetic phase diagram and crystal-field effects in the kagome-lattice antiferromagnet $U_3Ru_4Al_{12}$
Phys. Rev. B 99 (2019) 054413(1)–054413(9).
22. **D. I. Gorbunov**, T. Nomura, A. A. Zvyagin, **M. S. Henriques**, **A. V. Andreev**, Y. Skourski, G. A. Zvyagina, R. Troc, S. Zherlitsyn, J. Wosnitza,
Magnetoelastic coupling across the field-induced transition of uranium mononitride
Phys. Rev. B 100 (2019) 124417(1)–124417(7).
23. **D. I. Gorbunov**, C. Strohm, **M. S. Henriques**, P. van der Linden, B. Pedersen, N. V. Mushnikov, E. V. Rosenfeld, **V. Petříček**, O. Mathon, J. Wosnitza, **A. V. Andreev**
Microscopic nature of the first-order field-induced phase transition in the strongly anisotropic ferrimagnet $HoFe_3Al_7$
Phys. Rev. Lett. 122 (2019) 127205(1)–127205(6).
24. **J. Hlinka**
Doubling up piezoelectric performance
Science 364 (2019) 228–229.
25. M. Horčic, J. Svoboda, **V. Novotna**, D. Pochiecha
W-shaped mesogens and variations of their molecular structure
Liq. Cryst. 46 (2019) 816–824.
26. Bumjin Jang, Ayoung Hong, Carlos Alcantara, George Chatzipirpiridis, **Xavier Martí**, Eva Pellicer, Jordi Sort, Yuval Harduf, Yizhar Or, Bradley J. Nelson, Salvador Pané
Programmable Locomotion Mechanisms of Nanowires with Semihard Magnetic Properties Near a Surface Boundary
ACS Applied Materials and Interfaces 11 (2019) 3214–3223–3214–3223.
27. **V. Janiš**, **P. Zalom**, **V. Pokorný**, **A. Klíč**
Strongly correlated electrons: Analytic mean-field theories with two-particle self-consistency
Phys. Rev. B 100 (2019) 195114(1)–195114(14).
28. Kun-Rok Jeon, Chiara Ciccarelli, Hidekazu Kurebayashi, Jörg Wunderlich, Lesley F. Cohen, Sachio Komori, Jason W. A. Robinson, Mark G. Blamire
Spin-Pumping-Induced Inverse Spin Hall Effect in Nb/Ni 80 Fe 20 Bilayers and its Strong Decay Across the Superconducting Transition Temperature
Phys. Rev. Appl. 10 (2019) 014029–014029.
29. **A. Kalvová**, **B. Velický**, **V. Špička**
Beyond the Generalized Kadanoff–Baym Ansatz
phys. status solidi b 256 (2019) 1800594(1)–1800594(8).
30. **O. Kaman**, **Z. Jirák**, **J. Hejtmánek**, A. Ndayishimiye, M. Prakasam, G. Goglio
Tunneling magnetoresistance of hydrothermally sintered $La_{1-x}Sr_xMnO_3$ -silica nanocomposites
J. Magn. Magn. Mater. 479 (2019) 135–143.
31. **J. Kamarád**, M. Friák, **J. Kaštil**, O. Schneeweiss, M. Šob, A. Dlouhý
Effect of high pressure on magnetic properties of CrMnFeCoNi high entropy alloy
J. Magn. Magn. Mater. 487 (2019) 165333(1)–165333(9).
32. **S. Kamba**, **V. Goian**, **F. Kadlec**, **D. Nuzhnyy**, **C. Kadlec**, **J. Vít**, **F. Borodavka**, I. S. Glazkova, A. A. Belik
Changes in spin and lattice dynamics induced by magnetic and structural phase transitions in multiferroic $SrMn_7O_{12}$
Phys. Rev. B 99 (2019) 184108(1)–184108(6).
33. **J. Kaštil**, R. Hirian, O. Isnard
Effect of pressure on the magnetic and structural properties of Fe_5SiB_2 compound
Intermetallics 110 (2019) 106484(1)–106484(4).
34. J. Kisielewski, M. Kisielewski, **V. Zablotskii**, **A. Dejneka**, A. Maziewski
Mapping magnetization states in ultrathin films with Dzyaloshinskii–Moriya interaction
New J. Phys. 21 (2019) 093022(1)–093022(8).

35. M. Klicpera, **J. Fikáček**, K. Vlášková, I. Puente-Orench, M. Diviš, P. Javorský
Magnetic properties of $RCuAl_3$ ($R \frac{1}{4} Pr$ and Nd) compounds
J. Alloy. Compd. 781 (2019) 1189–1197.
36. T. Kmjec, M. Adamec, D. Kubaniová, J. Plocek, M. Dopita, M. Cesnek, V. Chlan, J. Bednarcik, **K. Závěta**, **M. Maryško**, J. Kohout
 ^{57}Fe -enriched perovskites $M(Fe_{0.5}Nb_{0.5})O_3$ ($M=Pb, Ba$) studied by Mössbauer spectroscopy, NMR and XRD in the wide temperature range 4.2–533 K
J. Magn. Magn. Mater. 475 (2019) 334–344.
37. **K. Knížek**, **P. Levinský** and **J. Hejtmánek**
LDA+U Calculation of Electronic and Thermoelectric Properties of Doped Tetrahedrite $Cu_{12}Sb_4S_{13}$
J. Electron. Mater. 48 (2019) 2018–2021.
38. **N. Kovaleva**, **D. Chvostova**, **Z. Potůček**, H. Cho, X. Fu, **L. Fekete**, **J. Pokorný**, Z. Bryknar, K. Kugel, **A. Dejneka**, T. Kang, G. Panin, F. Kusmartsev
Efficient green emission from edge states in graphene perforated by nitrogen plasma treatment
2D Mater. 6 (2019) 045021(1)–045021(10).
39. **L. Kraus**, **J. Kopeček**
Surface anisotropy and spin wave resonance in submicron amorphous wires
J. Magn. Magn. Mater. 473 (2019) 284–290.
40. M. Krečmarová, D. Andres-Penares, L. Fekete, P. Ascheulov, A. Molina-Sánchez, R. Canet-Albiach, **I. Gregora**, V. Mortet, J. P. Martínez-Pastor, J. F. Sánchez-Royo
Optical Contrast and Raman Spectroscopy Techniques Applied to Few-Layer 2D Hexagonal Boron Nitride
Nanomaterials 9 (2019) 1047(1)–10479(10).
41. N. Krutyak, D. Spassky, V. Nagirnyi, **M. Buryi**, I. Tupitsyna, A. Dubovik
Study of charge carrier trapping by EPR and TSL methods in $Zn_xMg_{1-x}WO_4$ single crystals
Opt. Mater. 96 (2019) 109362(1)–109362(8).
42. **J. Kudrnovský**, **V. Drchal**, **F. Máca**, I. Turek, S. Khmelevskiy
Electron transport in high-entropy alloys: $Al_xCrFeCoNi$ as a case study
Phys. Rev. B 100 (2019) 0144419(1)–014441(8).
43. **L. Lejček**, **V. Novotná**, **M. Glogarová**
A model of field induced stripe texture in the cholesterics with extremely short pitch
Liq. Cryst. 46 (2019) 1280–1284.
44. **P. Levinský**, C. Candolfi, A. Dauscher, B. Lenoir, and **J. Hejtmánek**
Thermoelectric Properties of Magnesium-Doped Tetrahedrite $Cu_{12-x}Mg_xSb_4S_{13}$
J. Electron. Mater. 48 (2019) 1926–1931.
45. **P. Levinský**, Ch. Candolfi, A. Dauscher, J. Tobola, **J. Hejtmánek** and B. Lenoir
Thermoelectric properties of the tetrahedrite–tennantite solid solutions $Cu_{12}Sb_{4-x}As_xS_{13}$ and $Cu_{10}Co_2Sb_{4-y}As_yS_{13}$ ($0 \leq x, y \leq 4$)†
Phys. Chem. Chem. Phys. 21 (2019) 4547–4555.
46. **F. Máca**, **J. Kudrnovský**, **V. Drchal**, K. Carva, P. Baláž, and I. Turek
Tetragonal $CuMnAs$ alloy: role of defects
J. Magn. Magn. Mater. 474 (2019) 467–471.
47. J. Macutkevici, **S. Kamba**, K. Glemza, J. Banys, K. Bormanis, A. Sternberg
High Temperature Dielectric Properties of PMN-PSN-PZN Relaxors
phys. status solidi b 256 (2019) 1900050(1)–1900050(5).
48. A. Manchon, I. M. Miron, **T. Jungwirth**, **J. Sinova**, J. Zelezný, A. Thiaville, K. Garello, P. Gambardella
Current-induced spin-orbit torques in ferromagnetic and antiferromagnetic systems
Rev. Mod. Phys. 91 (2019) 035004(1)–035004(80).
49. S. Mašková, **A. V. Andreev**, Y. Skourski, S. Yasin, **D. I. Gorbunov**, S. Zherlitsyn, H. Nakotte, K. Kothapalli, F. Nasreen, C. Cupp, H. B. Cao, A. Kolomiets, L. Havela
 U_2Ni_2Sn and the origin of magnetic anisotropy in uranium compounds
Phys. Rev. B 99 (2019) 064415(1)–064415(11).

50. Fajer Mushtaq, Xiangzhong Chen, Harun Torlakcik, Christian Steuer, Marcus Hoop, Erdem Can Siringil, **Xavier Marti**, Gregory Limburg, Patrick Stipp, Bradley J. Nelson, Salvador Pané
MagnetoElectrically Driven Catalytic Degradation of Organics
Adv. Mater. 31 (2019) 1901378(1)–1901378(31).
51. I. Nevinskas, **F. Kadlec**, **C. Kadlec**, R. Butkute, A. Krotkus
Terahertz pulse emission from epitaxial n-InAs in a magnetic field
J. Phys. D-Appl. Phys. 52 (2019) 365301-1–365301-5.
52. **D. Nuzhnyy**, **J. Petzelt**, **V. Bovtun**, **S. Kamba**, **J. Hlinka**
Soft mode driven local ferroelectric transition in lead-based relaxors
Appl. Phys. Lett. 114 (2019) 182901(1)–182901(5).
53. R. Le Parc, **E. Buixaderas**, C. Levelut, P. Hermet, A. S. Pereira, O. Cambon, C. Roiland, P. Simon, J. Haines
Ultrastable phonon frequencies in alfa-quartz-type BPO4 at high temperature
Appl. Phys. Lett. 115 (2019) 141902(1)–141902(5).
54. Diana Prychynenko, Matthias Sitte, Kai Litzius, Benjamin Krüger, George Bourianoff, Mathias Kläui, **Jairo Sinova**, Karin Everschor-Sitte
Magnetic Skyrmion as a Nonlinear Resistive Element: A Potential Building Block for Reservoir Computing
Phys. Rev. Appl. 12 (2019) 014034(1)–014034(12).
55. **Helena Reichlova**, **Tomas Janda**, **Joao Godinho**, Anastasios Markou, **Dominik Kriegner**, Richard Schlitz, **Jakub Zelezny**, **Zbynek Soban**, Mauricio Bejarano, Helmut Schultheiss, Petr Nemeč, **Tomas Jungwirth**, Claudia Felser, Joerg Wunderlich, Sebastian T. B. Goennenwein
Imaging and writing magnetic domains in the non-collinear antiferromagnet Mn3Sn
Nat. Commun. 10 (2019) 5459(1)–5459(6).
56. Ulrike Ritzmann, Stephan von Malottki, Joo-Von Kim, Stefan Heinze, **Jairo Sinova** and Bertrand Dupé
Trochoidal motion and pair generation in skyrmion and antiskyrmion dynamics under spin-orbit torques
Nat. Electron. 1 (2019) 451–457.
57. Rustem R. Zairov, Alexey V. Yagodin, Mikhail Khrizanforov, Alexander G. Martynov, Irek R. Nizameev, Victor V. Syakaev, Aidar T. Gubaidullin, Timur Kornev, **Ondrej Kaman**, Yulia H. Budnikova, Yulia G. Gorbunova & Asiya R. Mustafina
Unusual magnetic relaxation behavior of hydrophilic colloids based on gadolinium(III) octabutoxyphthalocyaninate
J. Nanopart. Res. 21 (2019) 12(1)–12(13).
58. E. V. Sampathkumaran, K. K. Iyer, S. K. Upadhyay, **A. V. Andreev**
Anisotropic re-entrant spin-glass features in a metallic kagome lattice, Tb₃Ru₄Al₁₂
Solid State Commun. 288 (2019) 64–67.
59. J. Schell, S. Kamba, M. Kachlik, K. Maca, **J. Drahokoupil**, B. R. Rano, J. N. Goncalves, T. T. Dang, A. Costa, C. Noll, R. Vianden, D. C. Lupascu
Thermal annealing effects in polycrystalline EuTiO₃ and Eu₂Ti₂O₇
AIP Adv. 9 (2019) 125125(1)–125125(7).
60. W. Schranz, **I. Rychetský**, **J. Hlinka**
Polarity of domain boundaries in nonpolar materials derived from order parameter and layer group symmetry
Phys. Rev. B 100 (2019) 184105(1)–184105(14).
61. D. Sedmidubský, V. Jakeš, K. Rubešová, P. Někvindová, T. Hlásek, R. Yatskiv, **P. Novák**
Magnetism and optical properties of Yb₃Al₅O₁₂ hosted Er³⁺—experiment and theory
J. Alloy. Compd. 810 (2019) 151903(1)–151903(6).
62. O. Shapoval, **O. Kaman**, J. Hromádková, D. Vavřík, D. Jiráč, D. Machová, J. Parnica and D. Horák
Multimodal PSSMA-Functionalized GdF₃:Eu³⁺(Tb³⁺) Nanoparticles for Luminescence Imaging, MRI, and X-Ray Computed Tomography
ChemPlusChem 84(8) (2019) 1135–1139.
63. **O. Šipr**, S. Mankovsky, H. Ebert
Spin wave stiffness and exchange stiffness of doped permalloy via ab initio calculations
Phys. Rev. B 100 (2019) 024435(1)–024435(11).
64. P. Sivarajah, A. Steinbacher, B. Dastrup, J. Lu, M. Xiang, W. Ren, **S. Kamba**, S. Cao, K. A. Nelson
THz-frequency magnon-phonon-polaritons in the collective strong-coupling regime
J. Appl. Phys. 125 (2019) 213103(1)–213103(17).

65. J. Stergar, **Z. Jirák**, **P. Veverka**, **L. Kubičková**, T. Vrba, **J. Kuličková**, **K. Knížek**, F. Porcher, J. Kohout, **O. Kaman**
Mn-Zn ferrite nanoparticles coated with mesoporous silica as core material for heat-triggered release of therapeutic agents
J. Magn. Magn. Mater. 475 (2019) 429–435.
66. A. Stupakov
Dynamic normalization of the Barkhausen noise signal
J. Magn. Magn. Mater. 482 (2019) 135–147.
67. J. Su, **M. Telychko**, P. Hu, G. Macam, **P. Mutombo**, H. Zhang, Y. Bao, F. Cheng, Z. -Q. Huang, Zh. Qiu, Sh. J. R. Tan, H. Lin, **P. Jelínek**, F. -Ch. Chuang, J. Wu, J. Lu
Atomically precise bottom-up synthesis of π -extended [5]triangulene
Science Advances 5 (2019) eaav7717-1–eaav7717-6.
68. I. S. Tereshina, L. A. Ivanov, **E. A. Tereshina-Chitrova**, **D. I. Gorbunov**, M. A. Paukov, L. Havela, H. Drulis, S. A. Granovsky, M. Doerr, V. S. Gaviko, **A. V. Andreev**
Tailoring the ferrimagnetic-to-ferromagnetic transition field by interstitial and substitutional atoms in the R-Fe compounds
Intermetallics 112 (2019) 106546(1)–106546(5).
69. I. S. Tereshina, G. A. Politova, V. A. Chetyrbotskii, **E. A. Tereshina-Chitrova**, M. A. Paukov, **A. V. Andreev**
Effect of hydrogenation on magnetostriction and magnetocaloric effect in gadolinium single crystal
Phys. Solid State 62 (2019) 90–93.
70. **K. Tesař**, **I. Gregora**, P. Běrešová, **P. Vaněk**, **P. Ondrejko**, **J. Hlinka**
Raman scattering yields cubic crystal grain orientation
Sci. Rep. 9 (2019) 9385(1)–9385(8).
71. Y. Tratsiak, **M. Buryi**, **V. Babin**, M. Korjik, E. Trusova
The effect of binary glass composition on the Eu-ions luminescence properties
Opt. Mater. 94 (2019) 356–362.
72. M. Tyunina, **O. Pacherova**, J. Peräntie, **M. Savinov**, **M. Jelinek**, H. Jantunen, **A. Dejneka**
Perovskite ferroelectric tuned by thermal strain
Sci. Rep. 9 (2019) 3677–3684.
73. **P. Veverka**, **M. Pashchenko**, **L. Kubičková**, **J. Kuličková**, **Z. Jirák**, R. Havelak, K. Královec, J. Kohout, **O. Kaman**
Rod-like particles of silica-coated maghemite: synthesis via akaganeite, characterization and biological properties
J. Magn. Magn. Mater. 476 (2019) 149–156.
74. David Wagenknecht, Josef Kudrnovský, **Libor Šmejkal**, Karel Carva, Ilja Turek
Electrical transport with temperature-induced spin disorder in NiMnSb
J. Magn. Magn. Mater. 474 (2019) 517–521.
75. D. Wagenknecht, **L. Šmejkal**, **Z. Kašpar**, **J. Sinova**, **T. Jungwirth**, **J. Kudrnovský**, K. Carva, and I. Turek
Temperature-dependent resistivity and anomalous Hall effect in NiMnSb from first principles
Phys. Rev. B 99 (2019) 174433(1)–174433(12).
76. A. Yurkov, **A. Dejneka**, **P. Yudin**
Flexoelectric polarization induced by inhomogeneous heating and implications for energy harvesting
Int. J. Solid. Struct. 162 (2019) 96–104.
77. Daopei Zhu, **John Mangeri**, Ruolin Wang, Serge Nakhmanson
Size, shape, and orientation dependence of the field-induced behavior in ferroelectric nanoparticles
J. Appl. Phys. 125 (2019) 1–12.
78. M. Zakerstein, F. Trojanek, B. Rezek, **Z. Soban**, M. Kozak, P. Maly
Coherent phonon dynamics in diamond detected via multiphoton absorption
Appl. Phys. Lett. 115 (2019) 161104–161104.

Nové technologie a materiály

1. W. Taylor Adams IV, Nelson R. Vinuesa, **Oleksandr Romanyuk**, **Ivan Gordeev**, Tania Paskova, and Albena Ivanisevic
Nanostructured GaOOH modified with reactive yellow, red and blue water-soluble dyes
AIP Adv. 9 (2019) 025005-1–025005-6.

2. K. E. Aifantis, H. Deng, H. Shibata, S. Tsurekawa, **P. Lejček**, S. A. Hackney
Interpreting slip transmission through mechanically induced interface energies: a Fe–3%Si case study
J. Mater. Sci. 51 (2019) 1831–1843.
3. A. Peter Amalathas, **L. Landová**, B. Conrad, **J. Holovský**
Concentration-Dependent Impact of Alkali Li Metal Doped Mesoporous TiO₂ Electron Transport Layer on the Performance of CH₃NH₃PbI₃ Perovskite Solar Cells
J. Phys. Chem. C 123 (2019) 19376–19384.
4. **A. Apostolakis**, M. F. Pereira
Controlling the harmonic conversion efficiency in semiconductor superlattices by interface roughness design
AIP Adv. 9 (2019) 0150221(1)–0150221(6).
5. **A. Apostolakis**, M. F. Pereira
Potential and limits of superlattice multipliers coupled to different input power sources
J. Nanophotonics 13 (2019) 036017(1)–036017(11).
6. **V. Babin**, P. Herman, M. Kucera, **M. Nikl**, S. Zazubovich
Effect of Mg²⁺ co-doping on the photo- and thermally stimulated luminescence of the (Lu,Gd)₃(Ga,Al)₅O₁₂:Ce epitaxial films
J. Lumin. 215 (2019) 116608(1)–116608(10).
7. B. Barman, B. Das, M. K. Das, **V. Hamplová**, **A. Bubnov**
Effect of molecular structure on dielectric and electro-optic properties of chiral liquid crystals based on lactic acid derivatives
J. Mol. Liq. 283 (2019) 472–481.
8. B. Barman, B. Das, M. K. Das, **V. Hamplová**, **A. Bubnov**
Dielectric properties of chiral ferroelectric liquid crystalline compounds with three aromatic rings connected by ester groups
Crystals 9 (2019) 473(1)–473(13).
9. **K. Bartosiewicz**, **V. Babin**, K. Kamada, A. Yoshikawa, **A. Beitlerova**, **R. Kucerkova**, **M. Nikl**, Yu. Zorenko, S. Kurosawa
Ga for Al substitution effects on the garnet phase stability and luminescence properties of Gd₃Ga_xAl_{5-x}O₁₂:Ce single crystals.
J. Lumin. 216 (2019) 116724(1)–116724(9).
10. A. Bobrovsky, V. Shibaev, **M. Cigl**, **V. Hamplova**, **V. Novotna**
Photooptical Properties of Polymethacrylates Having Cyanoazobenzene-Containing Side Groups with Lateral Methyl Substituents and Different Spacer Length
J. Polym. Sci. Pt. B-Polym. Phys. 57 (2019) 1337–1342.
11. P. Bohacek, A. Krasnikov, M. Kučera, **M. Nikl**, S. Zazubovich
Defects creation in the undoped Gd₃(Ga,Al)₅O₁₂ single crystals and Ce³⁺-doped Gd₃(Ga,Al)₅O₁₂ single crystals and epitaxial films under irradiation in the Gd³⁺-related absorption bands
Opt. Mater. 88 (2019) 601–605.
12. **P. Bohacek**, A. Krasnikov, **M. Nikl**, S. Zazubovich, A. Zolotarjovs
On low-temperature luminescence quenching in Gd₃(Ga,Al)₅O₁₂:Ce crystals
Opt. Mater. 95 (2019) 109252(1)–109252(5).
13. S. Boluchová, **A. Taylor**, **V. Mortet**, **S. Sedláková**, **L. Klimša**, **J. Kopeček**, **O. Hák**, K. Schwarzová-Pecková
Porous boron doped diamond for dopamine sensing: Effect of boron doping level on morphology and electrochemical performance
Electrochim. Acta 327 (2019) 135025 (1)–135025 (14).
14. **M. Buryi**, **V. Laguta**, M. Fasoli, F. Moretti, **K. Jurek**, M. Trubitsyn, M. Volnianskii, S. Nagorny, V. Shlegel, A. Vedda, **M. Nikl**
Charge trapping processes and energy transfer studied in lead molybdate by EPR and TSL
J. Lumin. 205 (2019) 457–466.
15. A. Cammarata, P. Nicolini, K. Simonovic, **E. Ukraintsev**, T. Polcar
Atomic-scale design of friction and energy dissipation
Phys. Rev. B 99 (2019) 094309(1)–094309(8).
16. **J. Čapek**, **J. Pinc**, Š. Msallamová, E. Jablonská, **P. Veřtát**, J. Kubásek, D. Vojtěch
Thermal Plasma Spraying as a New Approach for Preparation of Zinc Biodegradable Scaffolds: A Complex Material Characterization
J. Therm. Spray Technol. 28 (2019) 826–841.

17. J. Čech, P. Haušild, M. Karlík, V. Bouček, K. Nová, F. Průša, P. Novák, **J. Kopeček**
Effect of Initial Powders on Properties of FeAlSi Intermetallics
Materials 12 (2019) 2846–1–2846–16.
18. Petr Cejpek, **Ladislav Straka**, Martin Veis, Ross Colman, Milan Dopita, Václav Holý, **Oleg Heczko**
Rapid floating zone growth of Ni₂MnGa single crystals exhibiting magnetic shape memory functionality
J. Alloy. Compd. 775 (2019) 533–541.
19. S. Chakraborty, M. K. Das, **A. Bubnov**, W. Weissflog, D. Węglowska, R. Dabrowski
Induced frustrated twist grain boundary liquid crystalline phases in binary mixtures of achiral hockey stick-shaped and chiral rod-like materials
J. Mater. Chem. C 7 (2019) 10530–10543.
20. A. Chemin, J. Lam, G. Laurens, F. Trichard, V. Motto-Ros, G. Ledoux, **V. Jarý**, **V. Laguta**, **M. Nikl**, Ch. Dujardin, D. Amans
Doping nanoparticles using pulsed laser ablation in a liquid containing the doping agent
Nanoscale Adv. 1 (2019) 3963–3972.
21. X. Chen, Z. Hu, J. Dai, H. Chen, Y. Shi, H. Kou, T. Wang, A. Vedda, **A. Beitlerova**, **R. Kucerkova**, **M. Nikl**, J. Li
The influence of air annealing on the microstructure and scintillation properties of Ce,Mg:LuAG ceramics.
J. Am. Ceram. Soc. 102 (2019) 1805–1813.
22. X. Chen, Z. Hu, Y. Feng, X. Liu, H. Chen, Y. Shi, H. Kou, **R. Kučerková**, **A. Beitlerová**, **E. Mihóková**, **M. Nikl**, J. Li
Electronic band modification for faster and brighter Ce,Mg:Lu_{3-x}YxAl₅O₁₂ ceramic scintillators.
J. Lumin. 214 (2019) 116545(1)–116545(8).
23. X. Chen, Z. Hu, Y. Feng, X. Liu, H. Chen, Y. Shi, **R. Kučerková**, **A. Beitlerová**, **M. Nikl**, J. Li
Luminescence and scintillation characteristics of cerium doped Gd₂YGa₃Al₂O₁₂ ceramics
Opt. Mater. 90 (2019) 20–25.
24. **Y. Chen**, **O. Molnárová**, **O. Tyc**, **L. Kadeřávek**, **L. Heller**, **P. Šittner**
Recoverability of large strains and deformation twinning in martensite during tensile deformation of NiTi shape memory alloy polycrystals
Acta Mater. 180 (2019) 243–259.
25. **Y. Chen**, **O. Tyc**, **L. Kadeřávek**, **O. Molnárová**, **L. Heller**, **P. Šittner**
Temperature and microstructure dependence of localized tensile deformation of superelastic NiTi wires
Mater. Des. 174 (2019) 107797 (1)–107797 (21).
26. W. Chewpraditkul, N. Pattanaboonmee, O. Sakthong, K. Wantong, W. Chewpraditkul, A. Yoshikawa, K. Kamada, S. Kurosawa, T. Szczesniak, M. Moszynski, **V. Babin**, **M. Nikl**
Scintillation properties of Gd₃Al₂Ga₃O₁₂:Ce, Li and Gd₃Al₂Ga₃O₁₂:Ce, Mg single crystal scintillators: A comparative study
Opt. Mater. 92 (2019) 181–186.
27. R. Chulist, **L. Straka**, H. Seiner, A. Sozinov, N. Schell, T. Tokarski
Branching of {110} twin boundaries in five-layered Ni-Mn-Ga bent single crystals
Mater. Des. 171 (2019) 107703(1)–107703(8).
28. **T. Chutora**, B. de la Torre, **P. Mutombo**, **J. Hellerstedt**, **J. Kopeček**, **P. Jelínek**, **M. Švec**
Nitrous oxide as an effective AFM tip functionalization: a comparative study
Beilstein J. Nanotechnol. 10 (2019) 315–321.
29. L. Colazzo, M. S. G. Mohammed, **A. Gallardo**, Z. M. Abd El-Fattah, J. A. Pomposo, **P. Jelínek**, D. G. de Oteyza
Controlling the stereospecific bonding motif of Au–thiolate links
Nanoscale 11 (2019) 15567–15575.
30. **L. Drbohlavová**, **L. Fekete**, **V. Bovtun**, **M. Kempa**, **A. Taylor**, Y. Liu, O. Bou Matar, A. Talbi, **V. Mortet**
Love-wave devices with continuous and discrete nanocrystalline diamond coating for biosensing applications
Sens. Actuator A-Phys. 298 (2019) 111584 (1)–111584 (6).
31. V. Dřínek, Z. Remeš, **M. Klementová**, **L. Palatinus**, **M. Jarošová**, A. Lugstein, M. Sistani, M. Koštejn, V. Jandová, R. Fajgar
Ytterbium silicide nanostructures prepared by pulsed laser ablation in oven: Structural and electrical characterization
Mater. Lett. 246 (2019) 17–19.

32. F. Dubecký, B. Zaťko, V. Kolesár, **D. Kindl, P. Hubík**, E. Gombia, M. Dubecký
Charge collection efficiency of Pt vs. Mg contacts on semi-insulating GaAs
Appl. Surf. Sci. 467-468 (2019) 1219–1225.
33. Ł. Duda, M. Czajkowski, B. Potaniec and **P. Vaňkátová**
Helical twisting power and compatibility in twisted nematic phase of new chiral liquid crystalline dopants with various liquid crystalline matrices
Liq. Cryst. 46/2019 (2019) 1769–1779.
34. S. Entler, I. Duran, M. Kocan, G. Vayakis, **M. Kohout, J. Sebek**, P. Sladek, O. Grover, **K. Vyborny**
Prospects for the steady-state magnetic diagnostic based on antimony Hall sensors for future fusion power reactors
Fusion Eng. Des. 146 (2019) 526–530.
35. **J. Fait, M. Varga, K. Hruška, Z. Remeš, V. Jurka, A. Kromka, B. Rezek, L. Ondič**
Maximized vertical photoluminescence from optical material with losses employing resonant excitation and extraction of photonic crystal modes
Nanophotonics 8 (2019) 1041–1050.
36. M. Fibrich, J. Šulc, **R. Král, V. Jarý**, M. Němec, H. Jelínková, **A. Bystřický, P. Zemenová, M. Nikl**
Luminescence study of rare-earth (RE)-doped low-energy phonon RbPb₂Cl₅ crystals for mid-infrared (IR) lasers emitting above 4.5 μm wavelength
Laser Phys. 29 (2019) 075801(1)–075801(8).
37. D. L. Goloshchapov, A. S. Lenshin, K. A. Nikitkov, V. N. Bartenea, D. V. Savchenko, E. A. Tutov, P. V. Seredin
Structural, Morphological, and Sorption Characteristics of Imperfect Nanocrystalline Calcium Hydroxyapatite for the Creation of Dental Biomimetic Composites
J. Surf. Investig.-X-Ray Synchro. 13 (2019) 756–765.
38. D. L. Goloshchapov, A. S. Lenshin, D. V. Savchenko, P. V. Seredin
Importance of defect nanocrystalline calcium hydroxyapatite characteristics for developing the dental biomimetic composites
Results Phys. 13 (2019) 102158(1)–102158(8).
39. P. Hauschwitz, R. Jagdheesh, **D. Rostohar, J. Brajer, J. Kopeček, P. Jiříček, J. Houdková, T. Mocek**
Nanostructure fabrication on the top of laser-made micropillars for enhancement of water repellence of aluminium alloy
Mater. Lett. 256 (2019) 126601(1)–126601(4).
40. P. Heinrichová, J. Pospíšil, S. Stříteský, M. Vala, M. Weiter, P. Toman, D. Rais, J. Pflieger, **M. Vondráček, D. Šimek, L. Fekete**, P. Horáková, L. Dokládálová, L. Kubáč, **I. Kratochvílová**
Diketopyrrolopyrrole Based Organic Solar Cells Functionality: the Role of Orbital Energy and Crystallinity
J. Phys. Chem. C 123 (2019) 11447–11463.
41. **L. Heller, P. Šittner**, P. Sedlák, H. Seiner, **O. Tyc, L. Kadeřávek**, P. Sedmák, **M. Vronka**
Beyond the strain recoverability of martensitic transformation in NiTi
Int. J. Plast. 116 (2019) 232–264.
42. **J. Hellerstedt, A. Cahlík, O. Stetsovych, M. Švec**, T. K. Shimizu, **P. Mutombo**, J. Klívar, I. G. Stará, **P. Jelínek**, I. Starý
Aromatic Azide Transformation on the Ag(111) Surface Studied by Scanning Probe Microscopy
Angew. Chem. Int. Ed. 58 (2019) 2266–2271.
43. Jiří Henych, **Štěpán Stehlík**, Karel Mazanec, Jakub Tolasz, **Jan Čermák, Bohuslav Rezek**, Andreas Mattsson, Lars Österlund
Reactive adsorption and photodegradation of soman and dimethyl methylphosphonate on TiO₂/nanodiamond composites
Appl. Catal. B Environ. 259 (2019) 118097(1)–118097(11).
44. Q. He, **D. Vokoun**, T. Stalbaum, K. J. Kim, A. I. Fedorchenko, X. Zhou, M. Yu, Z. Dai
Mechanoelectric transduction of ionic polymer-graphene composites sensor with ionic liquid as electrolyte
Sens. Actuator A-Phys. 286 (2019) 68–77.
45. **J. Holovský**, A. P. Amalathas, **L. Landová**, B. Dzurňák, B. Conrad, **M. Ledinský, Z. Hájková**, O. Pop-Georgievski, J. Svoboda, T. Ch. -J. Yang, Q. Jeangros
Lead Halide Residue as a Source of Light-Induced Reversible Defects in Hybrid Perovskite Layers and Solar Cells
ACS Energy Lett. 4 (2019) 3011–3017.

46. **J. Honolka**, C. Hogan, **M. Vondráček**, Y. Polyak, F. Arciprete, E. Placidi
Electronic properties of GaAsBi(001) alloys at low Bi content
Phys. Rev. Mater. 3 (2019) 044601-1–044601-14.
47. P. Hozák, M. Vorokhta, I. Khalakhan, K. Jarkovská, J. Cibulková, Pr. Fitl, J. Vlček, J. Fara, D. Tomeček, **M. Novotný**, M. Vorokhta, J. Lančok, I. Matolínová, M. Vrňata
New Insight into the Gas-Sensing Properties of CuOx Nanowires by Near-Ambient Pressure XPS
J. Phys. Chem. C 123 (2019) 29739–29749.
48. **Z. Hubička**, M. Zlámal, **M. Čada**, Š. Kment, J. Krýsa
Photo-electrochemical stability of copper oxide photocathodes deposited by reactive high power impulse magnetron sputtering
Catal. Today 328 (2019) 29–34.
49. Z. Hu, X. Chen, H. Chen, Y. Shi, X. Liu, T. Xie, H. Kou, Y. Pan, **E. Mihóková**, **M. Nikl**, J. Li
Suppression of the slow scintillation component of Pr:Lu₃Al₅O₁₂ transparent ceramics by increasing Pr concentration
J. Lumin. 210 (2019) 14–20.
50. J. Humlíček, **K. Kuldová**, R. Krumpolec, D. C. Cameron
Ellipsometry, reflectance, and photoluminescence of nanocrystalline CuCl thin films on silicon
J. Vac. Sci. Technol. B 37 (2019) 051206(1)–051206(5).
51. **M. Jelinek**, **T. Kocourek**, K. Jurek, M. Jelinek, **B. Smolková**, **M. Uzhytchak**, **O. Lunov**
Preliminary Study of Ge-DLC Nanocomposite Biomaterials Prepared by Laser Codeposition
Nanomaterials 9 (2019) 451(1)–451(15).
52. **M. Jirsa**, **M. Rameš**, I. Ďuran, T. Entler and L. Viererbl
Critical currents in REBaCuO superconducting tapes in response to neutron irradiation
Supercond. Sci. Tech. 32 (2019) 0550007(1)–0550007(7).
53. M. Klusáčková, R. Nebel, K. Minhová Macounová, **M. Klementová**, P. Krtil
Size control of the photo-electrochemical water splitting activity of SrTiO₃ nano-cubes
Electrochim. Acta 297 (2019) 215–222.
54. A. Knaislová, J. Linhart, P. Novák, F. Průša, **J. Kopeček**, F. Laufek, D. Vojtěch
Preparation of TiAl₁₅Si₁₅ intermetallic alloy by mechanical alloying and the spark plasma sintering method
Powder Metall. 62 (2019) 54–60.
55. A. Knaislová, P. Novák, **J. Kopeček**, F. Průša
Properties Comparison of Ti-Al-Si Alloys Produced by Various Metallurgy Methods
Materials 12 (2019) 3084-1–3084-19.
56. P. Turánek Knötigová, J. Mašek, F. Hubatka, J. Kotouček, P. Kulich P. Šimečková, E. Bartheldyová, M. Machala, T. Švadlákova, J. Krejsek, N. Vaškovicová, R. Skoupý, V. Krzyžánek, S. Macaulay, M. Kartzuba, **L. Fekete**, **P. Ashcheulov**, M. Raška, **I. Kratochvílová**, J. Turánek
Application of Advanced Microscopic Methods to Study the Interaction of Carboxylated Fluorescent Nanodiamonds with Membrane Structures in THP1 Cells: Activation of Inflammasome NLRP3 as the Result of Lysosome Destabilization
Mol. Pharm. 16 (2019) 3441–3451.
57. S. Kodama, S. Kurosawa, M. Ohno, A. Yamaji, M. Yoshino, **J. Pejchal**, **R. Král**, Y. Ohashi, K. Kamada, Y. Yokota, **M. Nikl**, A. Yoshikawa
Development of a novel red-emitting cesium hafnium iodide scintillator
Radiat. Meas. 124 (2019) 54–58.
58. **Z. Kožíšek**
Crystallization in small droplets: Competition between homogeneous and heterogeneous nucleation
J. Cryst. Growth 522 (2019) 53–60.
59. **I. Kratochvílová**, O. Kopečná, A. Bačíková, E. Pagáčová, I. Falková, S. E. Follett, K. W. Elliott, K. Varga, **M. Golan**, M. Falk
Changes in Cryopreserved Cell Nuclei Serve as Indicators of Processes during Freezing and Thawing
Langmuir 35 (2019) 7496–7508.
60. **M. Krečmarová**, D. Andres-Penares, **L. Fekete**, **P. Ashcheulov**, A. Molina-Sánchez, R. I. Canet-Albiach, Gregora, **V. Mortet**, J. P. Martínez-Pastor, J. F. Sánchez-Royo,
Optical contrast and raman spectroscopy techniques applied to few-layer 2d hexagonal boron nitride
Nanomaterials 9 (2019) 1047 (1)–1047 (10).

61. S. Krishna, C. Androulidakis, E. N. Koukaras, J. Rahova, K. Drogowska, M. Kalbac, **A. Vetushka, A. Fejfar**, C. Galiotis, O. Frank.
Sculpturing graphene wrinkle patterns into compliant substrates
Carbon 146 (2019) 772–778.
62. M. Kroker, Z. Czigány, **Z. Weiss**, M. Fekete, P. Souček, K. Balázs, V. Sochora, M. Jílek, P. Vašina
On the origin of multilayered structure of W-B-C coating prepared by nonreactive magnetron sputtering from a single segmented target
Surf. Coat. Tech. 377 (2019) 124864–.
63. J. Krůšek, I. Dittert, T. Smejkalová, M. Kořínek, K. Gottfriedová, H. Freislebenová, E. Neuhöferová, **L. Klimša, S. Sedláková, A. Taylor, V. Mortet, V. Petrák, V. Benson, V. Petráková**
Molecular Functionalization of Planar Nanocrystalline and Porous Nanostructured Diamond to Form an Interface with Newborn and Adult Neurons
phys. status solidi b 256 (2019) 1800424 (1)–1800424 (9).
64. J. Kubásek, **D. Dvorský, J. Čapek, J. Pinc**, D. Vojtěch
Zn-Mg Biodegradable Composite: Novel Material with Tailored Mechanical and Corrosion Properties
Materials 12 (2019) –(1)–(7).
65. S. Pavan Kumar Naik, M. Miryala, K. Takemura, **M. Jirsa**, M. Murakami
Infiltration growth processing of single grain (Gd,Dy)BCO bulk superconductors: Optimization of liquid phase mass and characterization of physical properties
J. Appl. Phys. 125 (2019) 093907(0)–093907(12).
66. S. Kurosawa, T. Shishido, T. Sugawara, K. Yubuta, T. Horiai, **V. Jarý**, A. Yamaji, M. Yoshido, Y. Yokota, Y. Shoji, K. Kamada, Y. Yoshikawa, **J. Pejchal, M. Nikl**
Scintillation properties of Y-Admixed Gd₂Si₂O₇ scintillator
Radiat. Meas. 126 (2019) 106123–.
67. K. Kurp, M. Tykarska, P. Salamon, M. Czerwiński, **A. Bubnov**
Design of functional multicomponent liquid crystalline mixtures with nano-scale pitch fulfilling deformed helix ferroelectric mode demands
J. Mol. Liq. 290 (2019) 111329(1)–111329(10).
68. **Kateřina Kůsová, Tomáš Popelář**
On the importance of onset times and multiple-wavelength analysis of photoluminescence decays
J. Appl. Phys. 125 (2019) 193103(1)–193103(9).
69. **V. Laguta, M. Buryi, A. Beitlerova**, O. Laguta, K. Nejezchleb, **M. Nikl**
Vanadium in yttrium aluminum garnet: Charge states and localization in the lattice
Opt. Mater. 91 (2019) 228–234.
70. **V. Laguta, M. Buryi, M. Nikl**, J. Zeler, E. Zych, M. Bettinelli
Electron and hole trapping in Eu- or Eu,Hf-doped LuPO₄ and YPO₄ tracked by EPR and TSL spectroscopy
J. Mater. Chem. C 7 (2019) 11473–11482.
71. **V. Lavrentiev, D. Chvostova**, M. Motylenko, J. Vacik, D. Rafaja, **A. Dejneka**
Quantum plasmon excitations in gold-fullerene mixture films
Nanotechnology 30 (2019) 365001(1)–365001(10).
72. **M. Ledinsky**, T. Schönfeldová, **J. Holovský**, E. Aydin, Z. Hájková, **L. Landová, N. Neykova, A. Fejfar**, S. De Wolf
Temperature Dependence of the Urbach Energy in Lead Iodide Perovskites
J. Phys. Chem. Lett. 10 (2019) 1368–1373.
73. **P. Lejček**, S. Hofmann
Modeling grain boundary segregation by prediction of all the necessary parameters
Acta Mater. 170 (2019) 253–267.
74. **P. Lejček**, S. Hofmann, **V. Paidar**
The Significance of Entropy in Grain Boundary Segregation
Materials 12 (2019) 1–9.
75. P. Lejček, M. Roudnická, **J. Čapek, D. Dvorský, J. Drahokoupil, D. Šimek**, J. Čížek, **P. Svora, O. Molnářová**, D. Vojtěch
Selective laser melting of pure iron: Multiscale characterization of hierarchical microstructure
Mater. Char. 154 (2019) 222–232.

76. B. Lesiak, N. Rangam, **P. Jiříček, I. Gordeev**, J. Toth, L. Kover, M. Mohai, P. Borowicz
Surface Study of Fe₃O₄ Nanoparticles Functionalized With Biocompatible Adsorbed Molecules
Front. Chem. 7 (2019) 642(1)–642(16).
77. J. Li, S. Lampart, J. S. Siegel, K. -H. Ernst, **C. Wackerlin**
Graphene grown from flat and bowl shaped polycyclic aromatic hydrocarbons on Cu(111)
ChemPhysChem 21 (2019) 2354–2359.
78. Y. Liu, A. Talbi, B. Djafari-Rouhani, E. H. El Boudouti, **L. Drbohlavová, V. Mortet**, O. Bou Matar, P. Pernod
Interaction of Love waves with coupled cavity modes in a 2D holey phononic crystal
Phys. Lett. A 383 (2019) 1502–1505.
79. A. Macková, P. Malinský, A. Jagerová, R. Mikšová, Z. Sofer, K. Klímová, M. Mikulics, R. Böttger, S. Akhmadaliev, **J. Oswald**
Damage accumulation and implanted Gd and Au position in a- and c-plane GaN
Thin Solid Films 680 (2019) 102–113.
80. K. Minhová Macounová, R. Nebel, M. Klusáčková, **M. Klementová**, P. Krtíl
Selectivity control of the photo-catalytic water oxidation on SrTiO₃ nanocubes via surface dimensionality
ACS Applied Materials and Interfaces 11 (2019) 16506–16516.
81. **J. A. Mares**, S. Witkiewicz-Lukaszek, V. Gorbenko, T. Zorenko, **R. Kucerkova, A. Beitlerova**, C. D'Ambrosio, **J. Dlouhy, M. Niki**, Yu Zorenko
Alpha and gamma spectroscopy of composite scintillators based on the LuAG:Pr crystals and single crystalline films of LuAG:Ce and (Lu,Gd,Tb)AG:Ce garnets.
Opt. Mater. 96 (2019) 109268(1)–109268(10).
82. I. D. Marion, D. Čapeta, B. Pielic, F. Faraguna, **A. Gallardo**, P. Pou, B. Biel, N. Vujičić, M. Kralj
Atomic-scale defects and electronic properties of a transferred synthesized MoS₂ monolayer
Nanotechnology 29 (2019) 305703(1)–305703(12).
83. J. Matějček, M. Vilémová, J. Veverka, **J. Kubásek**, F. Lukáč, P. Novák, D. Preisler, J. Stráský, **Z. Weiss**
On the structural and chemical homogeneity of spark plasma sintered tungsten
Metals 9 (2019) 879–.
84. A. Micheletti, F. Amarante dos Santos, and **P. Sittner**,
Superelastic tensegrities: matrix formulation and antagonistic actuation
Smart Mater. Struct. 27 (2019) 105028(1)–105028(29).
85. **J. More-Chevalier, S. Cichoň, J. Bulíř, M. Poupon, P. Hubík, L. Fekete, J. Lančok**
Electrical and optical properties of scandium nitride nanolayers on MgO (100) substrate
AIP Adv. 9 (2019) 015317(1)–015317(7).
86. **J. More-Chevalier**, P. V. Yudin, Ch. Cibert, **P. Bednyakov, P. Fitl, J. Valenta, M. Novotný, M. Savinov, M. Poupon, T. Zikmund**, G. Poullain, **J. Lančok**
Black aluminum-coated Pt/Pb(Zr_{0.56}Ti_{0.44})O₃/Pt thin film structures for pyroelectric energy harvesting from a light source
J. Appl. Phys. 126 (2019) 214501(1)–214501(7).
87. **V. Mortet, L. Drbohlavova, N. Lambert, A. Taylor, P. Ashcheulov, M. Davydova**, J. Lorincik, M. Aleshin, **P. Hubik**
Conductivity of boron-doped diamond at high electrical field
Diam. Relat. Mater. 98 (2019) 107476 (1)–107476 (5).
88. **V. Mortet, L. Drbohlavova, N. Lambert, A. Taylor, P. Ashcheulov, M. Davydova**, J. Lorincik, M. Aleshin, **P. Hubik**
Conductivity of boron-doped diamond at high electrical field
Diam. Relat. Mater. 98 (2019) 107476(1)–107476(5).
89. **V. Mortet**, Z. Vlčková Živcová, **A. Taylor**, M. Davydová, O. Frank, **P. Hubík**, J. Lorincik, M. Aleshin
Determination of atomic boron concentration in heavily boron-doped diamond by Raman spectroscopy
Diam. Relat. Mater. 93 (2019) 54–58.
90. D. Musiienko, A. Saren, **L. Straka, M. Vronka, J. Kopeček, O. Heczko**, A. Sozinov, K. Ullakko
Ultrafast actuation of Ni-Mn-Ga micropillars by pulsed magnetic field
Scripta Mater. 162 (2019) 482–485.
91. **N. Neykova, Y. Y. Chang, M. Buryi, M. Davydova, R. Kucerkova, D. Simek, Z. Remes**, O. Pop-Georgievski
Study of ZnO nanorods grown under UV irradiation
Appl. Surf. Sci. 472 (2019) 105–111.

92. **Frans Nilsén**, Iñigo Flores Ituarte, Mika Salmi, Jouni Partanen, Simo-Pekka Hannula
Effect of process parameters on non-modulated Ni-Mn-Ga alloy manufactured using powder bed fusion
Addit. Manuf. 28 (2019) 464–474.
93. P. Novák, T. Vanka, K. Nová, J. Stoužil, F. Průša, **J. Kopeček**, P. Haušild, F. Laufek
Structure and Properties of Fe–Al–Si Alloy Prepared by Mechanical Alloying
Materials 12 (2019) 2463-1–2463-18.
94. K. Nová, P. Novák, F. Průša, **J. Kopeček**, J. Čech
Synthesis of Intermetallics in Fe-Al-Si System by Mechanical Alloying
Metals 9 (2019) 20 (1)–20 (14).
95. **V. Novotná, V. Hamplová, L. Lejček**, D. Pocięcha, **M. Cigl, L. Fekete, M. Glogarová**, L. Bednárová, P. Majewski, E. Gorecka
Organic nanotubes created from mesogenic derivatives
Nanoscale Adv. 1 (2019) 2835–2839.
96. **V. Novotná, S. Stulov, V. Hamplová, M. Cigl, O. Pacherová**
New smectogens with (S)-2-methylbutyl lactate group in the terminal chain and chlorine-substituted molecular core
Liq. Cryst. 46 (2019) 1035–1042.
97. **M. Novotný, M. Vondráček, E. Marešová, P. Fitl, J. Bulíř, P. Pokorný, Š. Havlová, N. Abdellaoui, A. Pereira, P. Hubík, J. More-Chevalier, J. Lančok**
Optical and structural properties of ZnO:Eu thin films grown by pulsed laser deposition
Appl. Surf. Sci. 476 (2019) 271–275.
98. **J. Olejníček, J. Šmíd, R. Perekrestov, P. Kšírová, J. Rathouský, M. Kohout, M. Dvořáková, Š. Kment, K. Jurek, M. Čada, Z. Hubička**
Co₃O₄ thin films prepared by hollow cathode discharge
Surf. Coat. Tech. 366 (2019) 303–310.
99. **J. Páterek, R. Král, J. Pejchal, R. Prokeš, M. Nikl**
LuAG:Pr codoped with Ho³⁺: Acceleration of Pr³⁺ decay by energy transfer
Radiat. Meas. 124 (2019) 122–126.
100. **J. Páterek, M. Pokorný, S. Sýkorová, A. Stehlík, J. Polák, J. Houžvička, M. Nikl**
Ho³⁺ codoping of YAG:Ce: Acceleration of Ce³⁺ decay kinetics by energy transfer
J. Lumin. 213 (2019) 469–473.
101. **J. Pejchal, J. Barta, T. Trojek, R. Kucerkova, A. Beitlerova, M. Nikl**
Luminescence and scintillation properties of rare-earth-doped LaAlO₃ single crystals
Radiat. Meas. 121 (2019) 26–31.
102. **J. Pejchal, C. Gugushev, M. Schulze, V. Jary, E. Mihokova, K. Rubesova, V. Jakes, J. Barta, M. Nikl**
Luminescence and scintillation properties of strontium hafnate and strontium zirconate single crystals
Opt. Mater. 98 (2019) 109494(1)–109494(7).
103. **I. Pelant, K. Kúsová**
Towards a Germanium and Silicon Laser: The History and the Present
Crystals 9 (2019) 624(1)–624(19).
104. J. Peräntie, **M. Savinov, T. Kocourek, M. Jelínek**, H. Jantunen, **A. Dejneka, M. Tyunina**
Hybrid polar state in epitaxial (111) PbSc_{0.5}Nb_{0.5}O₃ relaxor ferroelectric films
Phys. Rev. Mater. 3 (2019) 014403(1)–014403(7).
105. R. Perekrestov, A. Spesyvyi, J. Maixner, K. Mašek, O. Leiko, I. Khalakhan, J. Maňák, **P. Kšírová, Z. Hubička, M. Čada**
The comparative study of electrical, optical and catalytic properties of Co₃O₄ thin nanocrystalline films prepared by reactive high-power impulse and radio frequency magnetron sputtering
Thin Solid Films 686 (2019) 137427(1)–137427(9).
106. I. Petrova, A. Gaj, D. Pochiecha, M. Shcherbina, N. N. Makarova, **A. Bubnov**
Design and self-assembling behaviour of comb-like stereoregular cyclolinear methylsiloxane copolymers with chiral lactate groups
Liq. Cryst. 46 (2019) 25–36.

107. **K. Pomeisl**, R. Pohl, R. Snoeck, G. Andrei, M. Krečmerová
Utilization of 1,3-Dioxolanes in the Synthesis of α -branched Alkyl and Aryl 9-[2-(Phosphonomethoxy) Ethyl]Purines and Study of the Influence of α -branched Substitution for Potential Biological Activity
Nucleos Nucleot Nucleic Acids 07/12/2018 (2019) 1–38.
108. **T. Popelář, L. Ondič, I. Pelant, K. Kůsová**, D. Hiller
Energy transfer channel between silicon nanocrystals and an optical center emitting above their bandgap
J. Lumin. 215 (2019) 116685–116689.
109. K. Popovich, M. Šípková, V. Čuba, **L. Procházková, J. Bárta, M. Nikl**
Highly luminescent cerium-doped YSO/LSO microcrystals prepared via room temperature sol-gel route
Radiat. Meas. 122 (2019) 84–90.
110. A. Poryvai, **A. Bubnov**, D. Pocięcha, J. Svoboda, M. Kohout
The effect of the length of terminal n -alkyl carboxylate chain on self-assembling and photosensitive properties of chiral lactic acid derivatives
J. Mol. Liq. 275 (2019) 829–838.
111. **V. Procházká**, R. Matějka, **T. Ižák, O. Szabó**, J. Štěpanovská, E. Filová, L. Bačáková, **V. Jirásek, A. Kromka**
Nanocrystalline diamond-based impedance sensors for real-time monitoring of adipose tissue-derived stem cells
Colloid Surf. B-Biointerfaces 177 (2019) 130–136.
112. **L. Procházková**, I. T. Pelikánová, **E. Mihóková**, R. Dědic, V. Čuba
Novel scintillating nanocomposite for X-ray induced photodynamic therapy
Radiat. Meas. 121 (2019) 13–17.
113. **L. Procházková, V. Vaněček**, V. Čuba, R. Pjatkan, R. Martinez-Turtos, I. Jakubec, **M. Buryi**, S. Omelkov, E. Auffray, P. Lecoq, **E. Mihóková, M. Nikl**
Core-Shell ZnO:Ga-SiO₂ nanocrystals: limiting particle agglomeration and increasing luminescence via surface defect passivation
RSC Adv. 50 (2019) 28946–28952.
114. A. **A. Prokhorov**, L. F. Chernush, T. N. Melnik, R. Minikayev, A. Mazur, **V. Babin, M. Nikl, J. Lančok**, A. D. Prokhorov
Optical and magnetic properties of the ground state of Cr³⁺ doping ions in REM₃(BO₃)₄ single crystals
Sci. Rep. 9 (2019) 12787(1)–12787(12).
115. A. **A. Prokhorov**, L. F. Chernush, R. Minikayev, **J. Lančok**, A. D. Prokhorov
EPR Study of Chromium Ions Doped Gallium Borate
Acta Phys. Polon. A 136 (2019) 947–951.
116. V. Prokop, L. Střížík, **J. Oswald**, M. Vlček, L. Beneš, S. N. Yannopoulos, B. Frumarová, T. Wágner
1.5 μ m photoluminescence and upconversion photoluminescence in GeGaAsS:Er chalcogenide glass
Pure Appl. Chem. 111 (2019) 1–11.
117. F. Průša, J. Šesták, A. Školáková, P. Novák, P. Haušild, M. Karlík, P. Minárik, **J. Kopeček**, F. Laufek
Application of SPS consolidation and its influence on the properties of the FeAl₂₀Si₂₀ alloys prepared by mechanical alloying
Mat. Sci. Eng. A-Struct. 761 (2019) 138020–1–138020–20.
118. M. Rathaiah, M. Kucera, **J. Pejchal, A. Beitlerova, R. Kucerkova, M. Nikl**
Epitaxial growth, photoluminescence and scintillation properties of Gd³⁺ co-doped YAlO₃:Ce³⁺ films
Radiat. Meas. 121 (2019) 86–90.
119. M. Rathaiah, M. Kučera, **P. Průša, A. Beitlerová, M. Nikl**
Effect of Si⁴⁺ co-doping on luminescence and scintillation properties of Lu₃Al₅O₁₂:Ce,Ca epitaxial garnet films
Opt. Mater. 91 (2019) 321–325.
120. **Z. Remes, J. Stuchlik**, H. T. Stuchlikova, **K. Dragounova, P. Ashcheulov, A. Taylor, V. Mortet**, A. Poruba
Optoelectronic properties of hydrogenated amorphous substoichiometric silicon carbide with low carbon content deposited at high temperature on semi-transparent boron-doped diamond
phys. status solidi a (2019) 1900241(1)–1900241(6).
121. K. Rubešová, J. Havlíček, V. Jakeš, L. Nádherný, J. Cajzl, D. Pánek, T. Parkman, **A. Beitlerova, R. Kučerková, F. Hájek, M. Nikl**
Heavily Ce³⁺-doped Y₃Al₅O₁₂ thin films deposited by a polymer sol-gel method for fast scintillation detectors
CrystEngComm 21 (2019) 5115–5123.

122. S. Samal, M. Kolinova, H. Rahier, GD. Poggetto, I. Blanco
Investigation of the Internal Structure of Fiber Reinforced Geopolymer Composite under Mechanical Impact: A Micro Computed Tomography (μ CT) Study
Appl. Sci. 9 (3) (2019) 516 (1)–516 (14).
123. S. Samal, M. Škodová, I. Blanco
Effects of Filler Distribution on Magnetorheological Silicon-Based Composites
Materials 12 (18) (2019) 3017 (1)–3017 (13).
124. A. Sánchez-Grande, B. de la Torre, J. Santos, B. Cirera, K. Lauwaet, **T. Chutora**, S. Edalatmanesh, **P. Mutombo**, J. Rosen, R. Zbořil, R. Miranda, J. Bjork, **P. Jelínek**, N. Martín, D. Ecija
On-surface synthesis of ethynylene bridged anthracene polymers
Angew. Chem. Int. Ed. 58 (2019) 6559–6563.
125. J. Šebesta, **D. Kriegner**, J. Prchala
Lattice distortion in TmCo₂: A poly- and single-crystal study
J. Alloy. Compd. 775 (2019) 969–974.
126. Hanuš Seiner, Robert Chulist, Wojciech Maziarz, Alexei Sozinov, **Oleg Heczko**, **Ladislav Straka**
Non-conventional twins in five-layer modulated Ni-Mn-Ga martensite
Scripta Mater. 162 (2019) 497–502.
127. E. Serpini, A. Rota, S. Valeri, **E. Ukraintsev**, **B. Rezek**, T. Polcar, P. Nicolini
Nanoscale frictional properties of ordered and disordered MoS₂
Tribol. Int. 136 (2019) 67–74.
128. M. Ševčík, J. Zídek, J. Nejezchlebová, J. Štefan, A. Machová, H. Seiner, A. Uhnáková, **J. Čapek**, **P. Lejček**
Crack growth in Fe-Si (2wt%) single crystals on macroscopic and atomistic level
Results Phys. 14 (2019) 102450 (1)–102450 (18).
129. Petr Sezemský, **Vítězslav Straňák**, Jiří Kratochvíl, **Martin Čada**, Rainer Hippler, Miroslav Hrabovský, **Zdeněk Hubička**
Modified high frequency probe approach for diagnostics of highly reactive plasma
Plasma Sources Sci. T. 28 (2019) 115009(1)–115009(10).
130. Hua Shu Hsu, Huai Sheng Hsu, Jun Xiao Lin, Shih-Jye Sun, Yaw-Teng Tseng, **Z. Remeš**
Manipulation of the magnetoabsorption effect in Co-coated ZnO nanowires with Au decoration
Appl. Surf. Sci. 492 (2019) 591–597.
131. O. Sidletskiy, K. Lebbou, D. Kofanov, V. Kononets, Ia. Gerasymov, R. Bouaita, **V. Jary**, **R. Kucerkova**, **M. Nikl**, A. Polesel, K. Pauwels, E. Auffray
Progress in fabrication of long transparent YAG:Ce and YAG:Ce,Mg single crystalline fibers for HEP applications
CrystEngComm 21 (2019) 1728–1733.
132. A. Školáková, J. Leitner, P. Salvetr, P. Novák, D. Deduytsche, **J. Kopeček**, Ch. Detavernier, D. Vojtěch
Kinetic and thermodynamic description of intermediary phases formation in Ti-Al system during reactive sintering
Mater. Chem. Phys. 230 (2019) 122–130.
133. M. Sojkova, P. Siffalovic, **O. Babchenko**, G. Vanko, E. Dobročka, J. Hagara, N. Mrkyvkova, E. Majkova, **T. Izak**, **A. Kromka**, M. Hulman
Carbide-free one-zone sulfurization method grows thin MoS₂ layers on polycrystalline CVD diamond
Sci. Rep. 9 (2019) 2001–.
134. **I. Stachiv**, L. Gan
Simple Non-Destructive Method of Ultrathin Film Material Properties and Generated Internal Stress Determination Using Microcantilevers Immersed in Air
Coatings 9 (2019) 1–14.
135. L. Stankova, J. Musilkova, A. Broz, S. Potocky, **A. Kromka**, **H. Kozak**, **T. Izak**, **A. Artemenko**, D. Stranska, L. Bacakova
Alterations to the adhesion, growth and osteogenic differentiation of human osteoblast-like cells on nanofibrous polylactide scaffolds with diamond nanoparticles
Diam. Relat. Mater. 97 (2019) 107421–.
136. **P. Štenclová**, V. Vyskočil, **O. Szabó**, **T. Ižák**, Š. Potocký, **A. Kromka**
Structured and graphitized boron doped diamond electrodes: Impact on electrochemical detection of Cd²⁺ and Pb²⁺ ions
Vacuum 170 (2019) 108953(1)–108953(7).

137. **Ladislav Straka**, Ladislav Fekete, **Michal Rameš**, Eduard Belas, **Oleg Heczko**
Magnetic coercivity control by heat treatment in Heusler Ni–Mn–Ga(–B) single crystals
Acta Mater. 169 (2019) 109–121.
138. **T. H. Stuchlíková**, **Z. Remeš**, **V. Mortet**, **A. Taylor**, **P. Ashcheulov**, **J. Stuchlík**, V. A. Volodin
Electrical and optical characteristics of boron doped nanocrystalline diamond films
Vacuum 168 (2019) 108813(1)–108813(4).
139. **A. Stupakov**, **O. Pacherova**, **T. Kocourek**, **M. Jelinek**, **A. Dejneka**, and **M. Tyunina**
Negative magnetoresistance in epitaxial films of neodymium nickelate
Phys. Rev. B 99 (2019) 08511(1)–08511(7).
140. **M. Telychko** J. Su, **A. Gallardo** Y. Gu, J. I. Mendieta, D. Qi, A. Tadich, Sh. Song, P. Lyu, Zh. Qiu, H. Fang, M. Joo Koh, J. Wu, **P. Jelínek**, J. Lu
Strain Induced Isomerization in One Dimensional Metal–Organic Chains
Angew. Chem. Int. Ed. 58 (2019) 18591–18597.
141. J. Šulc, R. Švejkar, **M. Fibrich**, H. Jelínková, **L. Havlák**, **V. Jarý**, **M. Ledinský**, **M. Nikl**, **J. Bárta**, **M. Buryi**, R. Lorenzi, F. Cova, A. Vedda
Infrared spectroscopic properties of low-phonon lanthanide-doped KLuS₂ crystals
J. Lumin. 211 (2019) 100–107.
142. Shih-Jye Sun, M. Menšík, P. Toman, **K. Král**
Transverse electric field dependence of charge mobility in end-on oriented polymer structures
Chem. Phys. 522 (2019) 15–23.
143. Xiaojun Su, Xulu Zeng, **Hynek Němec**, Xianshao Zou, Wei Zhang, Magnus T. Borgström, Arkady Yartsev
Effect of hydrogen chloride etching on carrier recombination processes of indium phosphide nanowires
Nanoscale 11 (2019) 18550–18558.
144. T. Takasugi, Y. Yokota, T. Horiai, M. Yoshino, A. Yamaji, Y. Ohashi, S. Kurosawa, K. Kamada, **V. Babin**, **M. Nikl**, A. Yoshikawa
Al-doping effects on mechanical, optical and scintillation properties of Ce:(La,Gd)₂Si₂O₇ single crystals
Opt. Mater. 87 (2019) 11–15.
145. **A. Tarasenko**
Diffusion on a one-dimensional sawtooth lattice with the nearest and the next nearest neighbor interactions
Physica A 515 (2019) 1–12.
146. **A. Tarasenko**
Study of atom diffusion in a lattice gas model with the non-additive lateral interactions
Surf. Sci. 679 (2019) 284–295.
147. **A. Tarasenko**
The theory of diffusion in a binary mixture of molecules coadsorbed on a two-dimensional lattice
Sep. Purif. Technol. 224 (2019) 421–430.
148. **A. Tarasenko**
The general theory of diffusion in a mixture of molecules coadsorbed on a homogeneous two-dimensional lattice
Chem. Eng. Sci. 206 (2019) 261–271.
149. A. Taylor, L. Klimša, **J. Kopeček**, **Z. Remeš**, **M. Vronka**, R. Čtvrtlík, J. Tomašík, **V. Mortet**
Synthesis and properties of diamond–silicon carbide composite layers
J. Alloy. Compd. 800 (2019) 327–333.
150. **K. Tesař**, V. Gärtnerová, M. Němec, A. Jäger
Fe-stabilized duplex α/β microstructure containing γ titanium hydride in Ti grade 2 obtained by volumetrically incomplete phase transition
Mater. Char. 153 (2019) 128–135.
151. T. Thoř, K. Rubešová, V. Jakeš, J. Cajzl, L. Nádherný, D. Mikolášová, **R. Kučerková**, **M. Nikl**
Lanthanide-doped Lu₂O₃ phosphors and scintillators with green-to-red emission
J. Lumin. 215 (2019) 116647(1)–116647(9).

152. V. Tkáč, **K. Výborný**, V. Komanický, J. Warmuth, M. Michiardi, A. S. Ngankeu, **M. Vondráček**, R. Tarasenko, M. Vališka, V. Stetsovych, K. Carva, I. Garate, M. Bianchi, J. Wiebe, V. Holý, Ph. Hofmann, G. Springholz, V. Sechovský, **J. Honolka**
Influence of an Anomalous Temperature Dependence of the Phase Coherence Length on the Conductivity of Magnetic Topological Insulators
Phys. Rev. Lett. 123 (2019) 036406–.
153. G. Toci, L. A. Gizzi, P. Koester, F. Baffigi, L. Fulgentini, L. Labate, **A. Hospodková**, **V. Jarý**, **M. Nikl**, M. Vannini
InGaN/GaN multiple quantum well for superfast scintillation application: photoluminescence measurements of the picosecond rise time and excitation density effect
J. Lumin. 208 (2019) 119–124.
154. K. Tomanová, V. Čuba, M. G. Brik, **E. Mihóková**, R. Martinez Turtos, P. Lecoq, E. Auffray, **M. Nikl**
On the structure, synthesis, and characterization of ultrafast blue-emitting CsPbBr₃ nanoplatelets
APL Mat. 7 (2019) 011104(1)–011104(12).
155. **T. Troha**, **M. Kašpar**, **V. Hamplová**, **M. Cigl**, **J. Havlicek**, D. Pocięcha, **V. Novotná**
Silver nanoparticles with liquid crystalline ligands based on lactic acid derivatives
Nanomaterials 9 (2019) 1066(1)–1066(12).
156. V. Tsiurma, A. Krasnikov, S. Zazubovich, Y. Zhydachevskyy, L. Vasylechko, M. Baran, Ł. Wachnicki, L. Lipińska, **M. Nikl**, A. Suchocki
Crystal structure and luminescence studies of microcrystalline GGG:Bi³⁺ and GGG:Bi³⁺,Eu³⁺ as a UV-to-VIS converting phosphor for white LEDs
J. Lumin. 213 (2019) 278–289.
157. S. Tulić, T. Waitz, M. Čaplovičová, G. Habler, **M. Varga**, M. Kotlár, V. Vretenár, **O. Romanyuk**, **A. Kromka**, **B. Rezek**, V. Skákalová
Covalent Diamond–Graphite Bonding: Mechanism of Catalytic Transformation
ACS Nano 13 (2019) 4621–4630.
158. **M. Tyunina**, **D. Chvostova**, **A. Dejneka**
Optical revelation of defects in epitaxial barium titanate films
Phys. Chem. Chem. Phys. 21 (2019) 7874–7878.
159. **M. Varga**, Š. Potocký, **M. Domonkos**, **T. Ižák**, **O. Babčenko**, **A. Kromka**
Great Variety of Man-Made Porous Diamond Structures: Pulsed Microwave Cold Plasma System with a Linear Antenna Arrangement
ACS Omega 4 (2019) 8441–8450.
160. G. Vértesy, **I. Tomáš**, B. Skrbek, T. Uchimoto and T. Takagi
Investigation of Cast Iron Matrix Constituents by Magnetic Adaptive Testing
IEEE Trans. Magn. 55 (2019) 6200306(1)–6200306(6).
161. P. Vlčák, J. Fojt, **Z. Weiss**, **J. Kopeček**, V. Peřina
The effect of nitrogen saturation on the corrosion behaviour of Ti-35Nb-7Zr-5Ta beta titanium alloy nitrided by ion implantation
Surf. Coat. Tech. 358 (2019) 144–152.
162. **Marek Vronka**, **Oleg Heczko**, Marc de Graef
Influence of antiphase and ferroelastic domain boundaries on ferromagnetic domain wall width in multiferroic Ni-Mn-Ga compound
Appl. Phys. Lett. 115 (2019) 032401(1)–032401(5).
163. **M. Vronka**, M. Karlík, J. Veselý, **J. Manak**, **O. Heczko**
Suppression of twinning mechanism on nanoscale: size effect in Cu–Ni–Al shape memory alloy
J. Mater. Sci. 54 (2019) 6586–6593.
164. M. Wehrhold, T. J. Neubert, A. Yadav, **M. Vondráček**, R. M. Iost, **J. Honolka**, K. Balasubramanian
pH sensitivity of interfacial electron transfer at a supported graphene monolayer
Nanoscale 11 (2019) 14742–14756.
165. **Z. Weiss**
Excitation and ionization of iron in argon and neon glow discharges: towards the true picture
Spectrochim. Acta B 158 (2019) 105637–.

166. **Z. Weiss**, J. C. Pickering, V. Hoffmann
Sixty years of spectroscopy research: a tribute to Professor Edward B. M. Steers
Chem. Papers 73 (2019) 2891–2896.
167. S. Wu, T. Cajthaml, J. Semerád, A. Filipová, **M. Klementová**, R. Skála, M. Vítková, Z. Michálková, M. Teodoro, Z. Wu, D. Martínez-Fernandez, M. Komárek
Nano zero-valent iron aging interacts with the soil microbial community: a microcosm study
Environ.-Sci. Nano 6 (2019) 1189–1206.
168. Yu. O. Zagorodniy, V. Chlan, H. Štěpánková, Y. Fomichov, **J. Pejchal**, **V. V. Laguta**, **M. Nikl**
Gallium preference for the occupation of tetrahedral sites in $\text{Lu}_3(\text{Al}_{5-x}\text{Ga}_x)\text{O}_{12}$ multicomponent garnet scintillators according to solid-state nuclear magnetic resonance and density functional theory calculations
J. Phys. Chem. Solids 126 (2019) 93–104.
169. M. Zanáška, P. Kudrna, **M. Čada**, M. Tichý, **Z. Hubička**
In-situ impedance spectroscopy of a plasma-semiconductor thin film system during reactive sputter deposition
J. Appl. Phys. 126 (2019) 023301(1)–023301(12).
170. **J. Zemek**, **J. Houdková**, **P. Jiříček**, **T. Ižák**, M. Kalbáč
Non-destructive depth profile reconstruction of single-layer graphene using angle-resolved X-ray photoelectron spectroscopy
Appl. Surf. Sci. 491 (2019) 16–23.
171. **P. Zemenová**, **R. Král**, M. Rodová, **K. Nitsch**, **M. Nikl**
Calculations of Avrami exponent and applicability of Johnson–Mehl–Avrami model on crystallization in $\text{Er:LiY(PO}_3)_4$ phosphate glass
J. Therm. Anal. Calorim. xxx (2019) 1–9.

Elektronová struktura

- J. Fernández Afonso, A. Sotnikov, A. Hariki, **J. Kuneš**
Pressure-induced spin-state ordering in $\text{Sr}_2\text{CoO}_3\text{F}$
Phys. Rev. B 99 (2019) 205118(1)–205118(6).
- K. -H. Ahn, A. Hariki, K. -W. Lee, **J. Kuneš**
Antiferromagnetism in RuO_2 as d-wave Pomeranchuk instability
Phys. Rev. B 99 (2019) 184432(1)–184432(5).
- J. Doležal**, P. Merino, J. Redondo, **L. Ondič**, **A. Cahlík**, **M. Švec**
Charge Carrier Injection Electroluminescence with CO-Functionalized Tips on Single Molecular Emitters
Nano Lett. 19 (2019) 8605–8611.
- V. Drchal**, **J. Kudrnovský**, D. Wagenknecht, I. Turek
Alloy disorder and fluctuating magnetic moments in the Earth's core
J. Magn. Magn. Mater. 475 (2019) 767–771.
- J. Ebad-Allah, J. Fernández Afonso, M. Krottenmüller, J. Hu, Y. L. Zhu, Z. Q. Mao, **J. Kuneš**, C. A. Kuntscher
Chemical pressure effect on the optical conductivity of the nodal-line semimetals ZrSiY(Y=S,Se,Te) and ZrGeY(Y=S,Te)
Phys. Rev. B 99 (2019) 125154(1)–125154(8).
- M. Hladík, **A. Vetushka**, **A. Fejfar**, **H. Vázquez**
Tuning of the gold work function by carborane films studied using density functional theory
Phys. Chem. Chem. Phys. 21 (2019) 6178(1)–6185(8).
- S. Kaneko, **E. Montes**, S. Suzuki, S. Fujii, T. Nishino, K. Tsukagoshi, K. Ikeda, H. Kano, H. Nakamura, **H. Vázquez** and M. Kiguchi
Identifying the molecular adsorption site of a single molecule junction through combined Raman and conductance studies
Chem. Sci. 10 (2019) 6261–6269.
- E. Montes**, **G. Foti** and **H. Vázquez**
Crossover in the inelastic electron tunneling spectra of conjugated molecules with direct Au-C links
Phys. Chem. Chem. Phys. 21 (2019) 1564–1571.

9. **M. Novák, J. Vackář, R. Cimrman**
Evaluating Hellmann–Feynman forces within non-local pseudopotentials
Comput. Phys. Comm. 2019online (2019) 107034(1)–107034(10).
10. F. Queck, F. Albrecht, **P. Mutombo, O. Krejčí, P. Jelinek**, A. McLean, J. Repp
Interface Dipoles of Ir(ppy)₃ on Cu(111)
Nanoscale 11 (2019) 12695–12703.
11. M. Studniarek, **C. Wackerlin**, A. Singha, R. Baltic, K. Diller, F. Donati, S. Rusponi, H. Brune, Y. Lan, S. Klyatskaya, M. Ruben, A. P. Seitsonen, J. Dreiser,
Understanding the Superior Stability of Single-Molecule Magnets on an Oxide Film
Adv. Sci. 6 (2019) 1901736-1–1901736-9.
12. I. Turek, **J. Kudrnovský, V. Drchal**
Ab initio theory of the spin-dependent conductivity tensor and the spin Hall effect in random alloys
Phys. Rev. B 100 (2019) 134435(1)–134435(10).
13. **Peter Zalom**, Joeri de Bruijckere, Rocco Gaudenzi, Herre S. J. van der Zant, Tomáš Novotný, Richard Korytář
Magnetically Tuned Kondo Effect in a Molecular Double QuantumDot: Role of the Anisotropic Exchange
J. Phys. Chem. C 123 (2019) 11917–11925.

Geometrická struktura

1. A. Addala, **M. Poupon**, S. Bernès, G. S. Kürkcüoğlu, X. Liu, F. Lehchili, **M. Kučeráková, M. Dušek**, F. Setifi, Z. Setifi, J. Reedijk
Synthesis, structure and luminescence properties of zinc and cadmium linear-chain compounds with anionic monoalkoxy-tetracyanopropenes bridged by 4,4'-bipyridines
Polyhedron 170 (2019) 271–277.
2. S. Akbari, R. S. Khoshnood, F. K. Ahmadabad, M. Pourayoubi, **M. Dušek**, E. S. Shchegravina
The (CF₃C(O)NH)(C₆H₅CH₂NH)₂P(O) phosphoric triamide as a novel carrier with excellent efficiency for Cu(II) in a liquid membrane transport system
RSC Adv. 9 (2019) 9153–9159.
3. E. Bednářová, D. Nečas, I. Císařová, **M. Dušek**, F. Lamaty, M. Kotora
Synthesis of new bipyridine N,N'-dioxides and their application in asymmetric allylation of benzaldehyde and aldol addition to acetophenone
Mon. Chem. 150 (2019) 29–48.
4. L. Bejaoui, **J. Rohlíček, V. Eigner**, A. Ismail, M. El Bour, R. Ben Hassen
Crystal Structure, Hirshfeld Surface Analysis and Biological Activities of trans-Dipyridinebis(3-acetyl-2-oxo-2H-chromen-4-olato)cobalt(II)
Acta Chim. Slov. 66 (2019) 603–613.
5. **P. Brázda, L. Palatinus**, M. Babor
Electron diffraction determines molecular absolute configuration in a pharmaceutical nanocrystal
Science 364 (2019) 667–669.
6. N. V. Chukanov, I. V. Pekov, J. Sejkora, **J. Plášil**, D. I. Belakovskiy, S. N. Britvin
Ferrierite-NH₄(NH₄Mg_{0.5}(Al₅Si₃₁O₇₂))·22H₂O, a New Zeolite from Northern Bohemia, Czech Republic
Can. Mineral. 57 (2019) 81–90.
7. B. Cirera, B. de la Torre, D. Moreno, **M. Ondráček**, R. Zbořil, R. Miranda, **P. Jelínek**, D. Écija
On-Surface Synthesis of Gold Porphyrin Derivatives via a Cascade of Chemical Interactions: Planarization, Self-Metalation, and Intermolecular Coupling
Chem. Mater. 31 (2019) 3248–3256.
8. F. Colmenero, **J. Plášil**, J. Cobos, J. Sejkora, V. Timón, J. Čejka, L. J. Bonales
Crystal structure, hydrogen bonding, mechanical properties and Raman spectrum of the lead uranyl silicate monohydrate mineral kasolite
RSC Adv. 9 (2019) 15323–15334.

9. F. Colmenero, **J. Plášil**, J. Cobos, J. Sejkora, V. Timón, J. Čejka, A. M. Fernández, **V. Petříček**
Structural, mechanical, spectroscopic and thermodynamic characterization of the copperuranyl tetrahydroxide mineral vandenbrandeite
RSC Adv. 9 (2019) 40708–40726.
10. F. Colmenero, **J. Plášil**, J. Sejkora
The layered uranyl silicate mineral uranophane-β: crystal structure, mechanical properties, Raman spectrum and comparison with the α-polymorph
Dalton T. 48 (2019) 16722–16736.
11. V. Dřínek, **M. Klementová**, **L. Palatinus**, P. Dytrych, R. Fajgar, V. Jandová, M. Koštejn, **J. Kupčík**
Synthesis and characterization of nanostructured molybdenum oxynitride films fabricated by sub-atmospheric chemical vapor deposition
J. Alloy. Compd. 808 (2019) 151470(1)–181470(10).
12. P. Elliott, **J. Plášil**, **V. Petříček**, J. Čejka, L. Bindi
Twinning and incommensurate modulation in baumoite, $Ba_{0.5}[(UO_2)_3O_8Mo_2(OH)_3](H_2O)_{-3}$, the first natural Ba uranyl molybdate
Mineral. Mag. 83 (2019) 507–514.
13. N. Fallah, Kh. Gholivand, M. Yousefi, P. Aberoomand azar, **M. Dušek**, **V. Eigner**
Synthesis, X-ray Diffraction Studies, and Hydrogen Bonding Analysis of a New Phosphoramidate Counterion in Solid State
Russ. J. Inorg. Chem. 64, 5 (2019) 557–564.
14. **A. Gallardo**, J. Fanfrlík, P. Hobza, **P. Jelínek**
Nature of Binding in Planar Halogen–Benzene Assemblies and Their Possible Visualization in Scanning Probe Microscopy
J. Phys. Chem. C 123 (2019) 8379–8386.
15. M. Gemmi, E. Mugnaioli, T. E. Gorelik, U. Kolb, **L. Palatinus**, P. Boullay, S. Hovmöller, J. P. Abrahams
3D Electron Diffraction: The Nanocrystallography Revolution
ACS Central Sci. 5 (2019) 1315–1329.
16. S. Ghazisaeed, B. Kiefer, **J. Plášil**
Revealing hydrogen atoms in a highly-absorbing material: an X-ray diffraction study and Torque method calculations for lead-uranyl-oxide mineral curite
RSC Adv. 9 (2019) 10058–10063.
17. V. V. Gurzhiy, I. V. Kuporev, V. M. Kovrugin, M. N. Murashko, A. V. Kasatkin, **J. Plášil**
Crystal Chemistry and Structural Complexity of Natural and Synthetic Uranyl Selenites
Crystals 9 (2019) 639(1)–639(25).
18. V. V. Gurzhiy, **J. Plášil**
Structural complexity of natural uranyl sulfates
Acta Crystallogr. B 75 (2019) 39–48.
19. M. Hakimi, M. Alikhani, M. Mashreghi, N. Feizi, H. Raeisi, Y. Mirzai, **V. Eigner**, **M. Dušek**
A heterodinuclear complex of s-d block containing sodium(I), manganese(II) and the enrofloxacin anion: Preparation, crystal structure and antibacterial activity
J. Mol. Struct. 1186 (2019) 355–361.
20. A. Harchani, E. Samolová, **M. Dušek**, A. Haddad
Structural and theoretical studies of a new hexachlorostannate: $(C_7H_{10}NO)_2[SnCl_6] \cdot 2H_2O$
J. Mol. Struct. 1197 (2019) 707–713.
21. T. Harit, M. Dahmani, S. Gaamouche, F. Malek, **M. Dušek**, A. Manseri, A. Asehraou, B. El bali
New bipyrazolic compounds: Synthesis, characterization, antibacterial activity and computational studies
J. Mol. Struct. 1176 (2019) 110–116.
22. A. R. Kampf, T. A. Olds, **J. Plášil**, J. Marty, S. N. Perry
Feynmanite, a new sodium uranyl sulfate mineral from Red Canyon, San Juan County, Utah, USA
Mineral. Mag. 83 (2019) 153–160.
23. A. R. Kampf, T. A. Olds, **J. Plášil**, B. P. Nash, J. Marty
Lussierite, a new sodium uranyl sulfate mineral with bidentate UO_7-SO_4 linkage from the Blue Lizard mine, San Juan County, Utah, USA
Mineral. Mag. 83 (2019) 799–808.

24. A. R. Kampf, **J. Plášil**, A. V. Kasatkin, B. P. Nash, J. Marty
Magnesiolydetite and straßmannite, two new uranyl sulfate minerals with sheet structures from Red Canyon, Utah
Mineral. Mag. 83 (2019) 349–360.
25. A. R. Kampf, **J. Plášil**, B. P. Nash, J. Marty
Ammoniomathesiusite, a new uranyl sulfate–vanadate mineral from the Burro mine, San Miguel County, Colorado, USA
Mineral. Mag. 83 (2019) 115–121.
26. A. R. Kampf, **J. Plášil**, T. A. Olds, B. P. Nash, J. Marty, H. E. Belkin
Meyrowitzite, $\text{Ca}(\text{UO}_2)(\text{CO}_3)_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, a new mineral with a novel uranyl-carbonate sheet
Am. Mineral. 104 (2019) 603–610.
27. C. Karageorgaki, **P. Mutombo**, **P. Jelinek**, K. H. Ernst
Chiral Surface from Achiral Ingredients: Modification of Cu(110) with Phthalic Acid
J. Phys. Chem. C 123 (2019) 9121–9127.
28. A. V. Kasatkin, E. Makovicky, **J. Plášil**, R. Škoda, N. V. Chukanov, S. Y. Stepanov, A. A. Agakhanov, F. Nestola
Gladkovskyite, $\text{MnTlAs}_3\text{S}_6$, a new thallium sulfosalt from the Vorontsovskoe gold deposit, Northern Urals, Russia
Journal of Geosciences 64 (2019) 207–218.
29. A. D. Khalaji, S. J. Peyghoun, **M. Dušek**, **V. Eigner**
1D copper(I) coordination polymer $[\text{Cu}_2(\mu\text{-}(2,4\text{-Cl-ba})_2\text{bn})(\mu\text{-I}_2)_n]$ with a flexible Schiff base ligand: synthesis, crystal structure, and thermal stability
J. Struct. Chem. 60, 12 (2019) 1983–1988.
30. A. D. Khalaji, S. J. Peyghoun, **M. Dušek**, **M. Kučeráková**, **V. Eigner**, A. Akbari, N. Feizi
Crystal structures of the bis-bidentate N_2S_2 Schiff base ligand and its copper(I) coordination polymer
Maced. J. Chem. Chem. Eng. 38 (2019) 207–2014.
31. A. D. Khalaji, E. Shahsavani, **M. Dušek**, **M. Kučeráková**
Sonochemical synthesis and characterization of nano-sized copper(I) thiosemicarbazone complex: crystal structure and thermal study
J. Iran Chem. Soc. 16 (2019) 1179–1187.
32. E. Kočí, **J. Rohlíček**, L. Kobera, J. Plocek, S. Švarcová, P. Bezdička.
Mixed lead carboxylates relevant to soap formation in oil and tempera paintings: the study of the crystal structure by complementary XRPD and ssNMR
Dalton T. 48 (2019) 12531–12540.
33. T. Kondori, N. Akbarzadeh, **M. Dušek**, **V. Eigner**
A novel iron(III) complex: synthesis, spectra, X ray structure photoluminescence study, and antibacterial properties
Chem. Papers 73 (2019) 1639–1646.
34. D. Kubániová, **P. Brázda**, K. Závěta, T. Kmječ, **M. Klementová**, J. Kohout
Identification of ferric oxide polymorphs in nanoparticles prepared by sol-gel method and maximization of $\epsilon\text{-Fe}_2\text{O}_3$ content
J. Magn. Magn. Mater. 472 (2019) 96–103.
35. **L. Kubičková**, **P. Brázda**, **M. Veverka**, **O. Kaman**, V. Herynek, M. Vosmanská, P. Dvořák, K. Bernášek, J. Kohout
Nanomagnets for ultra-high field MRI: Magnetic properties and transverse relaxivity of silica-coated $\epsilon\text{-Fe}_2\text{O}_3$
J. Magn. Magn. Mater. 480 (2019) 154–163.
36. F. Laufek, A. Vymazalová, J. Navrátil, D. A. Chareev, **J. Plášil**
Crystal structure and transport properties of CuPdBiS_3
J. Alloy. Compd. 792 (2019) 983–987.
37. J. Lovelace, **V. Petříček**, G. Murshudov, G. E. O. Borgstahl
Supercell refinement: a cautionary tale
Acta Crystallogr. D 75 (2019) 852–860.
38. F. Mahmoudi, S. Farhadi, **P. Machek**, **M. Jarošová**
Phosphotungstic acid supported on silica-coated LaCoO_3 : Synthesis, characterization and application as a novel and efficient adsorbent for the removal of organic pollutants
Polyhedron 158 (2019) 423–431.

39. A. Mairena, J. I. Mendieta, **O. Stetsovych**, A. Terfort, I. G. Stará, I. Starý, **P. Jelínek**, K. -H. Ernst
Heterochiral recognition among functionalized heptahelicenes on noble metal surfaces
Chem. Commun. 55 (2019) 10595–10598.
40. J. Majzlan, P. Haase, **J. Plášil**, E. Dachs
Synthesis and stability of some members of the pharmacosiderite group, $AFe_4(OH)_4(AsO_4)_3 \cdot nH_2O$ ($A = K, Na, 0.5Ba, 0.5Sr$)
Can. Mineral. 57 (2019) 663–675.
41. S. Matejová, M. Puchoňová, M. Mazúr, D. Valigura, **J. Rohlíček**, V. Jorík, J. Moncol
Preparation, spectral properties and structure of bis(salicylato)bis(benzimidazole)-copper(II) complexes with two different benzimidazole spatial orientation
Polyhedron 170 (2019) 86–94.
42. D. Mauro, C. Biagioni, E. Bonaccorsi, U. Halenius, M. Pasero, H. Skogby, F. Zaccarini, J. Sejkora, **J. Plášil**, A. R. Kampf, J. Filip, P. Novotný, R. Škoda, T. Witzke
Bohuslavite, $Fe^{3+}_4(PO_4)_3(SO_4)(OH)(H_2O)_{10} \cdot nH_2O$, a new hydrated iron phosphate-sulfate
Eur. J. Mineral. 31 (2019) 1033–1046.
43. N. Meisser, **J. Plášil**, T. Brunsperger, C. Lheur, R. Škoda
Giftgrubeite, $CaMn_2Ca_2(AsO_4)_2(AsO_3OH)2 \cdot 4H_2O$, a new member of the hureaulite group from Sainte-Marie-aux-Mines, Haut-Rhin Department, Vosges, France
Journal of Geosciences 64 (2019) 73–80.
44. A. Mirzaahmadi, S. A. Hosseini-Yazdi, E. Safarzadeh, B. Baradaran, E. Samolová, **M. Dušek**
New series of water-soluble thiosemicarbazones and their copper(II) complexes as potentially promising anticancer compounds
J. Mol. Liq. 293 (2019) 111412(1)–111412(11).
45. R. Ouarsal, M. Lachkar, M. A. Deyab, **M. Dušek**, B. El Bali
New hybrid phosphite $(CH_3OH)Cd(H_2PO_3)_2$: Synthesis, characterization and application of nanocomposite
J. Mol. Liq. 289 (2019) 111142(1)–111142(8).
46. L. Palatinus, P. Brázda, **M. Jelínek**, **J. Hrdá**, **G. Steciuk**, **M. Klementová**
Specifics of the data processing of precession electron diffraction tomography data and their implementation in the program PETS2.0
Acta Crystallogr. B 75 (2019) 512–522.
47. **M. Pasciak**, **P. Ondrejko**, J. Kulda, **P. Vaněk**, **J. Drahokoupil**, **G. Steciuk**, **L. Palatinus**, T. R. Welberry, H. E. Fischer, **J. Hlinka**, and **E. Buixaderas**
Local structure of relaxor ferroelectric $Sr_xBa_{1-x}Nb_2O_6$ from a pair distribution function analysis
Phys. Rev. B 99 (2019) 104102(1)–104102(12).
48. **J. Plášil**
Hydrogen bonding in lead uranyl oxide mineral sayrite
Z. Kristallogr. 234(11-12) (2019) 733–734.
49. **J. Plášil**, A. R. Kampf, R. Škoda, J. Čejka
Vandermeerscheite, a new uranyl vanadate related to carnotite, from Eifel, Germany
Journal of Geosciences 64 (2019) 219–227.
50. S. Rakhshani, A. R. Rezvani, **M. Dušek**, **V. Eigner**
Design and fabrication of novel thiourea coordination compounds as potent inhibitors of bacterial growth
J. Antibiot. 72 (2019) 260–270.
51. Z. Razmara, **V. Eigner**, **M. Dušek**
Ultrasonic synthesis, crystal structure, luminescent, and magnetic properties of a new metal–organic complex based on Ce(IV)–Sr(II)
Res. Chem. Intermed. 45 (2019) 4335–4347.
52. Z. Razmara, S. Saheli, **V. Eigner**, **M. Dušek**
Synthesis, crystal structure and magnetic properties of a new tri-nuclear iron (II, III) complex, a precursor for the preparation of superparamagnetic Fe_3O_4 nanoparticles applicable in the removal of Cd^{2+}
Appl. Organomet. Chem. 33 (2019) e4880(1)–e4880(13).

53. Jesús Redondo, Petr Lazar, Pavel Procházka, Stanislav Prusa, Jan Lachnitt, Benjamín Mallada, **Aleš Cahlík, Jan Berger**, Břetislav Šmíd, Lukáš Kormoš, **Pavel Jelínek**, Jan Čechal, **Martin Švec**
Identification of Two-dimensional FeO₂ Termination of Bulk Hematite α -Fe₂O₃(0001) Surface
J. Phys. Chem. C 123 (2019) 14312–.
54. N. T. Rice, J. Su, T. P. Gomba, D. R. Russo, J. Telsler, **L. Palatinus**, J. Bacsá, P. Yang, E. R. Batista, H. S. La Pierre
Homoleptic Imidodiphosphorane Stabilization of Tetravalent Cerium
Inorg. Chem. 58 (2019) 5289–5304.
55. **J. Rohlíček**, D. Bůžek, **P. Brázda**, L. Kobera, J. Hynek, J. Brus, K. Lang, J. Demel
Novel Cerium Bisphosphinate Coordination Polymer and Unconventional Metal–Organic Framework
Crystals 9 (2019) 303(1)–303(11).
56. S. Saheli, A. R. Rezvani, S. Rigi, **M. Dušek**, **V. Eigner**, **M. Jarošová**
Design of Mixed Metal Oxides with Increased Catalytic Activity for Fischer–Tropsch Synthesis
Catal. Lett. 149 (2019) 3257–3267.
57. J. Sejkora, I. E. Grey, A. R. Kampf, **J. Plášil**, P. Škácha
Bouškaite, a new molybdenyl–hydrogensulfate mineral, (MoO₂)₂O(SO₃OH)₂(H₂O)₂·2H₂O, from the Lill mine, Příbram ore area, Czech Republic
Journal of Geosciences 64 (2019) 197–205.
58. S. Shaabani, A. Shaabani, **M. Kučeráková**, **M. Dušek**
A One-Pot Synthesis of Oxazepine–Quinazolinone bis-Heterocyclic Scaffolds via Isocyanide-Based Three-Component Reactions
Front. Chem. 7 (2019) 623(1)–623(7).
59. **A. Šimůnek**, **M. Dušek**
Hardness of Re-, Ru-, Os-based borides and metal substituted aluminum diborides of MgB₂ type M_{0.5}Al_{0.5}B₂
Int. J. Refract. Met. Hard Mat. 82 (2019) 110–112.
60. **O. Šipr**, W. Khan, Y. Joly, J. Minár
Ca and S K-edge XANES of CaS calculated by different methods: influence of full potential, core hole and Eu doping
J. Synchrot. Radiat. 26 (2019) 152–158.
61. **O. Šipr**, S. Mankovsky, H. Ebert
Spin wave stiffness and exchange stiffness of doped permalloy via ab initio calculations
Phys. Rev. B 100 (2019) 024435 (1)–024435(11).
62. S. Smeets, S. I. Zones, D. Xie, **L. Palatinus**, J. Pascual, S. -J. Hwang, J. E. Schmidt, L. B. McCusker
SSZ-27: A Small-Pore Zeolite with Large Heart-Shaped Cavities Determined by Using Multi-crystal Electron Diffraction
Angew. Chem. Int. Ed. 58 (2019) 13080–13096.
63. L. Smolko, J. Černák, **M. Dušek**
Novel Co(II) coordination polymers based on 1,2-bis(diphenylphosphino)ethane monoxide and dioxide ligands
Mon. Chem. 150, 4 (2019) 639–647.
64. K. Šraitrová, J. Čížek, V. Holý, T. Plecháček, L. Beneš, **M. Jarošová**, V. Kucek, Č. Drašar
Vacancies in SnSe single crystals in a near-equilibrium state
Phys. Rev. B 99 (2019) 035306(1)–035306(12).
65. **G. Steciuk**, A. David, **V. Petříček**, **L. Palatinus**, B. Mercey, W. Prellier, A. Pautrat, P. Boullay
Precession electron diffraction tomography on twinned crystals: application to CaTiO₃ thin films
J. Appl. Crystallogr. 52 (2019) 626–636.
66. **G. Steciuk**, S. Ghazisaeed, B. Kiefer, **J. Plášil**
Crystal structure of vyacheslavite, U(PO₄)(OH), solved from natural nanocrystal: a precession electron diffraction tomography (PEDT) study and DFT calculations
RSC Adv. 9 (2019) 19657–19661.
67. **G. Steciuk**, **L. Palatinus**, **J. Rohlíček**, S. Ouhenia, D. Chateigner
Stacking sequence variations in vaterite resolved by precession electron diffraction tomography using a unified superspace model
Sci. Rep. 9 (2019) 9156(1)–9156(12).

68. V. Štefja, A. Bazyleva, M. Fulem, **J. Rohlíček**, **E. Skořepová**, K. Růžička, A. V. Blokhin
Polymorphism and thermophysical properties of l- and dl-menthol
J. Chem. Thermodyn. 131 (2019) 524–543.
69. V. V. Subbotin, A. Vymazalová, F. Laufek, Y. E. Savchenko, C. J. Stanley, D. A. Gabov, **J. Plášil**
Mitrofanovite, Pt₃Te₄, a new mineral from the East Chuavry deposit, Fedorovo–Pana intrusion, Kola Peninsula, Russia
Mineral. Mag. 83 (2019) 523–530.
70. M. Sztylko, M. Malinska, **V. Petříček**, M. J. Gutmann, A. A. Hoser
How Accurate Do X ray Data Need To Be To Obtain a Reliable Order of Stability for Polymorphs? The Case Study of p Hydroxyacetophenone Polymorphs
Cryst. Growth Des. 19 (2019) 5132–5141.
71. V. Tyrpekl, P. Marková, M. Dopita, **P. Brázda**, M. A. Vacca
Cerium Oxalate Morphotypes: Synthesis and Conversion into Nanocrystalline Oxide
Inorg. Chem. 58 (2019) 10111–10118.
72. L. Váhovská, O. Bukrynov, I. Potočňák, E. Čižmár, A. Kliuikov, S. Vitushkina, **M. Dušek**, R. Herchel
New Cobalt(II) Field-Induced Single-Molecule Magnet and the First Example of a Cobalt(III) Complex with Tridentate Binding of a Deprotonated 4-Amino-3,5-bis(pyridin-2-yl)-1,2,4-Triazole Ligand
Eur. J. Inorg. Chem 00 (2019) 250–261.
73. A. Vymazalová, K. Kojonen, F. Laufek, B. Johanson, C. J. Stanley, **J. Plášil**, P. Halodová
Pampaloite, AuSbTe, a new mineral from Pampalo gold mine, Finland
Mineral. Mag. 83 (2019) 393–400.
74. L. Zarei, Z. Asadi, **M. Dušek**, **V. Eigner**
Homodinuclear Ni (II) and Cu (II) Schiff base complexes derived from O-vanillin with a pyrazole bridge: Preparation, crystal structures, DNA and protein (BSA) binding, DNA cleavage, molecular docking and cytotoxicity study
J. Photochem. Photobiol. A-Chem. 374 (2019) 145–160.

Ostatní

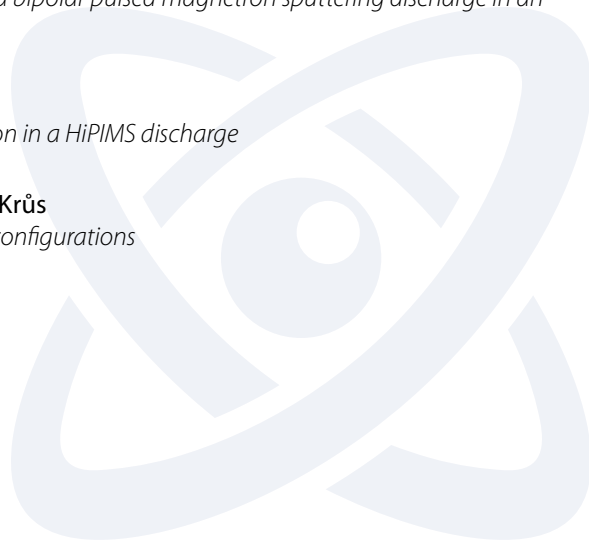
1. **A. Artemenko**, **T. Ižák**, M. Marton, **E. Ukrainsev**, **J. Stuchlík**, **K. Hruška**, M. Vojs, **A. Kromka**
Stability of the surface termination of nanocrystalline diamond and diamond-like carbon films exposed to open air conditions
Diam. Relat. Mater. 100 (2019) 107562–.
2. V. Azamat, A. G. Badalyan, P. G. Baranov, M. Fanciulli, **J. Lančok**, M. Hrabovský, **L. Jastrabik**, **A. Dejneka**
Spin-lattice relaxation processes of transition metal ions in a heavily cobalt doped ZnO: Phonon heating effect
J. Appl. Phys. 126 (2019) 123903(1)–123903(7).
3. **R. Čtvrtlík**, **J. Tomáščík**, L. Václavek, B. D. Beake, A. J. Harris, A. S. Martin, M. Hanák, P. Abrhám
High-Resolution Acoustic Emission Monitoring in Nanomechanics
JOM-J. Miner. Met. Mater. Soc. 71 (2019) 3358–3367.
4. **F. Dominec**, **A. Hospodková**, **T. Hubáček**, **M. Zíková**, **J. Pangrác**, **K. Kuldová**, **A. Vetushka**, **E. Hulicius**
Influence of GaN buffer layer under InGa_N/GaN MQWs on luminescent properties
J. Cryst. Growth 507 (2019) 246–250.
5. **Jan Fait**, **Štěpán Potocký**, **Štěpán Stehlík**, **Jiří Stuchlík**, **Anna Artemenko**, **Alexander Kromka**, **Bohuslav Rezek**
Nucleation of diamond micro-patterns with photoluminescent SiV centers controlled by amorphous silicon thin films
Appl. Surf. Sci. 480 (2019) 1008–1013.
6. Sara Gleco, **Oleksandr Romanyuk**, **Ivan Gordeev**, **Karla Kuldová**, Tania Paskova, and Albena Ivanisevic
Modification of the Surface Properties of Al_xGa_{1-x}N Substrates with Gradient Aluminum Composition Using Wet Chemical Treatments
ACS Omega 4 (2019) 11760–11769.
7. **T. Hubáček**, **A. Hospodková**, **K. Kuldová**, **J. Oswald**, **J. Pangrác**, **V. Jarý**, **F. Dominec**, M. Slavická Zíková, **F. Hájek**, **E. Hulicius**, **A. Vetushka**, G. Ledoux, Ch. Dujardin, **M. Nikl**
Advancement toward ultra-thick and bright InGa_N/Ga_N structures with a high number of QWs
CrystEngComm 21 (2019) 356–362.

8. **T. Hubáček, A. Hospodková, J. Oswald, K. Kuldová, J. Pangrác, M. Zíková, F. Hájek, F. Dominec, N. Florini, Ph. Komninou, G. Ledoux, C. Dujardin**
Strong suppression of In desorption from InGaN QW by improved technology of upper InGaN/GaN QW interface
J. Cryst. Growth 507 (2019) 310–315.
9. Chrysanthi Karageorgaki, **Pingo Mutombo**, and **Karl-Heinz Ernst**
Interaction of Chiral and Achiral Dimethylsuccinic Acid Diastereomers with a Cu(110) Surface
J. Phys. Chem. C 123(4) (2019) 2329–2335.
10. **Halyna Kozak, Anna Artemenko, Egor Ukrainsev, Andrei Choukourov, Bohuslav Rezek, and Alexander Kromka**
Infrared Absorption Spectroscopy of Albumin Binding with Amine-Containing Plasma Polymer Coatings on Nanoporous Diamond Surfaces
Langmuir 35 (2019) 13844–13852.
11. **J. Kuchařík, H. Němec, T. Ostatnický**
Terahertz conductivity and coupling between geometrical and plasmonic resonances in nanostructures
Phys. Rev. B 99 (2019) 035407(1)–035407(9).
12. C. Maes, **K. Netočný**
Nonequilibrium corrections to gradient flow
Chaos 29 (2019) 073109(1)–073109(7).
13. C. Maes, **K. Netočný**
Nonequilibrium calorimetry
J. Stat. Mech.–Theory E. 2019 (2019) 114004(1)–114004(10).
14. **J. J. Mareš, P. Hubík, V. Špička**
Diffusive propagation of nervous signals and their quantum control
Eur. Phys. J.-Spec. Top. 227 (2019) 2329–2347.
15. A. Musiienko, P. Moravec, R. Grill, P. Praus, I. Vasylenko, J. Pekarek, J. Tisdale, K. Ridzonova, E. Belas, **L. Landová, B. Hu, E. Lukosi, M. Ahmadi**
Deep levels, charge transport and mixed conductivity in organometallic halide perovskites
Energy Environ. Sci. 12 (2019) 1413–1425.
16. **K. Pomeisl, M. Krečmerová, R. Pohl, R. Snoeck, G. Andrei**
Synthesis of fluorinated acyclic nucleoside phosphonates with 5-azacytosine base moiety
Tetrahedron 75/39 (2019) 130529/1–13.
17. **K. Pomeisl, N. Lamatová, V. Šolínová, R. Pohl, J. Brabcová, V. Kašička, M. Krečmerová**
Enantioselective resolution of side-chain modified gem-difluorinated alcohols catalysed by Candida antarctica lipase B and monitored by capillary electrophoresis
Bioorg. Med. Chem. 27 (2019) 1246–1253.
18. A. Poryvai, **T. Vojtylová-Jurkovičová, M. Šmahel, N. Kolderová, P. Tomášková, D. Sýkora and M. Kohout**
Determination of Optical Purity of Lactic Acid-Based Chiral Liquid Crystals and Corresponding Building Blocks by Chiral High-Performance Liquid Chromatography and Supercritical Fluid Chromatography
Molecules 24 (2019) 1099(1)–1099(11).
19. M. Šilhavík, **M. Müller, J. Stuchlík, H. Stuchlíková, M. Klementová, J. Kočka, A. Fejfar, J. Červenka**
Comparative study of catalyst-induced doping and metal incorporation in silicon nanowires
Appl. Phys. Lett. 114 (2019) 132103(1)–132103(5).
20. **F. Slanina**
Movement of spherical colloid particles carried by flow in tubes of periodically varying diameter
Phys. Rev. E 99 (2019) 012604(1)–012604(17).
21. **F. Slanina, P. Kalinay**
Hydrodynamic separation of colloidal particles in tubes: Effective one-dimensional approach
Phys. Rev. E 100 (2019) 032606(1)–032606(15).
22. P. J. Snyder, H. Davis, N. G. Berg, B. Peare, **O. Romanyuk, P. Jiricek, T. Paskova, A. Ivanisevic**
Passivation of Semipolar (10-1-1) GaN with Different Organic Adsorbates
Mater. Lett. 236 (2019) 201–204.

23. S. N. Sulyanova, P. V. Dorovatovskii, A. Yu. Bobrovsky, V. P. Shibaev, **M. Cigl, V. Hamplová, A. Bubnov**, B. I. Ostrovskii
Mesomorphic and structural properties of liquid crystalline side-chain polymethacrylates: from smectic C to columnar phases*
Liq. Cryst. 46 (2019) 825–834.
24. **P. Vaňkátová**, A. Kubíčková, **M. Cigl**, K. Kalíková
Ultra-performance chromatographic methods for enantioseparation of liquid crystals based on lactic acid
J. Supercrit. Fluids 146 (2019) 217–225.
25. **M. Zíková, A. Hospodková, J. Pangrác, T. Hubáček, J. Oswald, K. Kuldová, F. Hájek**, G. Ledoux, C. Dujardin
Influence of Si doping of GaN layers surrounding InGaN quantum wells on structure photoluminescence properties
J. Cryst. Growth 506 (2019) 8–13.

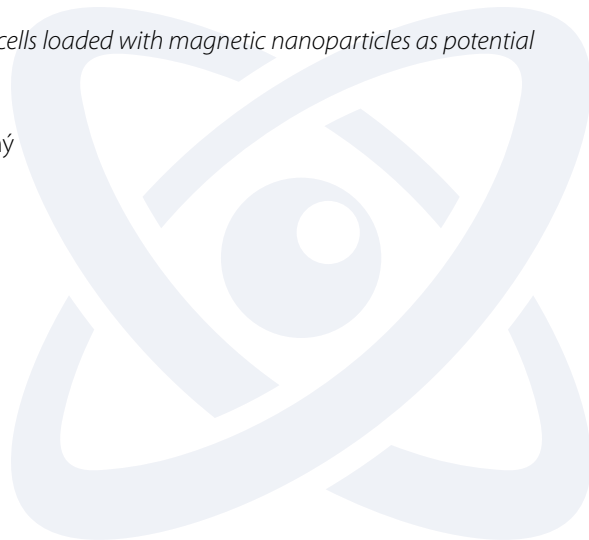
Optika

1. Reiho Amano, Thang-Hung Dinh, Atsushi Sasanuma, Goki Arai, Hiroyuki Hara, Yusuke Fujii, Tadashi Hatano, Takeo Ejima, Weihua Jiang, Atsushi Sunahara, Akihiko Takahashi, Daisuke Nakamura, Tatsuo Okada, Kazuyuki Sakaue, Taisuke Miura, Gerry O’Sullivan, Takeshi Higashiguchi
Influence of short pulse duration of carbon dioxide lasers on extreme ultraviolet emission from laser-produced plasmas
Jpn. J. Appl. Phys. 57 (2019) 070311(1)–070311(5).
2. A. Barasiński, **A. Černoč, K. Lemr**
Demonstration of Controlled Quantum Teleportation for Discrete Variables on Linear Optical Devices
Phys. Rev. Lett. 122 (2019) 170501(1)–170501(6).
3. A. Barasiński, **A. Černoč, K. Lemr, J. Soubusta**
Experimental verification of time-order-dependent correlations in three-qubit Greenberger-Horne-Zeilinger-class states
Phys. Rev. A 99 (2019) 042123(1)–042123(8).
4. M. Dvořáková, R. Perekrestov, **P. Kšírová**, J. Balabánová, K. Jiráťová, J. Maixner, P. Topka, J. Rathouský, M. Koštejn, **M. Čada, Z. Hubička**, F. Kovanda
Preparation of cobalt oxide catalysts on stainless steel wire mesh by combination of magnetron sputtering and electrochemical deposition
Catal. Today 334 (2019) 13–23.
5. L. Guillemot, P. Loiko, A. Braud, J. L. Doualan, A. Hideur, M. Koselja, R. Moncorge, P. Camy
Continuous-wave Tm:YAlO₃ laser at ~2.3 μm
Opt. Lett. 44 (2019) 5077–5080.
6. **J. Peřina Jr., O. Haderka, V. Michálek**
Simultaneous observation of higher-order non-classicalities based on experimental photocount moments and probabilities
Sci. Rep. 9 (2019) 8961(1)–8961(8).
7. P. Hauschwitz, R. Jagdheesh, **D. Rostohar, J. Brajer**, J. Kopeček, P. Jiříček, J. Houdková, **T. Mocek**
Nanostructure fabrication on the top of laser-made micropillars for enhancement of water repellence of aluminium alloy
Mater. Lett. 256 (2019) 1–4.
8. R. Hippler, **M. Čada**, V. Straňák, **Z. Hubička**
Time-resolved optical emission spectroscopy of a unipolar and a bipolar pulsed magnetron sputtering discharge in an argon/oxygen gas mixture with a cobalt target
Plasma Sources Sci. T. 28 (2019) 115020(1)–115020(13).
9. R. Hippler, **M. Čada, V. Straňák**, C. A. Helm, **Z. Hubička**
Pressure dependence of singly and doubly charged ion formation in a HiPIMS discharge
J. Appl. Phys. 125 (2019) 013301(1)–013301(7).
10. v. Horný, D. Mašlářová, V. Petržílka, **O. Klimo, M. Kozlová, M. Krůs**
Optical injection dynamics in two laser wakefield acceleration configurations
Plasma Phys. Control. Fusion 60 (2019) 064009–064009.
11. **J. Hrdý**
Diffraction-refractive optics: X-ray focusing splitter
Nucl. Instrum. Meth. A A925 (2019) 106–108.



12. A. E. Hussein, N. Senabulya, Y. Ma, M. J. V. Streeter, B. Kettle, S. J. D. Dann, F. Albert, N. Bourgeois, S. Cipiccia, J. M. Cole, O. Finlay, E. Gerstmayr, I. Gallardo González, A. Higginbotham, D. A. Jaroszynski, K. Falk, K. Krushelnick, N. Lemos, N. C. Lopes, C. Lumsdon, O. Lundh, S. P. D. Mangles, Z. Najmudin, P. P. Rajeev, C. M. Schlepütz, M. Shahzad, M. Smid, R. Spesyvtsev, D. R. Symes, G. Vieux, L. Willingale, J. C. Wood, A. J. Shahani, A. G. R. Thomas
Laser-wakefield accelerators for high-resolution X-ray imaging of complex microstructures
Sci. Rep. 9:3249 (2019) 1–13.
13. L. Inhester, Z. Li, X. Zhu, N. Medvedev, T. J. A. Wolf
Spectroscopic Signature of Chemical Bond Dissociation Revealed by Calculated Core-Electron Spectra
J. Phys. Chem. Lett. 10 (2019) 6536–6544.
14. R. Jagdheesh, P. Hauschwitz, J. Mužík, J. Brajer, D. Rostohar, P. Jiříček, J. Kopeček, T. Mocek
Non-fluorinated superhydrophobic Al7075 aerospace alloy by ps laser processing
Appl. Surf. Sci. 493 (2019) 287–293.
15. J. Jašek, K. Jiráková, K. Bartkiewicz, A. Černocho, T. Fürst, K. Lemr
Experimental hybrid quantum-classical reinforcement learning by boson sampling: how to train a quantum cloner
Opt. Express 27 (2019) 32454–32464.
16. K. Jiráková, K. Bartkiewicz, **A. Černocho, K. Lemr**
Experimentally attacking quantum money schemes based on quantum retrieval games
Sci. Rep. 9 (2019) 16318(1)–16318(9).
17. K. Jiráková, R. Perekrestov, M. Dvořáková, J. Balabánová, P. Topka, M. Koštejn, **J. Olejníček, M. Čada, Z. Hubička, F. Kovanda**
Cobalt Oxide Catalysts in the Form of Thin Films Prepared by Magnetron Sputtering on Stainless-Steel Meshes: Performance in Ethanol Oxidation
Catalysts 9 (2019) 806–824.
18. B. Kettle, E. Gerstmayr, M. J. V. Streeter, F. Albert, R. A. Baggott, N. Bourgeois, J. M. Cole, S. Dann, **K. Falk**, I. Gallardo González, A. E. Hussein, N. Lemos, N. C. Lopes, O. Lundh, Y. Ma, S. J. Rose, C. Spindloe, D. R. Symes, **M. Šmíd**, A. G. R. Thomas, R. Watt, S. P. D. Mangles
Single-Shot Multi-keV X-Ray Absorption Spectroscopy Using an Ultrashort Laser-Wakefield Accelerator Source
Phys. Rev. Lett. 123 (2019) 254801-1–254801-6.
19. Lukasz Kuna, **John Mangeri**, Edward P. Gorzkowski, James A. Wollmershauser, Serge Nakhmanson
Mesoscale modeling of polycrystalline light transmission
Acta Mater. 175 (2019) 82–89.
20. **J. Peřina Jr.**, A. Lukš
Quantum Behavior of a PT-Symmetric Two-Mode System with Cross-Kerr Nonlinearity
Symmetry 11 (2019) 1020(1)–1020(12).
21. M. Lunova, **B. Smolková, M. Uzhytchak**, K. Ž. Janoušková, M. Jirsa, D. Egorova, A. Kulikov, Š. Kubinová, **A. Dejneka, O. Lunov**
Light-induced modulation of the mitochondrial respiratory chain activity: possibilities and limitations
Cell. Mol. Life Sci. 1 (2019) 1–24.
22. **O. Lunov, M. Uzhytchak, B. Smolková**, M. Lunova, M. Jirsa, N. M. Dempsey, A. L. Dias, M. Bonfim, M. Hof, P. Jurkiewicz, Y. Petrenko, Š. Kubinová, **A. Dejneka**
Remote Actuation of Apoptosis in Liver Cancer Cells via Magneto-Mechanical Modulation of Iron Oxide Nanoparticles
Cancers 11(12)1873 (2019) 1–21.
23. P. F. Moulton, J. G. Cederberg, K. T. Stevens, G. Foundos, M. Koselja, J. Preclikova
Characterization of absorption bands in Ti:sapphire crystals
Opt. Mater. Express 9 (2019) 2216–2251.
24. P. F. Moulton, J. G. Cederberg, K. T. Stevens, G. Foundos, M. Koselja, J. Preclikova
Optimized InGaN-diode pumping of Ti:sapphire crystals
Opt. Mater. Express 9 (2019) 2131–2146.
25. Samuel Paul David, Venkatesan Jambunathan, Fangxin Yue, Bruno Jean Le Garrec, Antonio Lucianetti, and **Tomas Mocek**
Laser performances of diode pumped Yb:Lu2O3 transparent ceramic at cryogenic temperatures
Opt. Mater. Express 9 (2019) 4669–4676.

26. Samuel Paul David, Petr Navrátil, **Martin Hanuš**, Venkatesan Jambunathan, **Martin Divoký**, Antonio Lucianetti, **Tomáš Mocek**
Transparent ceramics—A boom for the laser community
 Czech. J. Phys. 69 (2019) 258–262.
Transparentní keramika—požehnání pro společenství laserových vědců
27. **P. Pavlíček**, J. Kučera
Coherence scanning interferometry with a focus-tunable lens
 Appl. Optics 58 (2019) G91–G95.
28. A. Pick, P. R. Kaprálová-Žďánská, N. Moiseyev
Ab-initio theory of photoionization via resonances
 J. Chem. Phys. 150 (2019) 204111-1–204111-7.
29. P. R. Kaprálová-Žďánská
High-order harmonic generation spectrum from two coupled Floquet resonances—a non-Hermitian formulation
 Mol. Phys. 117:15-16 (2019) 2138–2156.
30. **Magdalena Sawicka-Chyla**, **Martin Divoky**, **Ondrej Slezak**, Mariastefania De Vido, Antonio Lucianetti, and **Tomas Mocek**
Numerical Analysis of Thermal Effects in a Concept of a Cryogenically Cooled Yb:YAG Multislab 10 J/100-Hz Laser Amplifier
 IEEE J. Quantum Electron. 55 (2019) 5100108(1)–5100108(8).
31. **J. Schmiedberger**, W. Fuss, **L. Juha**
Strong Sensitized Ultraviolet Luminescence from He–C₂F₄–NO Flowing Plasma Afterglow: A Route to Short-Wavelength Gas-Flow Lasers?
 Plasma Chem. Plasma Process. 39 (2019) 1115–1126.
32. Sergey V. Starinskiy, Alexey A. Rodionov, Yuri G. Shukhov, Evgeniy A. Maximovskiy, Alexander V. Bulgakov
Dynamics of nanosecondlaserinduced melting of tin in vacuum, air, and water
 Appl. Phys. A-Mater. 125 (2019) 1 (734)–8 (734).
33. **B. Smolková**, M. Lunova, **A. Lynnyková**, **M. Uzhytchak**, O. Churpita, M. Jirsa, Š. Kubinová, **O. Lunov**, **A. Dejneka**
Non-Thermal Plasma, as a New Physicochemical Source, to Induce Redox Imbalance and Subsequent Cell Death in Liver Cancer Cell Lines
 Cell. Physiol. Biochem. 52 (2019) 119–140.
34. **B. Smolková**, M. Lunova, **A. Lynnyk**, **M. Uzhytchak**, O. Churpita, M. Jirsa, Š. Kubinová, **O. Lunov**, **A. Dejneka**
Non-thermal plasma, as a physicochemical cue to induce redox imbalance in living cells
 FEBS Open Bio 9 (Sup.1) (2019) 175–175.
35. **V. Špička**, P. D. Keefe, T. M. Nieuwenhuizen
Editorial: Non-equilibrium dynamics: quantum systems and foundations of quantum mechanics
 Eur. Phys. J.-Spec. Top. 227 (2019) 1837–1848.
36. V. Trávníček, K. Bartkiewicz, **A. Černochoch**, **K. Lemr**
Experimental Measurement of the Hilbert-Schmidt Distance between Two-Qubit States as a Means for Reducing the Complexity of Machine Learning
 Phys. Rev. Lett. 123 (2019) 260501(1)–260501(6).
37. **M. Uzhytchak**, **A. Lynnyk**, NM. Dempsey, A. Dias, M. Bonfim, **B. Smolková**, M. Lunova, M. Jirsa, Š. Kubinová, **O. Lunov**, **A. Dejneka**
Remote apoptosis resulted by external magnetic field in cancer cells loaded with magnetic nanoparticles as potential therapeutic method
 FEBS Open Bio 9 (Sup.1) (2019) 361–361.
38. M. Zanáška, Z. Turek, **Z. Hubička**, **M. Čada**, P. Kudrna, M. Tichý
Floating harmonic probe for diagnostic of pulsed discharges
 Surf. Coat. Tech. 357 (2019) 879–885.



Fyzika interakce laserového záření s hmotou

1. Rakotoarisoa, M; Angelov, B; Espinoza, S; Khakurel, K; Bizien, T; Angelova, A
Cubic Liquid Crystalline Nanostructures Involving Catalase and Curcumin: BioSAXS Study and Catalase Peroxidatic Function after Cubosomal Nanoparticle Treatment of Differentiated SH-SY5Y Cells
Molecules 24 (2019) 3058 (1)–3058 (21).
2. Alexander Yu. Kharin, Vladimir V. Lysenko, Andrei Rogov, Yuri V. Ryabchikov, Alain Geloën, Igor Tishchenko, Olivier Marty, Peter G. Sennikov, Roman A. Kornev, Irina N. Zvestovskaya, Andrei V. Kabashin, Victor Yu. Timoshenko
Bi-Modal Nonlinear Optical Contrast from Si Nanoparticles for Cancer Theranostics
Adv. Opt. Mater. adom.20180 (2019) 1–8.
3. Alexander V. Dostovalov, **Thibault Derrien**, Sergei A. Lizunov, F. Přeučil, Konstantin A. Okotrub, **Tomáš Mocek**, Victor P. Korolkov, Sergei A. Babin, **N. Bulgakova**
LIPSS on thin metallic films: New insights from multiplicity of laser-excited electromagnetic modes and efficiency of metal oxidation
Appl. Surf. Sci. 476 (2019) 1–28.
4. Kasra Amini, Jens Biegert, Francesca Calegari, Alexis Chacón, Marcelo F Ciappina, Alexandre Dauphin, Dmitry K Efimov, Carla Figueira de Morisson Faria, Krzysztof Giergiel, Piotr Gniewek, Alexandra S Landsman, Michał Lesiuk, Michał Mandrysz, Andrew S Maxwell, Robert Moszyński, Lisa Ortmann, Jose Antonio Pérez-Hernández, Antonio Picón, Emilio Pisanty, Jakub Prauzner-Bechcicki, Krzysztof Sacha, Noslen Suárez, Amelle Zaïr, Jakub Zakrzewski, Maciej Lewenstein
Symphony on strong field approximation
Rep. Prog. Phys. 82 (2019) 1–42.
5. Angelina Angelova, Borislav Angelov, Vasil M. Garamus, Markus Drechsler
A vesicle-to-sponge transition via the proliferation of membrane-linking pores in ω -3 polyunsaturated fatty acid-containing lipid assemblies
J. Mol. Liq. 279 (2019) 518–523.
6. L. Antonelli, J. Trela, F. Barbato, G. Boutoux, Ph. Nicolai, D. Batani, V. Tikhonchuk, D. Mancelli, A. Tentori, S. Atzeni, A. Schiavi, F. Baffigi, G. Cristoforetti, S. Viciani, L. A. Gizzi, **M. Šmíd**, **O. Renner**, J. Dostál, R. Dudzak, **L. Juha**, M. Krus
Laser-driven strong shocks with infrared lasers at intensity of 10^{16} W/cm²
Phys. Plasmas 112708 (2019) 112708-1–112708-13.
7. L. Antonelli, J. Trela, F. Barbato, G. Boutoux, Ph. Nicolai, D. Batani, V. Tikhonchuk, D. Mancelli, A. Tentori, S. Atzeni, A. Schiavi, F. Baffigi, G. Cristoforetti, S. Viciani, L. A. Gizzi, M. Smid, O. Renner, J. Dostal, R. Dudzak, L. Juha and **M. Krus**
Laser-driven strong shocks with infrared lasers at intensity of 10^{16} W/cm²
Phys. Plasmas 26 (2019) 112708 (1)–112708 (13).
8. Batani, D. ; Antonelli, L. ; Barbato, F. ; Boutoux, G. ; Colaitis, A. ; Feugeas, J. -L. ; Folpini, G. ; Mancelli, D. ; Nicolai, Ph. ; Santos, J. ; Trela, J. ; Tikhonchuk, V. ; Badziak, J. ; Chodukowski, T. ; Jakubowska, K. ; Kalinowska, Z. ; Pisarczyk, T. ; Rosinski, M. ; Sawicka, M. ; Baffigi, F. ; Cristoforetti, G. ; D'Amato, F. ; Koester, P. ; Gizzi, L. A. ; Viciani, S. ; Atzeni, S. ; Schiavi, A. ; Skoric, M. ; Gus'kov, S. ; Honrubia, J. ; Limpouch, J. ; Klimo, O. ; Skala, J. ; Gu, Y. J. ; Krousky, E. ; Renner, O. ; Smid, M. ; Weber, S. ; Dudzak, R. ; Krus, M. ; Ullschmied, J.
Progress in understanding the role of hot electrons for the shock ignition approach to inertial confinement fusion
Nucl. Fusion 59 (2019) 032012 (1)–032012 (15).
9. D. Batani, L. Antonelli, F. Barbato, G. Boutoux, A. Colaitis, J. -L. Feugeas, G. Folpini, D. Mancelli, Ph. Nicolai, J. Santos, J. Trela, V. Tikhonchuk, J. Badziak, T. Chodukowski, K. Jakubowska, Z. Kalinowska, T. Pisarczyk, M. Rosinski, M. Sawicka, F. Baffigi, G. Cristoforetti, F. D'Amato, P. Koester, L. A. Gizzi, S. Viciani, S. Atzeni, A. Schiavi, M. Skoric, S. Gus'kov, J. Honrubia, J. Limpouch, O. Klimo, **J. Skala**, Y. J. Gu, **E. Krousky**, **O. Renner**, **M. Smid**, S. Weber, **R. Dudzak**, M. Krus, J. Ullschmied
Progress in understanding the role of hot electrons for the shock ignition approach to inertial confinement fusion
Nucl. Fusion 59 (2019) 032012-1–032012-14.

10. Johan Bielecki, Max F. Hantke, Benedikt J. Daurer, Hemanth K. N. Reddy, Dirk Hasse¹, Daniel S. D. Larsson, Laura H. Gunn, Martin Svenda, Anna Munke, Jonas A. Sellberg, Leonie Flueckiger, Alberto Pietrini, Carl Nettelblad¹, Ida Lundholm, Gunilla Carlsson, Kenta Okamoto, Nicusor Timneanu, Daniel Westphal, Olena Kulyk, Akifumi Higashiura, Gijis van der Schot, Ne-Te Duane Loh, Taylor E. Wysong, Christoph Bostedt, Tais Gorkhover, Bianca Iwan, M. Marvin Seibert, Timur Osipov, Peter Walter, Philip Hart, Maximilian Bucher, Anatoli Ulmer, Dipanwita Ray, Gabriella Carini¹, Ken R. Ferguson, Inger Andersson, Jakob Andreasson, Janos Hajdu, Filipe R. N. C. Maia
Electrospray sample injection for single-particle imaging with x-ray lasers
Science Advances 5 (2019) eaav8801 (1)–eaav8801 (9).
11. Blackman, D. R.; Nuter, R.; Korneev, Ph; V. T. Tikhonchuk
Kinetic plasma waves carrying orbital angular momentum
Phys. Rev. E 100 (2019) 013204–.
12. Blackman, DR (Blackman, D. R. ; Nuter, R (Nuter, R.); Korneev, P (Korneev, Ph.); Tikhonchuk, VT (Tikhonchuk, V. T.)
Twisted Kinetic Plasma Waves
J. Russ. Laser Res. 40 (2019) 419–428.
13. S. G. Bochkarev, E. d’Humières, V. T. Tikhonchuk, Ph. Korneev and V. Yu. Bychenkov
Stochastic electron heating in an interference field of several laser pulses of a picosecond duration
Plasma Phys. Control. Fusion 61 (2019) 025015 (1)–025015 (12).
14. Bortel, G.; Faigel, G.; Tegze, M.; Angelov, B
Fast inside-source X-ray fluorescent holography
J. Synchrot. Radiat. 26 (2019) 170–174.
15. S. A. Bozpolat, P. Rosenberger, M. F. Ciappina , M. F. Kling , Yavuz 1
Carrier-envelope-phase-controlled molecular dissociation by ultrashort chirped laser pulses
Phys. Rev. A 100/6 (2019) 063409-1–063409-7.
16. S. Britzen, C. Fendt, M. Böttcher, M. Zajaček, F. Jaron, I. N. Pashchenko, A. Araudo, V. Karas, O. Kurtanidze
A cosmic collider: Was the IceCube neutrino generated in a precessing jet-jet interaction in TXS 0506+056?
Astron. Astrophys. 630 (2019) 1–17.
17. Liyuan Chen, **Jaroslav Huynh**, Huang Zhou, **Michal Chyla**, **Martin Smrž**, **Tomáš Mocek**
Generating 84 fs, 4 nJ directly from an Yb-doped fiber oscillator by optimization of the net dispersion
Laser Phys. 29 (2019) 1–6.
18. S. Civiš, A. Knížek, P. B. Rimmer, **M. Ferus**, **P. Kubelík**, M. Zukalová, L. Kavan, E. Chatzitheodoridis
Formation of Methane and (Per)Chlorates on Mars
ACS Earth Space Chem. 3 (2019) 221–232.
19. Condamine, F. P. ; Filippov, E. ; Angelo, P. ; Pikuz, S. A. ; Renner, O. ; Rosmej, F. B.
High-resolution spectroscopic study of hot electron induced copper M-shell charge states emission from laser produced plasmas
High Energy Density Physics 32 (2019) 89–95.
20. F. P. Condamine, E. Filippov, P. Angelo, S. A. Pikuz, **O. Renner**, F. B. Rosmej
High-resolution spectroscopic study of hot electron induced copper M-shell charge states emission from laser produced plasmas
High Energy Density Physics 32 (2019) 89–95.
21. G. Cristoforetti, L. Antonelli, D. Mancelli, S. Atzeni, F. Baffigi, F. Barbato, D. Batani, G. Boutoux, F. D’Amato, J. Dostal, R. Dudzak, E. Filippov, Y. J. Gu, L. Juha, **O. Klimo**, **M. Krus**, S. Malko, A. S. Martynenko, Ph. Nicolai, V. Ospina, S. Pikuz, O. Renner, J. Santos, V. T. Tikhonchuk, J. Trela, S. Viciani, L. Volpe, **S. Weber**, L. A. Gizzi
Time evolution of stimulated Raman scattering and two-plasmon decay at laser intensities relevant for shock ignition in a hot plasma
High Power Laser Sci. Eng. 07 (2019) 1–14.
22. G. Cristoforetti, L. Antonelli, D. Mancelli, S. Atzeni, F. Baffigi, F. Barbato, D. Batani, G. Boutoux, F. D’Amato, **J. Dostal**, **R. Dudzak**, E. Filippov, Y. J. Gu, **L. Juha**, O. Klimo, M. Krus, S. Malko, A. S. Martynenko, Ph. Nicolai, V. Ospina, S. Pikuz, **O. Renner**, J. Santos, V. T. Tikhonchuk, J. Trela, S. Viciani, L. Volpe, S. Weber, L. A. Gizzi
Time evolution of stimulated Raman scattering and two-plasmon decay at laser intensities relevant for shock ignition in a hot plasma
High Power Laser Sci. Eng. 7 (2019) 1–14.

23. J. Dahnea, M. F. Ciappina, W. Tucker
Enclosing all zeros of a system of analytic functions
Appl. Math. Comput. 348 (2019) 513–522.
24. M. Dhital, S. Bastola, A. Silvus, B. R. Lamichhane, E. Ali, M. F. Ciappina, R. Lomsadze, A. Hasan, D. H. Madison, and M. Schulz
Target dependence of postcollision interaction effects on fully differential ionization cross sections
Phys. Rev. A 100 (2019) 032707-1–032707-10.
25. G. Duchateau, S. X. Hu, A. Pineau, A. Kar, B. Chimier, A. Casner, V. Tikhonchuk, V. N. Goncharov, P. B. Radha, E. M. Campbell
Modeling the solid-to-plasma transition for laser imprinting in direct-drive inertial confinement fusion
Phys. Rev. E 100 (2019) 033201-1–033201-12.
26. Falk, K. ; Holec, M. ; Fontes, C. J. ; Fryer, C. L. ; Greeff, C. W. ; Johns, H. M. ; Montgomery, D. S. ; Schmidt, D. W. ; Smid, M.
Measurement of Preheat Due to Nonlocal Electron Transport in Warm Dense Matter
Phys. Rev. Lett. 120 (2019) 025002 (1)–025002 (5).
27. **M. Ferus**, F. Pietrucci, A. M. Saitta, O. Ivanek, A. Knizek, **P. Kubelík**, M. Krus, **L. Juha**, **R. Dudzak**, J. Dostál, A. Pastorek, L. Petera, J. Hrnčířová, H. Saeidfirozeh, V. Shestivská, J. Sponer, J. E. Sponer, P. Rimmer, S. Civis, G. Cassone
Prebiotic synthesis initiated in formaldehyde by laser plasma simulating high-velocity impacts
Astron. Astrophys. 626 (2019) A52-1–A52-21.
28. R. Follath, T. Koyama, V. Lipp, **N. Medvedev**, K. Tono, H. Ohashi, L. Patthey, M. Yabashi, B. Ziaja
X-ray induced damage of B4C-coated bilayer materials under various irradiation conditions
Sci. Rep. 9:2029 (2019) 1–9.
29. Y. J. Gu, **O. Klimo**, Ph. Nicolai, S. Shekhanov, **S. Weber**, V. T. Tikhonchuk
Collective absorption of laser radiation in plasma at sub-relativistic intensities
High Power Laser Sci. Eng. 007 (2019) 1–10.
30. Y. J. Gu, F. Pegoraro, P. V. Sasorov, D. Golovin, A. Yogo, **G. Korn**, S. V. Bulanov
Electromagnetic Burst Generation during Annihilation of Magnetic Field in Relativistic Laser-Plasma Interaction
Sci. Rep. 9 (2019) 19462 (1)–19462 (10).
31. Han, S. ; Ortmann, L. ; Kim, H. ; Kim, YW. ; Oka, T. ; Chacon, A. ; Doran, B. ; Ciappina, M. ; Lewenstein, M. ; Kim, SW. ; Kim, S. ; Landsman, AS.
Extraction of higher-order nonlinear electronic response in solids using high harmonic generation
Nat. Commun. 10 (2019) 3272 (1)–3272 (6).
32. N. J. Hartley, J. Grenzer, W. Lu, L. G. Huang, Y. Inubushi, N. Kamimura, K. Katagiri, R. Kodama, A. Kon, V. Lipp, M. Makita, T. Matsuoka, **N. Medvedev**, S. Nakajima, N. Ozaki, T. Pikuz, A. V. Rode, K. Rohatsch, D. Sagae, A. K. Schuster, K. Tono, J. Vorberger, T. Yabuuchi, D. Kraus
Ultrafast anisotropic disordering in graphite driven by intense hard X-ray pulses
High Energy Density Physics 32 (2019) 63–69.
33. O. HORT, M. ALBRECHT, V. E. NEFEDOVA, O. FINKE, D. D. MAI, S. REYNÉ, F. GIAMBRUNO, F. FRASSETTO, L. POLETTI, J. ANDREASSON, J. GAUTIER, S. SEBBAN, J. NEJDL
High-flux source of coherent XUV pulses for user applications
Opt. Express 27 (2019) 8871–8883.
34. K. Huang, H. Kotaki, M. Mori, T. Esirkepov, J. K. Koga, Y. Hayashi, N. Nakanii, S. V. Bulanov, M. Kando
Variation in electron emission time in weakly nonlinear laser wakefield acceleration
PRAB 22 (2019) 121301 (1)–121301 (13).
35. Y J Gu, S. **S. Bulanov**, **G. Korn**, S. V. Bulanov
Splitter target for controlling magnetic reconnection in relativistic laser plasma interactions
Plasma Phys. Control. Fusion 60 (2019) 044020 (1)–044020 (6).
36. Hedvika Kadlecová, Sergei V Bulanov, **Georg Korn**
Properties of finite amplitude electromagnetic waves propagating in the quantum vacuum
Plasma Phys. Control. Fusion 61 (2019) 084002 (1)–084002 (10).
37. Hedvika Kadlecová, **Georg Korn**, Sergei V. Bulanov
Electromagnetic shocks in the quantum vacuum
Phys. Rev. D 99 (2019) 036002 (1)–036002 (9).

38. Kawata, S. ; Karino, T. ; Gu, Y. J.
Dynamic stabilization of plasma instability
High Power Laser Sci. Eng. 7 (2019) e3 (1)–e3 (10).
39. Frederik Kiel, **N. Bulgakova**, Andreas Ostendorf, Evgeny L. Gurevich
Selective Delamination upon Femtosecond Laser Ablation of Ceramic Surfaces
Phys. Rev. Appl. 11 (2019) 024038-1–024038-13.
40. D. Klir, A. V. Shishlov, V. A. Kokshenev, P. Kubes, K. Rezac, S. Buryskova, R. K. Cherdizov, J. Cikhardt, B. Cikhardtova, G. N. Dudkin, J. T. Engelbrecht, F. I. Fursov, S. L. Jackson, **J. Krasa**, J. Kravarik, N. E. Kurmaev, V. Munzar, V. N. Padalko, N. A. Ratakhin, O. Sila, K. Turek, V. A. Varlachev, R. Wagner
Acceleration of protons and deuterons up to 35MeV and generation of 1013 neutrons in a megaampere deuterium gas-puff z-pinch
Plasma Phys. Control. Fusion 61 (2019) 014018-1–014018-11.
41. Jörg Körner, Sanin Zulić, Danijela Rostohar, Antonio Lucianetti, **Tomáš Mocek**
Novel unstable resonator configuration for highly efficient cryogenically cooled Yb:YAG Q-switched laser
Opt. Express 27 (2019) 21622–21634.
42. C. M. Lazzarini, L. V. Goncalves, G. M. Grittani, S. Lorenz, M. Nevrkla, P. Valenta, **T. Levato**, S. V. Bulanov and **G. Korn**
Electron acceleration at ELI-Beamlines: Towards high-energy and high-repetition rate accelerators
Int. J. Mod. Phys. A 34 (2019) 1943010 (1)–1943010 (18).
43. Leroux, Vincent; Jolly, Spencer W. ; Schnepf, Matthias; Eichner, Timo; Jalas, S.; Kirchen, M.; Messner, P.; Werle, C.; Winkler, P.; Maier, AR.; Andreas R.
Wavefront degradation of a 200 TW laser from heat-induced deformation of in-vacuum compressor gratings
Opt. Express 26 (2019) 13061–13071.
44. C. K. Li, 1, * V. T. Tikhonchuk, 2, 3, † Q. Moreno, 2, 3 H. Sio, 1 E. D’Humières, 2 X. Ribeyre, 2 Ph. Korneev, 4, 5 S. Atzeni, 6 R. Betti, 7 A. Birkel, 1 E. M. Campbell, 7 R. K. Follett, 7 J. A. Frenje, 1 S. X. Hu, 7 M. Koenig, 8 Y. Sakawa, 9 T. C. Sangster, 7 F. H. Seguin, 1 H. Takabe, 9 S. Zhang, 10 and R. D. Petrasso1
Collisionless Shocks Driven by Supersonic Plasma Flows with Self-Generated Magnetic Fields
Phys. Rev. Lett. 123 (2019) 055002-1–055002-6.
45. Qingcao Liu1, Sergey Zherebtsov, Lennart Seiffert, Slawomir Skruszewicz, Dominik Zietlow, Seongjin Ahn, Philipp Rupp, Pawel Wnuk, Shaohua Sun, Alexander Kessel, Sergei Trushin, Annika Schlander, Dongeon Kim, Eckart Rüh, Marcelo F Ciappina, Josef Tiggesbäumker, Markus Gallei, Thomas Fenne, Matthias F Kling1,
All-optical spatio-temporal control of electron emission from SiO2 nanospheres with femtosecond two-color laser fields
New J. Phys. 21 (2019) 1–9.
46. J. Magnusson, A. Gonoskov, M. Marklund, T. Zh. Esirkepov, J. K. Koga, K. Kondo, M. Kando, S. V. Bulanov, **G. Korn**, S. S. **Bulanov**
Laser-Particle Collider for Multi-GeV Photon Production
Phys. Rev. Lett. 122 (2019) 254801 (1)–254801 (6).
47. J. Magnusson, A. Gonoskov, M. Marklund, T. Zh. Esirkepov, J. K. Koga, K. Kondo, M. Kando, S. V. Bulanov, **G. Korn**, C. G. R. Geddes, C. B. Schroeder, E. Esarey, and S. **S. Bulanov**
Multiple colliding laser pulses as a basis for studying high-field high-energy physics
Phys. Rev. A 100 (2019) 063404 (1)–063404 (15).
48. M. Makita, I. Vartiainen, I. Mohacsi, C. Caleman, A. Diaz, H. O. Jönsson, P. Juranić, **N. Medvedev**, A. Meents, A. Mozzanica, N. L. Opara, C. Padeste, V. Panneels, V. Saxena, M. Sikorski, S. Song, L. Vera, P. R. Willmott, P. Beaud, C. J. Milne, B. Ziaja-Motyka, C. David
Femtosecond phase-transition in hard x-ray excited bismuth
Sci. Rep. 9:602 (2019) 1–7.
49. Matlis, N. H.; Ahr, F.; Calendron, A. L.; Cankaya, H.; Cirmi, G.; Eichner, T.; Fallahi, A.; Fakhari, M.; Hartin, A.; Hemmer, M.; Huang, W. R.; Ishizuki, H.; Jolly, S.; W. Leroux,; V. Maier, A. R.; Meier, J.; Qiao, W.; Ravi, K.; Schimpf, D. N.; Taira, T.; Wu, X.; Zapata, L.; Zapata, C.; Zhang, D.; Zhou, C.; Kaertner, F. X.
Acceleration of electrons in THz driven structures for AXSIS
Nucl. Instrum. Meth. A 909 (2019) 27–32.
50. N. Medvedev, Z. Fang, Ch. Xia, Z. Li
Thermal and nonthermal melting of III-V compound semiconductors
Phys. Rev. B 99 (2019) 144101-1–144101-11.

51. N. Medvedev, **M. Kopecky**, **J. Chalupsky**, **L. Juha**
Femtosecond x-ray diffraction can discern nonthermal from thermal melting
Phys. Rev. B 99 (2019) 100303-1–100303-5.
52. Milluzzo, G.; Scuderi, V.; Alejo, A.; Amico, A. G.; Booth, N.; Borghesi, M.; Cirrone, G. A. P.; Cuttone, G.; Doria, D.; Green, J.; Kar, S.; Korn, G.; Larosa, G.; Leanza, R.; Russo, A.; Schillaci, F.
A new energy spectrum reconstruction method for time-of-flight diagnostics of high-energy laser-driven protons
Rev. Sci. Instrum. 90 (2019) 083303 (1)–083303 (7).
53. J. Mu1, T. Zh. Esirkepov, P. Valenta, T. M. Jeong, Ya. Gu, J. K. Koga, A. S. Pirozhkov, M. Kando, **G. Korn**, and S. V. Bulanov
High-Order Harmonics from Laser Irradiated Electron Density Singularity Formed at the Bow Wave in the Laser Plasma
Phys. Wave Phenom. 27 (2019) 247–256.
54. **Jiří Mužík**, Ryo Yasuhara, **Martin Smrž**, Václav Kubeček, **Tomáš Mocek**
A high-brightness room temperature 2.7 μm Er:Y2O3 ceramic laser
Laser. Phys. Lett. 16 (2019) 1–5.
55. R O Barrachina, F Navarrete, M F Ciappina
Free evolution of a mixture of quantum states with classical space and momentum uncertainties
Eur. J. Phys. 40 (2019) 1–9.
56. Alejandro OjedaGP, Xiang Yao, **N. Bulgakova**, Alexander V. Bulgakov, Thomas Lippert
A dynamic double layer as the origin of the mass-dependent ion acceleration in laser-induced plasmas
Appl. Phys. A-Mater. 125 (2019) 1–5.
57. A. Pastorek, J. Hrnčířová, L. Jankovič, L. Nejd, S. Civiš, O. Ivanek, V. Shestivska, A. Křížek, **P. Kubelík**, J. Šponer, L. Petera, A. Křivková, G. Cassone, M. Vaculovičová, J. E. Šponer, **M. Ferus**
Prebiotic synthesis at impact craters: the role of Fe-clays and iron meteorites
Chem. Commun. 55 (2019) 10563–10566.
58. Samuel Paul David, Venkatesan Jambunathan, Fangxin Yue, Antonio Lucianetti, **Tomas Mocek**
Efficient diode pumped Yb:Y2O3 cryogenic laser
Appl. Phys. B-Lasers O. 125 (2019) 137-1–137-5.
59. Francesco Pegoraro, Sergei V. Bulanov
Hodograph solutions of the wave equation of nonlinear electrodynamics in the quantum vacuum
Phys. Rev. D 100 (2019) 036004 (1)–036004 (15).
60. Peng, H.; Riconda, C.; Grech, M.; Su, J-Q; Weber, S.
Nonlinear dynamics of laser-generated ion-plasma gratings: A unified description
Phys. Rev. E 100 (2019) 061201 (1)–061201 (5).
61. T. Pisarczyk, J. J. Santos, **R. Dudzak**, A. Zaras-Szydłowska, M. Ehret, Z. Rusiniak, J. Dostál, T. Chodukowski, **O. Renner**, S. Yu. Gus'kov, Ph. Korneev, **T. Burian**, Ch. Vlachos, Iu. Kochetkov, D. Makaruk, M. Rosinski, M. Kálal, M. Krupka, **M. Pfeifer**, D. Klír, J. Cihakard, **J. Krása**, S. Singh, S. Borodziuk, M. Krus, **L. Juha**, J. Hřebiček, J. Golasowski, **J. Skála**
Elaboration of 3-frame complex interferometry for optimization studies of capacitor-coil optical magnetic field generators
JINST 14 (2019) 1–13.
62. D. Raffestin, G. Boutoux, N. Blanchot, D. Batani, E. D'Humières, Q. Moreno, T. Longhi, H. Coïc, F. Granet, J. Rault, **C. Liberatore**, K. Jakubowska, V. Tikhonchuk1,
Application of harmonics imaging to focal spot measurements of the "PETAL" laser
J. Appl. Phys. 126 (2019) 245902-1–245902-9.
63. M. Rakotoarisoa, B. Angelov, V. M. Garamus, A. Angelova
Curcumin- and Fish Oil-Loaded Spongosome and Cubosome Nanoparticles with Neuroprotective Potential against H2O2Induced Oxidative Stress in Differentiated Human SH-SY5Y Cells
ACS Omega 4 (2019) 3061–3073.
64. A Ruocco1 , G Duchateau1, V T Tikhonchuk, S Hüller
Modeling of laser ponderomotive selffocusing in plasma within the paraxial complex geometrical optics approach
Plasma Phys. Control. Fusion 61 (2019) 1–12.
65. R. A. Rymzhanov, **N. Medvedev**, J. H. O'Connell, A. Janse van Vuuren, V. A. Skuratov, A. E. Volkov
Recrystallization as the governing mechanism of ion track formation
Sci. Rep. 9:3837 (2019) 1–9.

66. M. Šindelka, D. Šimsa
Spontaneous emission from nonhermitian perspective: complex scaling of the photon coordinates
Mol. Phys. 117 (2019) 1989–2009.
67. ONDŘEJ SLEZÁK, RYO YASUHARA, DAVID VOJNA, HIROAKI FURUSE, ANTONIO LUCIANETTI, TOMÁŠ MOCEK
Temperature-wavelength dependence of Verdet constant of Dy₂O₃ ceramics
Opt. Mater. 9 (2019) 2971–2981.
68. M. Šmíd, O. Renner, A. Colaitis, V. T. Tikhonchuk, T. Schlegem, F. B. Rosmej
Characterization of suprathermal electrons inside a laser accelerated plasma via highly-resolved Ka-emission
Nature Mater. 1 (2019) 1–8.
69. Espinoza, S; Richter, S; Rebarz, M; Herrfurth, O; Schmidt-Grund, R; Andreasson, J; Zollner, S
Transient dielectric functions of Ge, Si, and InP from femtosecond pump-probe ellipsometry
Appl. Phys. Lett. 115 (2019) 052105 (1)–052105 (4).
70. V. Tkachenko, M. Büscher, H. Höppner, **N. Medvedev**, V. Lipp, G. M. Rossi, F. Capotondi, P. Finetti, E. Pedersoli, I. Nikolov, M. Danailov, L. Giannessi, M. J. Prandolini, S. Toleikis, K. Mecseki, Ma. Windeler, B. Ziaja, F. Tavella, U. Teubner
Time-resolved ionization measurements with intense ultrashort XUV and X-ray free-electron laser pulses
Laser Part. Beams 37 (2019) 235–241.
71. HANA TURCICOVA, ONDREJ NOVAK, LUKAS ROSKOT, MARTIN SMRZ, JIRI MUZIK, MICHAL CHYLA, AKIRA ENDO, TOMAS MOCEK
New observations on DUV radiation at 257 nm and 206 nm produced by a picosecond diode pumped thin-disk laser
Opt. Express 27 (2019) 24286–24299.
72. Muhlig, K; Ganan-Calvo, AM; Andreasson, J; Larsson, DSD; Hajdu, J; Svenda, M
Nanometre-sized droplets from a gas dynamic virtual nozzle
J. Appl. Crystallogr. 52 (2019) 800–808.
73. Y. V. Ryabchikov
Facile laser synthesis of multimodal composite silicon/gold nanoparticles with variable chemical composition
J. Nanopart. Res. 21 (2019) 1–10.
74. P. K. Velpula, M. Ďurák, **D. Kramer**, A. R. Meadows, M. Vilémová, **B. Rus**.
Evolution of femtosecond laser damage in a hafnia–silica multi-layer dielectric coating
Opt. Lett. 44 (2019) 5342–5345.
75. **David Vojna, Ondřej Slezák**, Antonio Lucianetti, **Tomáš Mocek**
Verdet Constant of Magneto-Active Materials Developed for High-Power Faraday Devices
Appl. Sci. 9 (2019) 1–21.
76. Feng Wan , Kun Xue, Zhen-Ke Dou, Karen Z Hatsagortsyan, Wenchao Yan, Danila Khikhlikha, Sergei V Bulanov, **Georg Korn**, Yong-Tao Zhao, Zhong-Feng Xu¹ and Jian-Xing Li
Imprint of the stochastic nature of photon emission by electrons on the proton energy spectra in the laser-plasma interaction
Plasma Phys. Control. Fusion 61 (2019) 084010 (1)–084010 (10).
77. Wiedorn, Max O.; Oberthur, D; Bean, R; Schubert, R; Werner, N; Abbey, B; Aepfelbacher, M; Adriano, L; Allahgholi, A; Al-Qudami, N; Andreasson, J; Aplin, S.; Awel, S.; Ayyer, K.; Bajt, S.; Barak, I.; Bari, S.; Bielecki, J.; Botha, S.; Boukhelef, D.; Brehm, W.; Brockhauser, S.; Cheviakov, I.; Coleman, MA.; Cruz-Mazo, F.; Danilevski, C.; Darmanin, C.; Doak, RB.; Domaracky, M.; Dorner, K.; Du, Y.; Fangohr, H.; Fleckenstein, H.; Frank, M.; Fromme, P.; Ganan-Calvo, AM., Alfonso M.; Gevorkov, Y.; Giewekemeyer, K.; Ginn, HM.; Graafsma, H.; Graceffa, R.; Greiffenberg, D.; Gumprecht, L.; Gottlicher, P.; Hajdu, J.; Hauf, S.; Heymann, M.; Holmes, S.; Horke, DA.; Hunter, MS.; Imlau, S.; Kaukher, A.; Kim, Y.; Klyuev, A.; Knoska, J.; Kobe, B.; Kuhn, M.; Kupitz, C.; Kuper, J.; Lahey-Rudolph, JM.; Laurus, T.; Le Cong, K.; Letrun, R.; Xavier, P. L.; Maia, L.; Maia, FRNC.; Mariani, V.; Messerschmidt, M.; Metz, M.; Mezza, D.; Michelat, T.; Mills, G.; Monteiro, DCF.; Morgan, A.; Muhlig, K.; Munke, A.; Munnich, A.; Nette, J.; Nugent, KA.; Nuguid, T.; Orville, AM; Pandey, S.; Pena, G.; Villanueva-Perez, P.; Poehlsen, J.; Previtali, G.; Redecke, L.; Riekehr, WM.; Rohde, H.; Round, A.; Safenreiter, T.; Sarrou, I.; Sato, T.; Schmidt, M.; Schmitt, B.; Schonherr, R.; Schulz, J.; Sellberg, JA.; Seibert, MM.; Seuring, C.; Shelby, ML.; Shoeman, RL.; Sikorski, M.; Silenzi, A.; Stan, CA.; Shi, XT.; Stern, S.; Sztuk-Dambietz, J.; Szuba, J.; Tolstikova, A.; Trebbin, M.; Trunk, U.; Vagovic, P.; Ve, T.; Weinhausen, B.; White, TA.; Wrona, K.; Xu, C.; Yefanov, O.; Zatsepin, N.; Zhang, JG.; Perbandt, M.; Mancuso, AP.; Betzel, C.; Chapman, H.; Barty, A.
Megahertz serial crystallography
Nat. Commun. 9 (2019) 4025 (1)–4025 (11).

78. Yury V. Ryabchikov, Anatolii Lukianov, Bohdan Oliinyk, Tetyana Nychporouk, Vladimir Lysenko
Development of silicon nitridebased nanocomposites with multicolour photoluminescence
Appl. Phys. A-Mater. 125 (2019) 630(1)–630(7).
79. V. P. ZHUKOV, S. AKTURK, N. BULGAKOVA
Asymmetric interactions induced by spatio-temporal couplings of femtosecond laser pulses in transparent media
J. Opt. Soc. Am. B-Opt. Phys. 36 (2019) 1556–1564.

2.10.6 Patenty

- R. Antipenkov, P. Bakule, F. Batysta, J. T. Tyler, J. A. Nylon, J. Novák**
Method and device for time synchronization of picosecond and subpicosecond laser pulses
Česká anotace: Metoda a zařízení pro časovou synchronizaci pikosekundových a sub-pikosekundových laserových impulzů pomocí zpětné vazby založené na měření vzájemného zpoždění impulzů signálového a čerpacího laserového svazku s využitím jejich interakce v nelineárním prostředí, kde jsou dílčí laserové svazky určené pro řízení synchronizace vyvázaný (1a/1b) z primárních laserových svazků těsně před vstupem do interakce, která je předmětem synchronizace (A~B). Upraví se rovina polarizace takto vyvázaných svazků (2a/2b) s ohledem na následující optické prvky a u jednoho z dílčích svazků se časově definovaně a konstantně zpozdí jedna ze složek polarizace (3τ). Následně se vždy dvě zvolenému typu interakce OPA odpovídající složky polarizace obou dílčích svazků přivedou současně a společně na alespoň jedno anizotropní nelineární prostředí vykazující jev OPA (4x/4y), ve kterém dojde k zesílení dílčího nelineárního svazku a generaci jalové vlny. Následně se měřicím prvky jednotlivě změní a porovná intenzita obou složek polarizace impulsu signálové vlny a/nebo impulsu jalové vlny (5x/5y) a na základě vyhodnocení se automaticky realizuje zpětnovazební smyčka pro synchronizaci (A~B).
- Grittani Gabriele Maria; Korn Georg; Lazzarini Carlo Maria; Levato Tadzio
Device and Method for High Dose Per Pulse Radiotherapy With Real Time Imaging
Česká anotace: Předkládaný vynález se týká radioterapeutického systému obsahující alespoň jeden zdroj pulzního záření, alespoň jeden zobrazovací systém, řídicí systém a synchronizační systém. Pulzní zdroj záření deponuje vysoko-dávkové pulzní záření do cílové oblasti uvnitř pacienta; současně se zobrazovací systém používá k monitorování cílové oblasti synchronizované synchronizačním systémem. Dávka na ozařovací impuls je dostatečně vysoká tak, aby se během několika pulzů deponovala dávka 1 Gy v hloubce alespoň 1 cm ve vodě. V každém časovém kroku ozáření pulzní zdroj záření vydává krátké pulzy záření (<1 ms) a zobrazovací systém provádí snímek polohy a případně tvaru cílové oblasti během doby ozařování s lepším časovým rozlišením než 200 ms. Zdroj pulzního záření i zobrazovací systém synchronizovaný synchronizačním systémem s jittrem kratším než 200 ms umožňuje tak velmi přesnou rekonstrukci dávky deponované do cílové oblasti.
- P. Galář, K. Kůsová, A. Fučíková, J. Khun**
A method for surface modification of semiconductor nanoparticles using non-thermal plasma activated water and product thereof
Česká anotace: Patent se zabývá novou metodou modifikace povrchu nanočástic za pomoci netermálního plazmatu, která vede k zabudování nitrátů do povrchové vrstvy nanočástic. V případě křemíkových nanokrystalů výše uvedená změna povrchu způsobuje několikanásobné zlepšení kvantového výtěžku luminescence a jejich zvýšenou dispergovatelnost ve vodě.
- Joachim Hein, Jörg Körner, **Antonio Lucianetti, Tomáš Mocek**
Laserový systém v uspořádání nestabilního optického rezonátoru poskytující tvarovaný profil intenzity výstupního svazku a způsob jeho vytvoření
Česká anotace: Tento vynález se týká laserového systému a metody pro generování definovaného prostorově tvarovaného laserového svazku v nestabilním laserovém rezonátoru. Laserový systém pro tvarování módu laserového svazku (7) v nestabilním laserovém rezonátoru obsahuje aktivní médium (3), které zahrnuje oblast buzení (4), přičemž distribuce zisku se generuje prostřednictvím prostorového profilu intenzity svazku (7) optického buzení. Příčný rozměr svazku (7) je menší než odpovídající rozměr aktivního laserového média (3). V preferovaném provedení může systém dále zahrnovat koncové buzení za účelem zavedení prostorově tvarovaného svazku optického buzení (6) do aktivního média (3), a/nebo aktivní nebo pasivní prvek pro úpravu ztrát v rezonátoru, a/nebo prostředky výstupního vyvázaní laserového svazku z uvedeného nestabilního rezonátoru. Systém dle tohoto vynálezu je schopný generovat homogenní profil svazku.
Klíčová slova: unstable laser resonator, mode shaping, high-energy class solid state lasers, spatially tailored gain distribution

5. **L. Heller, P. Šittner, K. Janouchová**

Trojrozměrná dutinná textilie s tloušťkou vratně se měnící v závislosti na teplotě, způsob její výroby a způsob změny tloušťky

Český patent, číslo dokumentu 307924, číslo přihlášky PV-2015-315.

Česká anotace: Trojrozměrná dutinná textilie s tloušťkou vratně se měnící v závislosti na teplotě obsahuje alespoň jeden filament, přičemž alespoň část filamentu je z materiálu s tvarovou pamětí, přičemž uvedený jeden či více filamentů je provázáno v pletené textilní vazbě vytvářející nejméně dvě vrstvy (11, 12), které jsou spojeny ve vazných bodech (22) vymezujících dutinné úseky (21), které vytvářejí samonosný profil vzájemně propojených dutinných úseků (21) prostorového tvaru, přičemž efektivní tloušťku textilie lze snižovat a zvyšovat na základě změny tvaru a deformovatelnosti dutinných úseků, která je výsledkem ochlazování a ohřevu uvedeného filamentu z materiálu s tvarovou pamětí, přičemž ke snížení tloušťky dojde při ochlazování a ke zvýšení tloušťky dojde při ohřevu. Textilii lze použít pro účely termoregulace, detekce teploty.

Klíčová slova: shape memory alloys, smart textiles, 3d textiles, active textiles

6. **A. Hospodková, K. Blažek, E. Hulicius, J. Touš, M. Nikl**

Korean patent No: 10-1972484

Česká anotace: Scintilační detektor pro detekci ionizujícího záření, zejména elektronového, rtg nebo částicového, zahrnující monokrystalický substrát alespoň jednu podkladovou vrstvu, alespoň jednu nitridovou polovodičovou vrstvu nanesenou na substrát pomocí epitaxe, která je popsána obecným vzorcem $\text{Al}_y\text{In}_x\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$, kde platí $0 < x < 1$ a $0 < y < 1$, přičemž jsou alespoň dvě nitridové polovodičové vrstvy uspořádány do vrstvené heterostruktury, jejíž struktura obsahuje alespoň jednu potenciálovou jámu pro zářivé rekombinace elektronů a děr.

Klíčová slova: scintillation, detector, GaN, quantum well

7. **A. Hospodková, K. Blažek, E. Hulicius, J. Touš, M. Nikl**

People's Republic of China Patent No. ZL 2016 8 0009348.4

Česká anotace: Scintilační detektor pro detekci ionizujícího záření, zejména elektronového, rtg nebo částicového, zahrnující monokrystalický substrát alespoň jednu podkladovou vrstvu, alespoň jednu nitridovou polovodičovou vrstvu nanesenou na substrát pomocí epitaxe, která je popsána obecným vzorcem $\text{Al}_y\text{In}_x\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$, kde platí $0 < x < 1$ a $0 < y < 1$, přičemž jsou alespoň dvě nitridové polovodičové vrstvy uspořádány do vrstvené heterostruktury, jejíž struktura obsahuje alespoň jednu potenciálovou jámu pro zářivé rekombinace elektronů a děr.

Klíčová slova: scintillator, detector, ionising radiation

8. **A. Hospodková, F. Dominec**

Epitaxní vícevrstvá struktura pro tranzistory s vysokou pohyblivostí elektronů na bázi GaN a tranzistor obsahující tuto strukturu

Patent No. 307942 (2019).

Česká anotace: Epitaxní vícevrstvá polovodičová struktura vhodná pro využití v nitridových e-HEMT strukturách, která má vrstvu s elektronovým kanálem, sestávající z nedotované GaN, nad níž je bariérová vrstva přiléhající k elektronovému kanálu v nedotované GaN vrstvě. Bariérová vrstva je podle vynálezu tvořena kombinací vrstev binárních polovodičů AlN a GaN. Binární polovodiče a rozhraní mezi nimi tvoří účinnou bariéru zejména pro zpětnou difúzi Mg atomů z GaN krycí vrstvy do elektronového kanálu. Bariérová struktura přiléhá k elektronovému kanálu vždy AlN vrstvou, avšak seshora může být ukončena jak GaN vrstvou, tak vrstvou AlN. Bariéra může obsahovat jedinou nebo více dvojic GaN/AlN, může mít větší tloušťku než klasické bariéry tvořené AlGaIn vrstvou. Několik horních GaN vrstev může být dotováno hořčíkem. Epitaxní vícevrstvá polovodičová struktura podle vynálezu je vhodná zejména pro tranzistor s elektronovým kanálem, který je bez přiloženého napětí zavřený.

Klíčová slova: HEMT, GaN, AlGaIn

9. **A. Hospodková, T. Hubáček**

Způsob výroby epitaxní struktury s InGaIn kvantovými jamami

Patent No. 308024 (2019).

Česká anotace: Vynález se týká způsobu přípravy InGaIn kvantových jam (QW) pomocí organokovové epitaxe nebo epitaxe z molekulárních svazků. Podstata vynálezu spočívá ve způsobu překrývání InGaIn tenkých vrstev (QW), které brání nežádoucí desorpci In z InGaIn vrstvy a navíc má takto připravené rozhraní dokonalejší krystalografickou strukturu. Překryv InGaIn kvantových jam probíhá bez přerušení růstu během procesu zvyšování teploty na teplotu nutnou pro kvalitní růst bariérové, nejčastěji GaN vrstvy. Při růstu krycí vrstvy může být do reaktoru s výhodou přidáváno malé množství In, čímž je ještě účinněji bráněno desorpci In z InGaIn QW. Zvýšení koncentrace InN složky v QW způsobem podle tohoto vynálezu je čtyřnásobné, jak bylo ukázáno na výsledcích měření metodou hmotnostní spektroskopie sekundárně odprášených iontů s vysokým hloubkovým

rozlišením. Struktury s takto připraveným rozhraním mají několikanásobně vyšší intenzitu luminiscence.

Klíčová slova: InGaN/GaN heterostructure, scintillators, detectors

10. **A. Hospodková, M. Zíková**

Vícevrstvá polovodičová struktura pro fotoelektrická zařízení

Patent No. 307941 (2019).

Česká anotace: Podstata vynálezu spočívá ve využití samouspořádané trojice kvantových teček (KT) kombinované ze dvou polovodičových materiálů InAs a GaAsSb pro efektivní absorpci světla, generaci páru elektron-díra a pro jejich rychlou separaci, která zabrání zpětné rekombinaci vygenerovaných nosičů náboje a tím efektivitu generace fotoproudu. Trojici KT tvoří jedna InAs KT pro lokalizaci elektronů a nad ní dvojice GaAsSb KT pro lokalizaci děr. InAs KT a GaAsSb KT jsou od sebe odděleny tenkou vrstvou GaAs nebo GaAsSb. K zesílení tvorby GaAsSb KT dochází, jestliže je pod InAs vrstvou deponována asi 1-3 nm tenká InGaAs podkladová vrstva. Struktura je vhodná pro zabudování do fotodiod, solárních článků nebo tandemových solárních článků pro absorpci světla ve spektrální oblasti 1100-1500 nm. Struktura zvyšuje efektivitu generace fotoproudu tím, že účinně potlačuje zpětnou rekombinaci generovaných nosičů náboje.

Klíčová slova: Quantum Dots, InAs, GaAsSb

11. **A. Hospodková, M. Zíková, K. Blažek,**

Scintilační detektor pro detekci ionizujícího záření

Patent No. 307721 (2019).

Česká anotace: Scintilační detektor pro detekci ionizujícího záření zahrnující alespoň dvě nitridové polovodičové vrstvy uspořádané do vrstvené heterostruktury, jejíž struktura obsahuje alespoň jednu vrstvu potenciálové jámy pro zářivé rekombinace elektronů a děr, a dále zahrnující aktivní oblast heterostruktury sestávající z alespoň jedné aktivní dvojice nitridových polovodičových vrstev složené z bariérové vrstvy a z vrstvy potenciálové jámy, přičemž je nad nejvýše se nacházející aktivní dvojicí vrstev uspořádána alespoň jedna vrchní nitridová polovodičová vrstva. Dále je na alespoň jedné straně aktivní oblasti a/nebo uvnitř aktivní oblasti je vložena alespoň jedna vrstva s gradovaným složením, která sousedí s krajní vrstvou potenciálové jámy, pro snížení potenciálové bariéry a usnadnění migrace elektronů a děr do aktivní oblasti heterostruktury.

Klíčová slova: InGaN/GaN heterostructure, scintillators, detectors

12. **Z. Hubička, M. Čada, P. Kšírová, M. Klinger**

Způsob generování nízkoteplotního plazmatu, způsob povlakování vnitřního povrchu dutých elektricky vodivých nebo feromagnetických trubic a zařízení pro provádění těchto způsobů

Byla objevena nová plazmatická metoda pro povlakování vnitřních stěn dlouhých trubic. Je využito pulzní buzení duté katody synchronizované s bipolárními pulzy na povlakované trubici.

Česká anotace: Byla objevena nová plazmatická metoda povlakování vnitřních stěn dlouhých trubic

Klíčová slova: hollow cathode, thin films, tube, plasma

13. **G. Kalinchenko, Š. Vyhlička**

Vrstvená dielektrická reflexní difrakční mřížka

(2019) -

Česká anotace: Řešení se týká vrstvené dielektrické/křemíkové reflexní difrakční mřížky skládající se v následujícím pořadí ze: substrátu; nejméně jedné dvojvrstvy křemíku a průhledného dielektrika s indexem lomu menším než má křemík; volitelně nejméně jedné dvojvrstvy dielektrik, kde dielektrikum ve spodní vrstvě má větší index lomu než dielektrikum ve vrchní vrstvě, a vrstvy s vrypy. Vynález je vhodný pro optické přístroje jako jsou například lasery nebo spektrometry pracující se zářením o vlnové délce větší než 750 nm.

14. **V. Mortet, A. Taylor, L. Kavan, O. Frank, Z. Vlčková, H. Krýsová, V. Petrák**

Způsob výroby porézní diamantové vrstvy a tlustá porézní diamantová vrstva vyztužená nanovláčky

(2020) -

Česká anotace: Předložený vynález popisuje způsob výroby porézní diamantové vrstvy (1, 6) a porézního diamantového tělesa (7) vyztuženého nanovláčky. Tento způsob zahrnuje krok očkování nanočástic diamantu do nanovláken z jakéhokoliv materiálu schopného odolávat podmínkám plazmou podporovaného ukládání. Naočkováná nanovláčka jsou pak zamíchána do obětního materiálu. Tato směs je pak nanosená na substrát (2) a vysušena pro vytvoření pevného filmu z kompozitu nanovláčka/obětovaný materiál. Výsledný kompozitový film je pak podroben plazmou podporovanému chemickému ukládání diamantu z parní fáze za podmínek, kdy je obětní materiál rozkládán. Tyto kroky mohou být opakovány pro vytvoření nanovláčky vyztužené porézní diamantové vrstvy (6) požadované tloušťky. Diamant může být dopován borem

Klíčová slova: diamond, porous, electrochemical electrode, boron

15. Ing. **Jaroslav Nejd**, Ph. D. Ing. **Martin Albrecht**, Bc. Jakub Vančura
A device, use of the device and a method for high-contrast imaging
Zařízení pro vysoce kontrastní zobrazení, jeho používání a metoda, jak dosáhnout vysoce kontrastního zobrazení (2019) -
Česká anotace: Současný vynález se týká zařízení, použití zařízení a metody pro vysoce kontrastní zobrazování, zvláště vhodného pro zobrazování pohyblivých objektů jako je expandující výtrysk z plynové trysky nebo fyzikálních, chemických a biologických procesů v materiálu. Zařízení pro vysoce kontrastní zobrazování se skládá z děliče svazku (21), který dělí svazek (1) na signální (3) a referenční svazek (7), kde signální svazek prochází zkoumaným objektem (6). Samozobrazující systém (30) přijímá signální svazek (3) z objektu (6) a ze samozobrazení objektu (6), a tak v tomto výhodném provedení systém (30) zachovává divergenci odraženého signálního svazku (31). Svazek (3, 31) interaguje s objektem (6) nejméně dvakrát a odražený svazek (31) je dále směřován po poslední interakci na dělič (21). Výsledná detekce (11) představuje měření signálního svazku (31) z děliče (21).
16. **Z. Remeš, Y. Y. Chang**
Otočný držák práškového vzorku, vakuová sestava vhodná pro umístění do nízkotlakého plazmového reaktoru, jejich použití a způsob plazmové modifikace práškového vzorku
 Patent PV2018-644 registrován Úřadem průmyslového vlastnictví pod číslem CZ307913. Patent PV2018-644 registered by the Industrial Property Office under number CZ307913.
Česká anotace: Otočný držák (1) obsahující práškový vzorek, který je ve tvaru duté nádoby (2) uzpůsobené k uchování práškového vzorku, který je vystavený nízkoteplotnímu plazmatu, přičemž dutá nádoba (2) je vybavena na svém vnitřním povrchu (2') alespoň jednou lamelou (3). Vakuová sestava určená pro plazmovou úpravu práškového vzorku, zejména vhodná pro umístění do nízkotlakého plazmového reaktoru, který obsahuje vakuovou komoru mající výsuvnou stěnu; a výše uvedený otočný držák (1), který je připojen k výsuvné stěně vakuové komory pomocí rotační vakuové průchodky. Způsob plazmové modifikace práškového vzorku, který obsahuje kroky: a. umístění práškového vzorku do držáku (1) obsahující alespoň jednu lamelu (3); b. vložení držáku (1) do reaktorové komory schopné vytvoření nízkoteplotního a/nebo nízkotlakého plazmatu; c. zajištění kývavého pohybu držáku (1) během plazmatické úpravy vzorku.
Klíčová slova: powder, plasma treatment
17. Skoda R., Skarohlid J., **Kratochvilova I., Fendrych F., Taylor A.**
Vrstva, chránící povrch zirkoniových slitin, které se používají jako materiál pro jaderné reaktory (2019) -
Česká anotace: Vrstva, chránící povrch zirkoniových slitin, které se používají jako materiál pro jaderné reaktory, je tvořená homogenní polykrystalickou diamantovou vrstvou připravenou metodou depozice z plynné fáze. Tato diamantová vrstva má tloušťku v rozmezí 100 nm až 50 μ m a velikost krystalických zrn ve vrstvě je v rozmezí 10–500 nm. Maximální obsah nediamantového uhlíku je 25 mol. %, celkový obsah neuhlíkových nečistot je maximálně do 0,5 mol. %, povrchová drsnost polykrystalické diamantové vrstvy má hodnotu RMS drsnosti menší než 40 nm a tepelná vodivost vrstvy se pohybuje v rozmezí 1000 až 1900 W·m⁻¹·K⁻¹. Pokrytí povrchu zirkoniových slitin uvedenou polykrystalickou diamantovou vrstvou slouží jako ochrana proti nežádoucím změnám a procesům v prostředí jaderného reaktoru.
Klíčová slova: polycrystalline diamond layer, Zr alloy corrosion, protection against corrosion

2.10.7 Užité vzory

1. **M. Čada, Z. Hubička**

Zařízení pro vytváření vysokofrekvenčního plazmového výboje s elektronovou cyklotronovou vlnovou rezonancí

Česká anotace: Překládané technické řešení řeší technický problém pomocí zařízení pro vytváření vysokofrekvenčního plazmového výboje s elektronovou cyklotronovou vlnovou rezonancí (EWCW výboje), který v konečném důsledku ovlivňuje potenciál plazmatu, a tudíž i kinetickou energii iontů. Podstatou technického řešení je přiložené dodatečné napětí z externího zdroje, který je paralelně připojen k vysokofrekvenční elektrodě přes soustavu cívek. Předkládané řešení je provedeno tak, že nedochází k ovlivnění rezonance elektronové cyklotronové elektromagnetické vlny přiloženým dodatečným napětím, avšak v konečném důsledku poskytuje modulaci potenciálu plazmatu v ECWR výboji.

Klíčová slova: ECWR výboj, elektrické předpětí

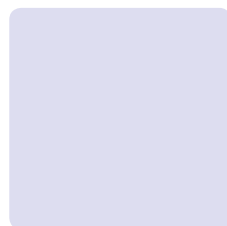
2. O. Churpita, **A. Dejneka**, Š. Kubinová
Zdroj nízkoteplotního plazmatu, zejména pro využití v potravinářském průmyslu a bioaplikacích
 (2019) -
Česká anotace: Technické řešení spadá do oblasti generování nízkoteplotního plazmatu a týká se konstrukce atmosférického zdroje nízkoteplotního plazmatu zejména pro využití pro sterilizaci násadových vajec a také v medicínských aplikacích.
Klíčová slova: low-temperature plasma, medical applications, sterilization

3. O. Novák, B. Csanaková
Zařízení pro separování alespoň dvou společně propagujících se svazků elektromagnetického záření a polarizátor
 (2019) -
Česká anotace: Zdroje záření ve střední infračervené oblasti mají uplatnění v medicíně, průmyslu a při sledování znečištění prostředí. Užitečný vzor prezentuje zařízení sloužící k oddělení svazků o různých vlnových délkách, které jsou generovány optickým parametrickým zdrojem záření. Zařízení je použitelné též jako polarizátor. Principem zařízení je soustava destiček umístěných pod Brewsterovým úhlem. Zařízení pokrývá široký rozsah vlnových délek záření, který je určen transmisí použitého materiálu destiček. Zařízení je použitelné pro svazky o vysokém výkonu.
Klíčová slova: Separator, Polarizer, Mid-infrared, Silicon

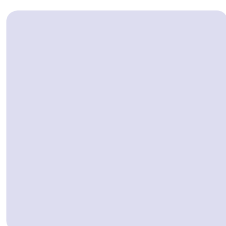
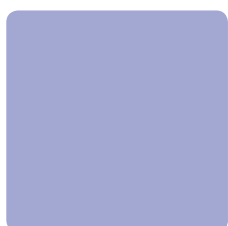
4. **Z. Remeš**, Y. Y. Chang
Otočný držák práškového vzorku a vakuová sestava vhodná pro umístění do nízkotlakého plasmového reaktoru
 Utility model PUV 2018-35654 registered by the Industrial Property Office under number CZ 32724. Užitečný vzor PUV 2018-35654 registrován Úřadem průmyslového vlastnictví pod číslem CZ 32724.
Česká anotace: Užitečný vzor PUV 2018-35654 registrován Úřadem průmyslového vlastnictví pod číslem CZ 32724
Klíčová slova: Plasma, nanotechnology

5. **J. Remsa**, **P. Písařík**, **A. Dejneka**, A. Chrzanowski, J. Lát
Povlak, zejména pro povrchy chladicích systémů
 (2019) -
Česká anotace: Úkolem nového technického řešení je návrh speciálního povlaku nanášeného zejména na aditivně vyrobené vzorky. Účelem povlaku je jednak zvýšení tepelné výměny mezi tělesem chladiče a okolním chladivem a jednak zvýšení korozní a oxidační odolnosti chladicího tělesa.
Klíčová slova: special coating, heat exchange, radiator body, refrigerant. corrosion and oxidation resistance, cooling body





3. Ekonomická část výroční zprávy za rok 2019



3.1.1.

Zřizovatel: Akademie věd ČR

ROZVAHA

sestavena dle vyhl. 504/2002 Sb., ve znění pozdějších předpisů

k 31. 12. 2019

(v tis. Kč)

Název účetní jednotky:

Fyzikální ústav AV ČR, v. v. i.

Sídlo: Na Slovance 199/2, 182 21 Praha 8

IČ: 68378271

| | Název | SÚ | číslo řádku | Stav | |
|-------------|--|----------------|----------------|-------------------|-------------------|
| | | | | Stav k 01. 01. 19 | Stav k 31. 12. 19 |
| A. | Dlouhodobý majetek celkem | | | 8 278 313 | 8 330 532 |
| I. | Dlouhodobý nehmotný majetek celkem | 01 | 1 | 79 980 | 82 832 |
| | 1. Nehmotné výsledky výzkumu a vývoje | 012 | 2 | 0 | 0 |
| | 2. Software | 013 | 3 | 72 331 | 76 039 |
| | 3. Ocenitelná práva | 014 | 4 | 2 512 | 2 512 |
| | 4. Drobný dlouhodobý nehmotný majetek | 018 | 5 | 3 558 | 3 366 |
| | 5. Ostatní dlouhodobý nehmotný majetek | 019 | 6 | 0 | 0 |
| | 6. Nedokončený dlouhodobý nehmotný majetek | 041 | 7 | 1 579 | 915 |
| | 7. Poskytnuté zálohy na dlouhodobý nehmotný majetek | 051 | 8 | 0 | 0 |
| II. | Dlouhodobý hmotný majetek celkem | 02+03 | 9 | 10 095 056 | 10 846 656 |
| | 1. Pozemky | 031 | 10 | 276 508 | 276 508 |
| | 2. Umělecká díla, předměty, sbírky | 032 | 11 | 0 | 0 |
| | 3. Stavby | 021 | 12 | 2 857 166 | 2 932 143 |
| | 4. Hmotné movité věci a jejich soubory | 022 | 13 | 4 155 456 | 6 525 180 |
| | 5. Pěstitelské celky trvalých porostů | 025 | 14 | 0 | 0 |
| | 6. Dospělá zvířata a jejich skupiny | 026 | 15 | 0 | 0 |
| | 7. Drobný dlouhodobý hmotný majetek | 028 | 16 | 55 888 | 48 044 |
| | 8. Ostatní dlouhodobý hmotný majetek | 029 | 17 | 0 | 0 |
| | 9. Nedokončený dlouhodobý hmotný majetek | 042 | 18 | 2 748 396 | 1 029 978 |
| | 10. Poskytnuté zálohy na dlouhodobý hmotný majetek | 052 | 19 | 1 642 | 34 803 |
| III. | Dlouhodobý finanční majetek celkem | 06 | 20 | 340 | 340 |
| | 1. Podíly - ovládaná nebo ovládající osoba | 061 | 21 | 0 | 0 |
| | 2. Podíly - podstatný vliv | 062 | 22 | 340 | 340 |
| | 3. Dluhové cenné papíry | 063 | 23 | 0 | 0 |
| | 4. Zápůjčky organizačním složkám | 066 | 24 | 0 | 0 |
| | 5. Ostatní dlouhodobé zápůjčky | 067 | 25 | 0 | 0 |
| | 6. Ostatní dlouhodobý finanční majetek | 069 | 26 | 0 | 0 |
| IV. | Oprávky k dlouhodobému majetku celkem | 07 - 08 | 28 | -1 897 063 | -2 599 296 |
| | 1. Oprávky k nehmotným výsledkům výzkumu a vývoje | 072 | 29 | 0 | 0 |
| | 2. Oprávky k softwaru | 073 | 30 | -54 776 | -63 087 |
| | 3. Oprávky k ocenitelným právům | 074 | 31 | -2 439 | -2 463 |
| | 4. Oprávky k drobnému dlouhodobému nehmotnému majetku | 078 | 32 | -3 558 | -3 366 |
| | 5. Oprávky k ostatnímu dlouhodobému nehmotnému majetku | 079 | 33 | 0 | 0 |
| | 6. Oprávky ke stavbám | 081 | 34 | -231 349 | -288 587 |
| | 7. Oprávky k samost. hmot. mov. věcem a souborům hmot. mov. věcí | 082 | 35 | -1 549 053 | -2 193 748 |
| | 8. Oprávky k pěstitelským celkům trvalých porostů | 085 | 36 | 0 | 0 |
| | 9. Oprávky k základnímu stádu a tažným zvířatům | 086 | 37 | 0 | 0 |
| | 10. Oprávky k drobnému dlouhodobému hmotnému majetku | 088 | 38 | -55 888 | -48 045 |
| | 11. Oprávky k ostatnímu dlouhodobému hmotnému majetku | 089 | 39 | 0 | 0 |

| | | | | | | |
|-------------|-----|---|----------------|-----------|------------------|------------------|
| B. | | Krátkodobý majetek celkem | | 40 | 736 862 | 949 536 |
| I. | | Zásoby celkem | 11-13 | 41 | 13 146 | 14 928 |
| | 1. | Materiál na skladě | 112 | 42 | 13 101 | 13 080 |
| | 2. | Materiál na cestě | 111,119 | 43 | 40 | 6 |
| | 3. | Nedokončená výroba | 121 | 44 | 0 | 1 837 |
| | 4. | Polotovary vlastní výroby | 122 | 45 | 0 | 0 |
| | 5. | Výrobky | 123 | 46 | 5 | 5 |
| | 6. | Mladá a ostatní zvířata a jejich skupiny | 124 | 47 | 0 | 0 |
| | 7. | Zboží na skladě a v prodejnách | 132 | 48 | 0 | 0 |
| | 8. | Zboží na cestě | 131,139 | 49 | 0 | 0 |
| | 9. | Poskytnuté zálohy na zásoby | | 50 | 0 | 0 |
| II. | | Pohledávky celkem | 31-39 | 51 | 34 992 | 35 554 |
| | 1. | Odběratelé | 311 | 52 | 4 741 | 1 701 |
| | 2. | Směnky k inkasu | 312 | 53 | 0 | 0 |
| | 3. | Pohledávky za eskontované cenné papíry | 313 | 54 | 0 | 0 |
| | 4. | Poskytnuté provozní zálohy | 314 | 55 | 1 745 | 816 |
| | 5. | Ostatní pohledávky | 316 | 56 | 105 | 498 |
| | 6. | Pohledávky za zaměstnanci | 335 | 57 | 939 | 650 |
| | 7. | Pohledávky z institucemi sociálního zabezpečení a VZP | 336 | 58 | 0 | 0 |
| | 8. | Daň z příjmů | 341 | 59 | 0 | 0 |
| | 9. | Ostatní přímé daně | 342 | 60 | 0 | 0 |
| | 10. | Daň z přidané hodnoty | 343 | 61 | 0 | 0 |
| | 11. | Ostatní daně a poplatky | 345 | 62 | 0 | 0 |
| | 12. | Nároky na dotace a ostatní zúčtování se státním rozpočtem | 346 | 63 | 0 | 0 |
| | 13. | Nároky na dotace a ostatní zúčtování s rozpočtem orgánů ÚSC | x | 64 | 0 | 0 |
| | 14. | Pohledávky za společníky sdruženými ve společnosti | 358 | 65 | 0 | 0 |
| | 15. | Pohledávky z pevných termínových operací | 373 | 66 | 0 | 0 |
| | 16. | Pohledávky z vydaných dluhopisů | 375 | 67 | 0 | 0 |
| | 17. | Jiné pohledávky | 378 | 68 | 1 298 | 713 |
| | 18. | Dohadné účty aktivní | 388 | 69 | 26 164 | 31 176 |
| | 19. | Opravná položka k pohledávkám | 391 | 70 | 0 | 0 |
| III. | | Krátkodobý finanční majetek celkem | 21 - 26 | 71 | 681 699 | 891 014 |
| | 1. | Peněžní prostředky v pokladně | 211 | 72 | 596 | 627 |
| | 2. | Ceniny | 212 | 73 | 0 | 0 |
| | 3. | Peněžní prostředky na účtech | 221 | 74 | 681 103 | 890 387 |
| | 4. | Majetkové cenné papíry k obchodování | 251 | 75 | 0 | 0 |
| | 5. | Dluhové cenné papíry k obchodování | 253 | 76 | 0 | 0 |
| | 6. | Ostatní cenné papíry | 254 | 78 | 0 | 0 |
| | 7. | Peníze na cestě | 262 | 79 | 0 | 0 |
| IV. | | Jiná aktiva celkem | 38 | 81 | 7 025 | 8 040 |
| | 1. | Náklady příštích období | 381 | 82 | 7 025 | 8 040 |
| | 2. | Příjmy příštích období | 385 | 83 | 0 | 0 |
| A+B | | Aktiva celkem | | 85 | 9 015 175 | 9 280 068 |

| | | | | | | |
|-------------|-----|--|---------------|------------|------------------|------------------|
| A. | | Vlastní zdroje celkem | | 86 | 8 700 895 | 8 913 752 |
| I. | | Jmění celkem | 90-92 | 87 | 8 698 492 | 8 911 793 |
| | 1. | Vlastní jmění | 901 | 88 | 8 292 309 | 8 344 528 |
| | 2. | Fondy | 91 | 89 | 407 300 | 566 354 |
| | 3. | Oceňovací rozdíly z přecenění finančního majetku a závazků | 921 | 90 | -1 117 | 911 |
| II. | | Výsledek hospodaření celkem | 93-96 | 91 | 2 403 | 1 959 |
| | 1. | Účet výsledku hospodaření | 963 | 92 | 0 | 1 959 |
| | 2. | Výsledek hospodaření ve schvalovacím řízení | 931 | 93 | 2 403 | 0 |
| | 3. | Nerozdělený zisk, neuhrazená ztráta minulých let | 932 | 94 | 0 | 0 |
| B. | | Cizí zdroje celkem | | 95 | 314 280 | 366 316 |
| I. | | Rezervy celkem | 94 | 96 | 0 | 0 |
| | 1. | Rezervy | 941 | 97 | 0 | 0 |
| II. | | Dlouhodobé závazky celkem | 38, 95 | 98 | 0 | 0 |
| | 1. | Dlouhodobé úvěry | 951 | 99 | 0 | 0 |
| | 2. | Vydané dluhopisy | 953 | 100 | 0 | 0 |
| | 3. | Závazky z pronájmu | 954 | 101 | 0 | 0 |
| | 4. | Přijaté dlouhodobé zálohy | 952 | 102 | 0 | 0 |
| | 5. | Dlouhodobé směnky k úhradě | x | 103 | 0 | 0 |
| | 6. | Dohadné účty pasivní | 389 | 104 | 0 | 0 |
| | 7. | Ostatní dlouhodobé závazky | 958 | 105 | 0 | 0 |
| III. | | Krátkodobé závazky celkem | 28-38 | 106 | 310 053 | 364 508 |
| | 1. | Dodavatelé | 321 | 107 | 43 480 | 20 040 |
| | 2. | Směnky k úhradě | 322 | 108 | 0 | 0 |
| | 3. | Přijaté zálohy | 324 | 109 | 496 | 504 |
| | 4. | Ostatní závazky | 325 | 110 | 0 | 0 |
| | 5. | Zaměstnanci | 331 | 111 | 42 910 | 45 343 |
| | 6. | Ostatní závazky vůči zaměstnancům | 333 | 112 | 439 | 0 |
| | 7. | Závazky k institucím sociálního zabezpečení a VZP | 336 | 113 | 26 860 | 23 056 |
| | 8. | Daň z příjmů | 341 | 114 | 549 | 508 |
| | 9. | Ostatní přímé daně | 342 | 115 | 8 553 | 9 098 |
| | 10. | Daň z přidané hodnoty | 343 | 116 | 14 145 | 11 201 |
| | 11. | Ostatní daně a poplatky | 345 | 117 | 1 | 4 |
| | 12. | Závazky ze vztahu k státnímu rozpočtu | 347 | 118 | 169 204 | 253 601 |
| | 13. | Závazky ze vztahu k rozpočtu ÚSC | x | 119 | 0 | 0 |
| | 14. | Závazky z upsaných nesplacených cenných papírů a podílů | 367 | 120 | 0 | 0 |
| | 15. | Závazky ke společníkům sdruženým ve společnosti | 368 | 121 | 0 | 0 |
| | 16. | Závazky z pevných termínových operací a opcí | 373 | 122 | 0 | 0 |
| | 17. | Jiné závazky | 379 | 123 | 2 972 | 861 |
| | 18. | Krátkodobé úvěry | 231 | 124 | 0 | 0 |
| | 19. | Eskontní úvěry | 282 | 125 | 0 | 0 |
| | 20. | Vydané krátkodobé dluhopisy | 283 | 126 | 0 | 0 |
| | 21. | Vlastní dluhopisy | 284 | 127 | 0 | 0 |
| | 22. | Dohadné účty pasivní | 389 | 128 | 444 | 292 |
| | 23. | Ostatní krátkodobé finanční výpomoci | 289 | 129 | 0 | 0 |
| IV. | | Jiná pasiva celkem | 38 | 130 | 4 227 | 1 808 |
| | 1. | Výdaje příštích období | 383 | 131 | 3 391 | 1 808 |
| | 2. | Výnosy příštích období | 384 | 132 | 836 | 0 |
| A+B | | Pasiva celkem | | 134 | 9 015 175 | 9 280 068 |

Předmět činnosti: vědecký výzkum

Rozvahový den: 31. 12. 2019

.....
sestavil, podpis a jméno

Datum sestavení: 9. 4. 2020

RNDr. Michael Prouza, Ph.D.

.....
odpov. osoba, podpis a jméno

Fyzikální ústav AV ČR
veřejná výzkumná instituce
182 21 Praha 8, Na Slovance 2

- 1 -

otisk razítka

3.1.2.

Zřizovatel: Akademie věd ČR

Výkaz zisku a ztráty

sestavený dle vyhl. 504/2002 Sb., ve znění pozdějších předpisů

k 31. 12. 2019

(v tis. Kč)

Název účetní jednotky:

Fyzikální ústav AV ČR, v. v. i.

Sídlo: Na Slovance 2, 182 21 Praha 8

IČ: 68378271

| | Název ukazatele | SÚ | čís. řad. | Činnost | | |
|--------------|---|--------------|--------------|------------------|---------------|------------------|
| | | | | hlavní | jiná | Celkem |
| | | | | 1 | 2 | 3 |
| A. | Náklady | | 1 | 2 203 670 | 6 071 | 2 209 741 |
| I. | Spotřebované nákupy celkem | 50+51 | 2 | 465 382 | 5 839 | 471 221 |
| | 1. Spotřeba materiálu, energie a ostatních neskladovaných látek | 501-503 | 3 | 219 794 | 5 068 | 224 862 |
| | 2. Prodané zboží | 504 | 4 | 0 | 0 | 0 |
| | 3. Opravy a udržování | 511 | 5 | 25 328 | 85 | 25 413 |
| | 4. Náklady na cestovné | 512 | 6 | 52 286 | 46 | 52 332 |
| | 5. Náklady na reprezentaci | 513 | 7 | 2 977 | 28 | 3 005 |
| | 6. Ostatní služby | 518, 514 | 8 | 164 997 | 612 | 165 609 |
| II. | Změny stavu zásob vlastní činnosti a aktivace | 56+57 | 9 | -8 128 | -1 837 | -9 965 |
| | 7. Změna stavu zásob vlastní činnosti | 56 | 10 | 0 | -1 837 | -1 837 |
| | 8. Aktivace materiálu, zboží a vnitroorganizačních služeb | 571, 572 | 11 | -8 128 | 0 | -8 128 |
| | 9. Aktivace dlouhodobého majetku i | 573, 574 | 12 | 0 | 0 | 0 |
| III. | Osobní náklady | 52 | 13 | 968 739 | 1 545 | 970 284 |
| | 10. Mzdové náklady | 521,3 | 14 | 702 454 | 1 143 | 703 597 |
| | 11. Zákonné sociální pojištění | 524 | 15 | 232 085 | 379 | 232 464 |
| | 12. Ostatní sociální pojištění | 525 | 16 | 0 | 0 | 0 |
| | 13. Zákonné sociální náklady | 527 | 17 | 34 200 | 23 | 34 223 |
| | 14. Ostatní sociální náklady | 528 | 18 | 0 | 0 | 0 |
| IV. | Daně a poplatky | 53 | 19 | 2 185 | 0 | 2 185 |
| | 15. Daně a poplatky | 53 | 20 | 2 185 | 0 | 2 185 |
| V. | Ostatní náklady | 54 | 21 | 20 311 | 160 | 20 471 |
| | 16. Smluvní pokuty, úroky z prodlení, ostatní pokuty a penále | 541, 542 | 22 | 52 | 0 | 52 |
| | 17. Odpis nedobytné pohledávky | 543 | 23 | 0 | 0 | 0 |
| | 18. Nákladové úroky | 544 | 24 | 1 | 0 | 1 |
| | 19. Kurzové ztráty | 545 | 25 | 3 070 | 44 | 3 114 |
| | 20. Dary | 546 | 26 | 0 | 0 | 0 |
| | 21. Manka a škody | 548 | 27 | 0 | 0 | 0 |
| | 22. Jiné ostatní náklady | 547, 549 | 28 | 17 188 | 116 | 17 304 |
| VI. | Odpisy, prodaný majetek, tvorba a použití rezerv a opr.položek celkem | 55 | 29 | 754 895 | 364 | 755 259 |
| | 23. Odpisy dlouhodobého majetku | 551 | 30 | 754 895 | 364 | 755 259 |
| | 24. Prodaný dlouhodobý majetek | 552 | 31 | 0 | 0 | 0 |
| | 25. Prodané cenné papíry a podíly | 553 | 32 | 0 | 0 | 0 |
| | 26. Prodaný materiál | 554 | 33 | 0 | 0 | 0 |
| | 27. Tvorba a použití rezerv a opravných položek | 556, 559 | 34 | 0 | 0 | 0 |
| VII. | Poskytnuté příspěvky | 58 | 38 | 0 | 0 | 0 |
| | 28. Poskytnuté členské příspěvky a příspěvky zúčtované mezi organiz. složkami | 581 | 39 | 0 | 0 | 0 |
| VIII. | Daň z příjmů | 59 | 40 | 286 | 0 | 286 |
| | 29. Daň z příjmů | 59 | 41 | 286 | 0 | 286 |

| | Název ukazatele | SÚ | čís. řád. | Činnost | | |
|-------------|--|-----------|-----------|------------------|--------------|------------------|
| | | | | hlavní | jiná | Celkem |
| | | | | 1 | 2 | 3 |
| B. | Výnosy | | 1 | 2 203 465 | 8 235 | 2 211 700 |
| I. | Provozní dotace | 69 | 2 | 1 325 347 | 0 | 1 325 347 |
| | 1. Provozní dotace | 691 | 3 | 1 325 347 | 0 | 1 325 347 |
| II. | Přijaté příspěvky | 68 | 6 | 0 | 0 | 0 |
| | 2. Přijaté příspěvky zúčtované mezi organizačními složkami | | 7 | 0 | 0 | 0 |
| | 3. Přijaté příspěvky (dary) | 681 | 8 | 0 | 0 | 0 |
| | 4. Přijaté členské příspěvky | 682 | 9 | 0 | 0 | 0 |
| III. | Tržby za vlastní výkony a za zboží | 60 | 11 | 4 705 | 4 225 | 8 930 |
| IV. | Ostatní výnosy | 64 | 16 | 872 847 | 4 010 | 876 857 |
| | 5. Smluvní pokuty, úroky z prodlení, ostatní pokuty a penále | 641, 642 | 17 | 1 334 | 0 | 1 334 |
| | 6. Platby za odepsané pohledávky | 643 | 18 | 0 | 0 | 0 |
| | 7. Výnosové úroky | 644 | 19 | 4 623 | 0 | 4 623 |
| | 8. Kurzové zisky | 645 | 20 | 1 159 | 10 | 1 169 |
| | 9. Zúčtování fondů | 648 | 21 | 99 252 | 0 | 99 252 |
| | 10. Jiné ostatní výnosy | 649 | 22 | 766 479 | 4 000 | 770 479 |
| V. | Tržby z prodeje majetku | 65 | 24 | 566 | 0 | 566 |
| | 11. Tržby z prodeje DNM a DHM | 651 | 25 | 566 | 0 | 566 |
| | 12. Tržby z prodeje cenných papírů a podílů | 653 | 26 | 0 | 0 | 0 |
| | 13. Tržby z prodeje materiálu | 654 | 27 | 0 | 0 | 0 |
| | 14. Výnosy z krátkodobého finančního majetku | 655 | 28 | 0 | 0 | 0 |
| | 15. Výnosy z dlouhodobého finančního majetku | 657 | 29 | 0 | 0 | 0 |
| C. | Výsledek hospodaření před zdaněním | | 38 | 81 | 2 164 | 2 245 |
| D. | Výsledek hospodaření po zdanění | | 40 | -205 | 2 164 | 1 959 |

| | |
|--|---|
| Předmět činnosti: vědecký výzkum | Datum sestavení: 9. 04. 2020 |
| Rozvahový den: 31. 12. 2019 | |
|  podpis a jméno sestavil |  RNDr. Michael Prouza, Ph.D. podpis a jméno odpovědné osoby |
| | Fyzikální ústav AV ČR Všeobecná výzkumná instituce 182 21 Praha 8, Na Slovance 2 - 1 - otisk razítka |



3.1.3.

Příloha k účetní závěrce v plném rozsahu k 31. 12. 2019

I. OBECNÉ ÚDAJE

1. Informace o účetní jednotce

Název: Fyzikální ústav AV ČR, v. v. i. (dále jen „FZÚ“)
DIČ: CZ68378271
Sídlo: Na Slovance 1999/2, 182 21 Praha 8
Právní forma: veřejná výzkumná instituce (dále jen „v. v. i.“)
Zřizovatel: Akademie věd České republiky, se sídlem Národní 1009/3, 117 20 Praha 1
Datum vzniku: 01. 01. 2007
Rozvahový den: 31. 12. 2019
Rozhodující předmět činnosti:

vědecký výzkum v oblasti fyziky, zejména fyziky elementárních částic, kondenzovaných systémů, plazmatu a optiky

Vznik a údaj o zápisu do rejstříku v. v. i.:

Pracoviště bylo zřízeno usnesením 26. zasedání prezidia Československé akademie věd ze dne 18. prosince 1953 s účinností od 1. ledna 1954 pod názvem Fyzikální ústav ČSAV. Ve smyslu § 18 odst. 2 zákona č. 283/1992 Sb. se stalo pracovištěm Akademie věd České republiky s účinností ke dni 31. prosince 1992.

Na základě zákona 341/2005 Sb., o veřejných vědeckých institucích se právní forma FZÚ dnem 1. ledna 2007 změnila ze státní příspěvkové organizace na veřejnou výzkumnou instituci. Zápis FZÚ do rejstříku v. v. i. byl proveden k 1. 1. 2007.

2. Organizační struktura instituce a její zásadní změny během účetního období

a) Organizačními útvary FZÚ jsou:

- centrální úsek,
- technicko-hospodářská správa (THS),
- vědecké sekce (6),
- výzkumná, podpůrná a administrativní oddělení,
- laboratoře a samostatné technické úseky.

b) Centrální úsek tvoří:

- interní auditor,
- BOZP a PO,
- sekretariát ředitele,
- vědecká knihovna Na Slovance,
- oddělení síťování a výpočetní techniky.

c) THS tvoří:

- oddělení personální a mzdové,
- oddělení finanční účtárny,
- oddělení provozní účtárny a rozpočtu,
- oddělení zásobování a dopravy,
- oddělení technicko-provozní,
- oddělení podpory THS.

d) Vědecká činnost FZÚ se provádí ve vědeckých sekcích

1. Sekce fyziky elementárních částic

Výzkumná oddělení:

- astročásticové fyziky,
- experimentální fyziky částic,
- teorie a fenomenologie částic,
- vývoje detektorů a zpracování dat.

2. Sekce fyziky kondenzovaných látek

Výzkumná oddělení:

- magnetických měření a materiálů,
- dielektrik,
- materiálové analýzy,
- funkčních materiálů,
- teorie kondenzovaných látek,
- chemie.

3. Sekce fyziky pevných látek

Výzkumná oddělení:

- polovodičů,
- spintroniky a nanoelektroniky,
- strukturní analýzy,
- magnetik a supravodičů,
- tenkých vrstev a nanostruktur,
- optických materiálů.

Podpůrná oddělení:

- vědecké knihovny v Cukrovarnické,
- mechanických dílen v Cukrovarnické.

Administrativní oddělení:

- technicko-hospodářských služeb v Cukrovarnické.

4. Sekce optiky

Výzkumná oddělení:

- analýzy funkčních materiálů,
- optických a biofyzikálních systémů,
- nízkoteplotního plazmatu,
- společná laboratoř optiky (SLO).

Podpůrné oddělení:

- optických a mechanických dílen Na Slovance.

5. Sekce výkonových systémů

Výzkumná oddělení:

- radiační a chemické fyziky,
- centrum HiLASE.

Podpůrná oddělení:

- technické podpory.

Oddělení 53, Centrum HiLASE, se nachází v Dolních Břežanech. Jeho mezinárodní tým se zabývá vývojem laserových technologií pro aplikační sektor, zejména high-tech průmysl. Výzkumné centrum získalo v roce 2016 prestižní projekt HiLASE Centre of Excellence v rámci historicky první výzvy programu Evropské

komise Horizon 2020 "WIDESPREAD Teaming". V roce 2019 pokračovala realizace tohoto společného projektu FZÚ a UK RI - Science and Technology Facilities Council (STFC) z Velké Británie. Cílem je přeměnit HiLASE do roku 2022 na Centrum Excellence v oblasti aplikačně orientovaného laserového výzkumu a vývoje. V partnerství s STFC dochází k modernizaci stávajících laserových technologií centra a k rozšíření nabídky VaV služeb pro externí uživatele podle jejich skutečných potřeb. Dalším cílem je zajištění dlouhodobé finanční stability centra založené na kvalitním managementu, vícezdrojovém financování a otevřenosti vůči uživatelům z řad vědecko-výzkumných institucí a high-tech průmyslu. Vedle tohoto klíčového projektu Centrum HiLASE v roce 2019 současně realizovalo v rámci svého projektového portfolia dalších cca 20 projektů financovaných z národních a mezinárodních grantů. Kromě projektů financovaných z veřejných zdrojů je patrný rostoucí trend v získávání a realizaci zakázek smluvního výzkumu, přičemž se v roce 2019 podařilo zasloužit projekty v hodnotě přes 10 milionů Kč.

9. Sekce realizace projektu ELI Beamlines

Výzkumná oddělení:

- systémového inženýrství,
- laserových systémů
- experimentálních programů

Podpůrná oddělení:

- financování a monitoringu,
- konstrukční a projekční podpory
- akvizic a logistiky,
- řízení projektu
- transferu technologií.

V roce 2019 byla dokončena instalace laserového systému L4 bez kompresoru, instalace kompresoru bude probíhat v roce 2020. Zároveň byl zahájen uživatelský provoz v experimentální hale E1 na všech experimentálních stanicích.

Probíhá realizace čtyř projektů financovaných z OPVVV – ADONIS, ELIBIO, HIFI, ELITAS. Projekt ELITAS byl v roce 2019 úspěšně ukončen a čekáme na vypořádání závěrečné zprávy. Ostatní projekty jsou v realizaci do roku 2022.

Zároveň byla dokončena část instalací beam-transportu laserového svazku L3 do experimentálních hal, aby v průběhu roku 2020 mohly být experimentální stanice nabízeny pro uživatelské experimenty.

3. Jména a příjmení členů statutárních orgánů ke konci účetního období:

| Jméno a příjmení | funkce |
|--------------------------------|-----------------|
| RNDr. Michael Prouza, Ph.D. | ředitel |
| | Rada FZÚ |
| doc. Ing. Martin Nikl, CSc. | předseda |
| Ing. Tomáš Mocek, Ph.D. | místopředseda |
| RNDr. Antonín Fejfar, CSc. | interní člen |
| Ing. Alexander Dejneka, Ph.D. | interní člen |
| RNDr. Stanislav Kamba, CSc. | interní člen |
| Mgr. Jindřich Kolorenč, Ph.D. | interní člen |
| RNDr. Jiří J. Mareš, CSc. | interní člen |
| prof. Jan Řídký, DrSc. | interní člen |
| prof. Ing. Pavel Lejček, DrSc. | interní člen |

| | |
|------------------------------------|-------------------------|
| RNDr. Michael Prouza, Ph.D. | interní člen |
| doc. RNDr. Zdeněk Doležal, Dr. | externí člen |
| Mgr. Jindřich Houžvička, Ph.D. | externí člen |
| doc. RNDr. František Chmelík, CSc. | externí člen |
| prof. RNDr. Zdeněk Samec, DrSc. | externí člen |
| Ing. Oldřich Schneeweiss, DrSc. | externí člen |
| RNDr. Jiří Rameš, CSc. | tajemník |
| | Dozorčí rada FZÚ |
| doc. Ing. Luboš Náhlík, Ph.D. | Předseda |
| Ing. Ivan Gregora, CSc. | místopředseda |
| prof. Ing. Tomáš Čechák, CSc. | člen |
| RNDr. Vladimír Wagner, CSc. | člen |
| Ing. Jiří Plešek, CSc. | člen |
| prof. RNDr. Ladislav Skrbek, DrSc. | člen |
| Ing. Miroslav Hořejší | tajemník |

Člen Rady FZÚ Mgr. Jindřich Houžvička, Ph.D., je současně jednatelem společnosti Crytur, s. r. o., IČ 25296558, s níž FZÚ uzavřel v roce 2019 několik obchodních smluv, resp. objednávek (dodavatelských i odběratelských), z nichž celkové plnění představuje 3 348 000 Kč včetně DPH. Rodinný příslušník člena Rady FZÚ prof. Jana Řídkého, DrSc. realizoval pro FZÚ grafické práce za 10 300,- Kč včetně DPH. Místopředseda Dozorčí rady Ing. Ivan Gregora, CSc., fakturoval FZÚ jazykové korektury a překlady za celkem 66 000 Kč včetně DPH.

Kromě výše uvedených skutečností vedení FZÚ není známo, že by některý ze členů řídicích, kontrolních orgánů a jejich rodinných příslušníků měl účast v osobách, s nimiž organizace uzavřela za účetní období roku 2019 obchodní smlouvy nebo jiné smluvní vztahy. Členům řídicích a kontrolních orgánů organizace nebyly poskytnuty v účetním období 2019 žádné zálohy, závdavky nebo úvěry.

II. INFORMACE O POUŽITÝCH ÚČETNÍCH METODÁCH, OBECNÝCH ÚČETNÍCH ZÁSADÁCH A ZPŮSOBECH OCEŇOVÁNÍ

1. Obecné účetní zásady

Při vedení účetnictví a sestavování účetní závěrky postupoval FZÚ v souladu se zákonem 563/1991 Sb., o účetnictví ve znění pozdějších předpisů, vyhláškou 504/2002 Sb., kterou se provádějí některá ustanovení zákona č. 563/1991 Sb., o účetnictví, ve znění pozdějších předpisů, pro účetní jednotky, u kterých hlavním předmětem činnosti není podnikání, pokud účtují v soustavě podvojného účetnictví a českých účetních standardů č. 401 – 414, pro účetní jednotky, které účtují podle vyhlášky 504/2002 Sb. ve znění pozdějších předpisů, a to v plném rozsahu za použití informačního systému iFIS firmy BBM spol. s r. o.

FZÚ je měsíčním plátcem DPH s předmětem činnosti hlavní a jiná. Účetním obdobím je kalendářní rok. Součástí všech dokladů je záznam o účtování a podpis odpovědných osob. Všechny doklady jsou řádně archivovány.

| | |
|----------------------|---|
| Vedené agendy | |
| Účetnictví | |
| Finance | pokladna, banka, závazky, pohledávky, DPH |
| Majetek | |
| Zásoby | |

2. Způsoby oceňování

| Druhy aktiv | Způsob ocenění |
|------------------------------------|-----------------------------|
| Materiál, zásoby | pořizovací cena |
| Nedokončená výroba | vlastní náklady |
| Výrobky | vlastní náklady |
| DHM nakoupený | pořizovací cena |
| DHM vytvořený vlastní činností | vlastní náklady |
| DNM nakoupený | pořizovací cena |
| Bezplatně získaný DHM | reprodukční pořizovací cena |
| Cenné papíry a majetkové účasti | reálná hodnota |
| Deriváty | reálná hodnota |
| Pohledávky | jmenovitá hodnota |
| Finanční majetek (pokladna, banka) | jmenovitá hodnota |

FZÚ je vlastníkem 34% podílu ve společnosti CARDAM, s. r. o. v hodnotě 340 000,- Kč.

CARDAM s. r. o., IČ: 05437032, se sídlem v Dolních Břežanech, Pražská 636, PSČ 252 41 byla zapsána do obchodního rejstříku 30. 9. 2016. Předmětem podnikání je výroba, obchod a služby neuvedené v přílohách č. 1 až 3 živnostenského zákona a dále vývoj zbraní. Dalšími společníky se stejným podílem 33 % jsou Česká zbrojovka, a. s., IČ: 463 45 965 a společnost BENEŠ a LÁT a. s., IČ 257 24 304. Dle konečných výkazů společnost CARDAM s.r.o. vykazuje za rok 2019 zisk ve výši 68 tis. Kč a vlastní kapitál ve výši 2019 tis. Kč

3. Druhy nákladů souvisejících s pořízením zásob

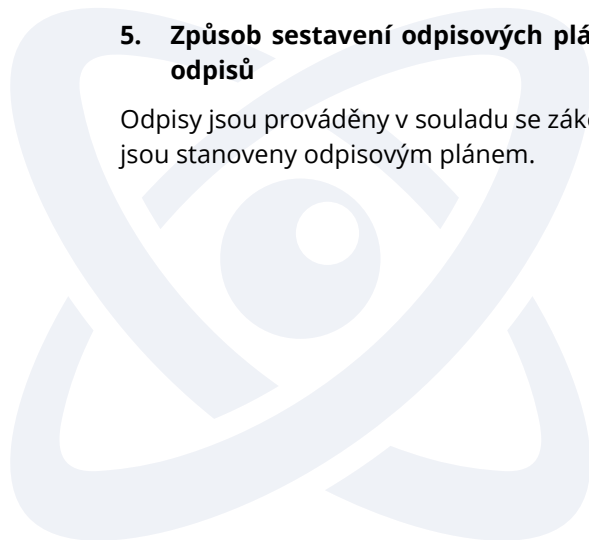
Doprava, clo, DPH, pojistné, provize apod.

4. Způsob stanovení opravných položek k majetku

FZÚ k datu účetní závěrky nevykazuje.

5. Způsob sestavení odpisových plánů pro DM a použité odpisové metody při stanovení odpisů

Odpisy jsou prováděny v souladu se zákonem č. 563/1991 Sb., o účetnictví. Použité odpisové sazby jsou stanoveny odpisovým plánem.



| Druh majetku | Odpis. skupina | Roční odpis v % předmětů pořízených před rokem 2002 | Roční odpis v % předmětů pořízených po roce 2002 | Roční odpis v % předmětů pořízených po roce 2009 | Roční odpis v % předmětů pořízených po roce 2015 | Roční odpis v % předmětů pořízených po roce 2018 |
|---|----------------|---|--|--|--|--|
| Software | | 20 | 20 | 33,33 | | |
| Stavby | | 1,99 | 1,99 | 1,99 | | |
| Auta a příslušenství | 1 | 10 | 10 | 16,66 | | |
| Auta a příslušenství | 2 | 8 | 8 | 10 | | |
| Auta a příslušenství | 3 | 2,5 | 5 | 5 | | |
| Výpočetní technika | | 11,15 | 9,3 | 33,33 | | |
| Přístroje | 1 | 6 | 4,25 | 16,66 | | 33,33 |
| Přístroje | 2 | 3,5 | 2,75 | 12,5 | | 20,0 |
| z toho: optická laserová zařízení | 2 | | | 14,28 | 14,28 | |
| | 2* | | | 14,28 | 10 | |
| | 2* | | | 14,28 | 6,67 | |
| | 2* | | | 14,28 | 5 | |
| Přístroje | 3 | 2,5 | 2,5 | 10 | | |
| Přístroje | 4 | 2 | 2 | 8,33 | | |
| Pracovní stroje | 2 | 3,5 | 2,75 | 10 | | |
| Pracovní stroje | 3 | 2,5 | 2,5 | 8,33 | | |
| Inventář | 1 | 6 | 6 | 16,66 | | |
| Inventář | 2 | 3,5 | 2,75 | 10 | | |
| Inventář | 3 | 2,5 | 2,5 | 8,33 | | |
| Ocenitelná práva | | | 16,67 | 16,67 | | |
| * Optická pulsní laserová zařízení pořízená po roce 2018 jsou zaříděna do 3 kategorií v závislosti na energii a výkonu s různou dobou upotřebitelnosti. Kategorie 1, 10 let, kategorie 2, 15 let a kategorie 3, 20 let. | | | | | | |

6. Způsob uplatněný při přepočtu údajů v cizích měnách na českou měnu

FZÚ používá pro ocenění majetku a závazků v zahraniční měně denní kurz ČNB. V průběhu roku se účtuje pouze o realizovaných kurzových ziscích a ztrátách. Aktiva a pasiva v zahraniční měně jsou k rozvahovému dni přepočítávány podle oficiálního kurzu ČNB k 31. 12. daného roku. Kurzové rozdíly z ocenění finančních účtů, pohledávek, závazků, úvěrů a finančních výpomocí se účtují k datu účetní závěrky výsledkově na účet kurzových rozdílů.

7. Podstatné změny způsobů oceňování oproti předchozímu účetnímu období

Od roku 2012 je zavedena metodika Full Cost jako nezbytná podmínka realizace projektů ELI Beamlines a HiLASE. Pro použití v roce 2019 byly dle platné metodiky využity vstupní údaje roku 2018.

8. Podstatné změny způsobů oceňování oproti požadavkům § 24-27, zákon 563/1991 Sb., o účetnictví

Způsoby oceňování odpovídají požadavkům zákona o účetnictví.

9. Podstatné změny způsobů odpisování oproti požadavkům § 28, zákon 563/1991 Sb., o účetnictví

Způsoby odpisování odpovídají požadavkům zákona o účetnictví.

10. Podstatné změny postupů účtování oproti požadavkům § 4, zákon 563/1991 Sb., o účetnictví

Postupy účtování odpovídají požadavkům zákona o účetnictví.

III. DOPLŇUJÍCÍ INFORMACE K ROZVAZE A VÝKAZU ZISKU A ZTRÁTY (ÚDAJE JSOU V TISÍCÍCH KČ)

1. Účet 022 - Samostatné movité věci a soubory movitých věcí a 082 - Oprávky k samostatným movitým věcem

| Skupina majetku | 2019 | | | 2018 | | |
|------------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| | Vstupní cena | Oprávky | Zůstatková cena | Vstupní cena | Oprávky | Zůstatková cena |
| Celkem, z toho: | 6 525 180 | 2 193 748 | 4 331 432 | 4 155 456 | 1 549 053 | 2 606 403 |
| Dopr. prostředky | 8 478 | 4 335 | 4 143 | 7 444 | 3 724 | 3 720 |
| Inventář | 10 499 | 3 962 | 6 537 | 10 248 | 2 944 | 7 304 |
| Předměty z drahých kovů | 14 407 | 13 053 | 1 354 | 14 407 | 12 852 | 1 555 |
| Stroje, přístroje a zařízení | 6 252 641 | 1 985 048 | 4 268 048 | 3 946 004 | 1 408 834 | 2 537 170 |
| Výpočetní technika | 239 155 | 187 350 | 51 350 | 177 353 | 120 699 | 56 654 |

2. Dlouhodobý nehmotný majetek

| Skupina majetku | 2019 | | | 2018 | | |
|-----------------------|---------------|---------------|-----------------|---------------|---------------|-----------------|
| | Vstupní cena | Oprávky | Zůstatková cena | Vstupní cena | Oprávky | Zůstatková cena |
| Celkem, v tom: | 78 551 | 65 550 | 13 001 | 74 843 | 57 215 | 17 628 |
| Ocenitelná práva | 2 512 | 2 464 | 48 | 2 512 | 2 440 | 72 |
| Software | 76 039 | 63 086 | 12 953 | 72 331 | 54 775 | 17 556 |

3. Nedokončený dlouhodobý majetek

| Skupina majetku | 2019 | | | |
|-----------------------------------|------------------|----------------|------------------|--------------------|
| | Stav k 1. 1. | Pořízeno | Zařazeno | Zůstatek k 31. 12. |
| Celkem, v tom | 2 749 976 | 774 534 | 2 493 618 | 1 030 892 |
| Nedok. dl. nehmotný majetek (041) | 1 580 | 3 394 | 4 060 | 914 |
| Nedok. dl. hmotný majetek (042) | 2 748 396 | 771 140 | 2 489 558 | 1 029 978 |

4. Přehled přírůstků a úbytků dlouhodobého majetku dle skupin

| Skupina majetku | 2019 | | | |
|---|--------------|-----------|-----------|--------------------|
| | Stav k 1. 1. | Pořízeno | Vyřazeno | Zůstatek k 31. 12. |
| Software | 72 331 | 5 751 | 2 043 | 76 039 |
| Ocenitelná práva | 2 512 | 0 | 0 | 2 512 |
| Drobný dlouhodobý nehmotný majetek | 3 558 | 0 | 192 | 3 366 |
| Nedok. dlouhodobý nehmotný majetek | 1 580 | 3 394 | 4 060 | 914 |
| Pozemky | 276 508 | 0 | 0 | 276 508 |
| Stavby | 2 857 166 | 75 554 | 577 | 2 932 143 |
| Dopravní prostředky | 7 444 | 1 034 | 0 | 8 478 |
| Inventář | 10 248 | 259 | 8 | 10 499 |
| Předměty z drahých kovů | 14 407 | 0 | 0 | 14 407 |
| Stroje, přístroje a zařízení | 3 946 004 | 2 335 035 | 28 398 | 6 252 641 |
| Výpočetní technika | 177 353 | 79 342 | 17 540 | 239 155 |
| Drobný dlouhodobý hmotný majetek | 55 888 | 0 | 7 843 | 48 045 |
| Nedok. dlouhodobý hmotný majetek | 2 748 396 | 771 140 | 2 489 558 | 1 029 978 |
| Poskytnuté zálohy na dlouh. hm. majetek | 1 642 | 67 907 | 34 746 | 34 803 |

5. Souhrnná výše majetku neuvedená v rozvaze

| Skupina majetku | Analytický účet | Zůstatek k 31. 12. |
|------------------------------------|-----------------|--------------------|
| Drobný dlouhodobý nehmotný majetek | 9712 | 18 523 |
| Drobný dlouhodobý hmotný majetek | 9711 | 301 504 |

6. Pohledávky

| Pohledávky po lhůtě splatnosti | Částka |
|---------------------------------------|---------------|
| do 30 dnů | 1 189 |
| 31-90 dnů | 2 |
| 91-180 dnů | 0 |
| nad 180 dnů | 90 |

| Pohledávky kryté podle zástavního práva |
|--|
| FZÚ k datu účetní uzávěrky nevykazuje. |

| Opravné položky |
|--|
| FZÚ k datu účetní uzávěrky nevykazuje. |

7. Jmění

| Jmění | Částka |
|--------------------------------------|---------------|
| Jmění celkem | 8 909 971 |
| z toho: vlastní jmění | 8 344 528 |
| fondy | 566 354 |
| Oceňovací rozdíl finančních derivátů | -911 |

8. Rozdělení zisku za minulé účetní období

| Rozdělení zisku za minulé účetní období | Částka |
|--|---------------|
| Příděl do rezervního fondu | 2 403 |
| Příděl do fondu reprodukce majetku | 0 |

9. Závazky

| Dlouhodobé závazky |
|--|
| FZÚ k datu účetní uzávěrky nevykazuje. |

| Krátkodobé závazky | Částka |
|--|---------------|
| K dodavatelům | 20 040 |
| Přijaté zálohy | 504 |
| K zaměstnancům | 45 343 |
| K institucím sociálního zabezpečení a veř. zdravotního pojištění | 23 056 |
| Daň z příjmů ze závislé č. za zaměstnance | 9 098 |
| DPH | 11 202 |
| Daň z příjmů PO | 0 |
| Ostatní daně | 4 |
| Závazky ze vztahu k SR | 253 601 |
| Jiné závazky | 861 |

| | |
|-----------------|-----|
| Dohadné položky | 292 |
|-----------------|-----|

Na účtu závazky ke SR jsou evidovány zálohy na provozní dotace přijaté v roce 2019.

FZÚ eviduje na účtech pouze splatné závazky pojistného na sociální zabezpečení a příspěvků na státní politiku zaměstnanosti a splatných závazků veřejného pojištění.

FZÚ nemá žádné nedoplatky u místně příslušného FÚ.

| Závazky lhůtě splatnosti | Částka |
|--------------------------|--------|
| do 30 dnů | 887 |
| 31-90 dnů | 0 |
| 91-180 dnů | 0 |
| nad 180 dnů | 0 |
| nad 360 dnů | 0 |

FZÚ neeviduje dluhy vzniklé v daném účetním období, kde doba splatnosti k 31. 12. 2019 přesahuje 5 let.

Všechny finanční a jiné dluhy jsou obsaženy v rozvaze.

| |
|---|
| Závazky kryté podle zástavního práva |
| FZÚ k datu účetní uzávěrky nevykazuje. |

10. Krátkodobé a dlouhodobé bankovní úvěry

FZÚ k datu účetní závěrky nevykazuje.

11. Finanční leasing

FZÚ k datu účetní závěrky nevykazuje.

12. Nepeněžitě závazky a jiná plnění neuvedené v účetnictví

FZÚ k datu účetní závěrky nevykazuje.

13. Výnosy z běžné činnosti

| Výnosy celkem | Hlavní činnost | Jiná činnost |
|--|----------------|--------------|
| Provozní institucionální dotace na výzkum od zřizovatele AV ČR celkem | 434 406 | 0 |
| Provozní účelové dotace na výzkum od poskytovatelů z ČR mimo zřizovatele | 890 941 | 0 |
| Dotace, granty a dary na výzkum ze zahraničí * | 58 709 | 0 |
| Tržby za výrobky a poskytnuté služby | 4 705 | 4 225 |
| Aktivace vnitroorganizačních složek | 0 | 0 |
| Smluvní pokuty a penále | 1 334 | 0 |
| Úroky | 4 623 | 0 |
| Kurzové zisky | 1 158 | 10 |
| Zúčtování fondů | 99 253 | 0 |
| z toho: RF | 2 049 | 0 |

| | | |
|--|---------|-------|
| sociální fond | 13 400 | 0 |
| FÚUP | 83 804 | 0 |
| Jiné provozní výnosy | 766 481 | 4 000 |
| z toho: nájemné, výnosy z konferencí, jiné ostatní výnosy | 15 651 | 4 000 |
| zúčtování poměrné části odpisů | 750 830 | 0 |
| Tržby z prodeje dlouhodobého majetku | 566 | 0 |
| * Užití provozní dotace, granty a dary na výzkum od poskytovatelů ze zahraničí jsou vykazovány ve Výkazu zisku a ztráty, položka B.IV.9, Zúčtování fondů | | |

14. Osobní náklady

| Informace | Počet/Částka |
|--|--------------|
| Průměrný počet zaměstnanců | 1104 |
| z toho: řídicích | 9 |
| Výše osobních nákladů na zaměstnance v tis. Kč | 970 282 |
| z toho: na řídicí pracovníky | 19 493 |
| hrubé mzdy pracovníků (bez OON) | 667 695 |
| OON | 16 091 |
| sociální a zdravotní pojištění | 232 464 |
| příděl do sociálního fondu | 13 754 |
| ostatní čerpání sociálního fondu | 20 469 |
| odměny Radě ústavu | 186 |
| odměny Dozorčí radě | 130 |

15. Významné položky výkazu zisku a ztráty

FZÚ k datu účetní závěrky nevykazuje.

16. Propojené a spřízněné osoby

FZÚ vykazuje pouze půjčky zaměstnancům ve výši 628 000 Kč.

17. Půjčky, záruky a ostatní plnění poskytnutá členům orgánů FZÚ včetně bývalých členů

FZÚ k datu účetní závěrky nevykazuje.

18. Pohledávky vůči propojeným osobám

FZÚ k datu účetní závěrky nevykazuje.

19. Závazky vůči propojeným osobám

FZÚ k datu účetní závěrky nevykazuje.

20. Významné položky, které jsou ve výkazech kompenzovány s jinými položkami

FZÚ k datu účetní závěrky nevykazuje.

21. Události mezi rozvahovým dnem a datem sestavení závěrky

FZÚ k datu účetní závěrky nenastaly.

22. Přijaté dary a veřejné sbírky

FZÚ k datu účetní závěrky nepřijal finanční dary ani veřejné sbírky.

23. Poskytnuté dary

FZÚ k datu účetní závěrky neposkytl žádné dary jiným subjektům.

24. Dotace

| Poskytovatel | Částka |
|---|------------------|
| AV ČR - podpora činnosti pracoviště AV a VO | 386 738 |
| AV ČR - příspěvek na zajištění činnosti | 47 668 |
| GA ČR | 89 897 |
| Projekty ostatních resortů | 710 559 |
| TA ČR | 21 145 |
| Projekty - FZÚ je spolupříjemce | 69 187 |
| Ostatní | 152 |
| Celkem | 1 325 346 |

Přijaté prostředky na investice

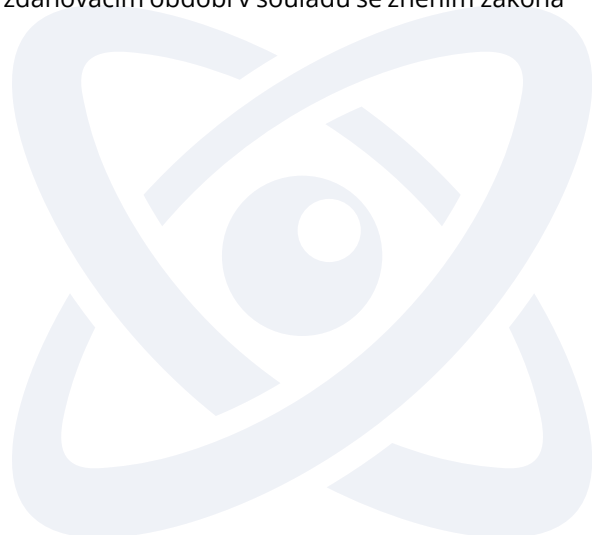
| Poskytovatel | Částka |
|---|------------------|
| AV ČR - podpora činnosti VO | 180 000 |
| AV ČR - příspěvek na zajištění činnosti | 174 729 |
| GA ČR | 830 |
| Projekty ostatních resortů | 660 746 |
| Dotace mimorozpočtové ostatní | 2 447 |
| Celkem | 1 018 752 |

25. Daňová povinnost

Za rok 2019 činí daňová povinnost FZÚ 615 000 Kč.

Způsob zajištění základu daně podle zákona o dani z příjmů dle platného znění.

Organizace použila daňové úlevy v předcházejícím zdaňovacím období v souladu se zněním zákona o dani z příjmů.



26. Ostatní

Odměna auditora za povinný audit roční účetní závěrky včetně ověření výroční zprávy za rok 2019 činí 140 360 Kč včetně DPH.

Datum sestavení: 9. 4. 2020

Ing. Eva Ševčíková



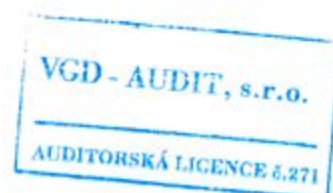
.....
podpis a jméno autora zprávy

RNDr. Michael Prouza, Ph.D.



.....
podpis a jméno odpovědné osoby
otisk razítka

Fyzikální ústav AV ČR
veřejná výzkumná instituce
182 21 Praha 8, Na Slovence 2
- 1 -



3.1.4 Předpokládaný vývoj pracoviště*

Výzkumná činnost pracoviště bude probíhat v souladu s projekty, na nichž se pracoviště podílí. Důraz bude kladen na další prohloubení mezinárodní spolupráce, do níž je zapojena většina pracovních skupin. Z hlediska dlouhodobější perspektivy je také důležité dále rozšiřovat experimentální infrastrukturu ústavu a dále rozvíjet spolupráci s vysokými školami. Důraz bude kladen na řádné začlenění administrativních činností spojených s projekty financovanými z evropských fondů tak, aby nedošlo k narušení probíhajících badatelských aktivit.

3.1.5 Aktivity v oblasti pracovněprávních vztahů*

Během celého roku 2019 byl významně aktualizován aplikační portál mzdy.fzu.cz. V rámci aplikace jsou dále zpracovávána data ze stávajícího personálního systému. Aplikace je využívána zejména pro tvorbu personálních a mzdových rozpočtů, statistik.

Současně v roce 2019 ve FZU pokračovala realizace aktivit na projektu HR Award. Počátkem roku došlo k úpravám Akčního plánu (jako součásti žádosti o udělení ocenění HR Excellence in Research Award a dalších doplňujících dokumentů). V dubnu 2019 bylo Evropskou komisí FZU uděleno ocenění HR Excellence in Research Award. Získání tohoto ocenění potvrzuje, že FZU směřuje úspěšně k nastavení pracovních podmínek a pracovního prostředí tak, že po skončení implementační fáze bude možné deklarovat srovnatelné podmínky, jako mají jiné mezinárodní vědecké instituce.

V průběhu celého roku docházelo k naplňování jednotlivých kroků Akčního plánu a zároveň Studie proveditelnosti projektu. Jednotlivé kroky probíhaly v součinnosti Řídící komise, Pracovní skupiny pro HRS4R a Implementačních týmů. Implementační týmy (v nichž jsou zastoupeny všechny kategorie zaměstnanců – vědečtí, administrativní i techničtí) odpovídají za implementaci čtyř oblastí témat z Akčního plánu, která se týkají řízení lidských zdrojů, interní komunikace, pracovních podmínek a oblasti PR. Týmy se pravidelně scházejí a jsou i nadále přístupné všem novým zájemcům o spolupráci. Pracují otevřeně a pomocí svých členů by měly přinášet nové podněty pro nastavování vnitřních procesů tak, aby byly pro organizaci a její zaměstnance transparentní, jednotné a efektivní.

V roce 2019 vznikla například zásadní strategie a metodika upravující oblast nábory a výběru zaměstnanců (plně v souladu s Evropskou chartou pro výzkumné pracovníky a Kodexem chování pro přijímání výzkumných pracovníků) a začaly být postupně popisovány a implementovány postupy pro úspěšnou adaptaci nových kolegů.

Významně se také pokročilo v oblasti pracovních podmínek. Byly vytvořeny interní směrnice podporující sladování pracovního a soukromého života. V oblasti pracovního prostředí došlo k úpravám vedoucím k jeho postupnému zkvalitňování, a to na všech pracovištích FZU.

V oblasti interní komunikace byla podpořena zejména informovanost o některých procesech a informačních kanálech. Hlavním cílem a snahou je zefektivnění a zkvalitnění těchto procesů. Do anglického jazyka byla přeložena řada interních dokumentů, čímž se výrazně podpořila jejich srozumitelnost pro zahraniční kolegy.

V průběhu celého roku probíhalo vzdělávání v oblasti tzv. měkkých dovedností, jazyková příprava i odborné vzdělávání podle plánu vzdělávání.

V polovině roku 2019 byla podána úspěšná žádost v rámci OP VVV (projekt Strategická tvorba intenzivního rozvoje kapacit FZU – Stimul). Její součástí je i kapitola Strategické nastavení a rozvoj lidských zdrojů, genderové rovnosti a řízení výzkumné organizace. Realizace toho projektu umožní dotvořit ucelený systém personálního řízení, včetně podpory kariérního rozvoje a nastavení rovných podmínek v organizaci.

* Údaje požadované dle §21 zákona 563/1991 Sb., o účetnictví, ve znění pozdějších předpisů.

3.1.6 Aktivity v oblasti ochrany životního prostředí*

Trvalý dohled nad veškerými zdroji ionizujícího záření zajišťuje SÚJB Regionální centrum Praha.

Zkoušky dlouhodobé stability RTG přístrojů provádí Ing. Jiří Kolařík, Hodonín.

Zkoušky dlouhodobé stability uzavřených radionuklidových záříčů provádí firma ISOTREND spol. s r.o., Praha.

Nebezpečný odpad vzniklý ve FZÚ odváží a následně zajišťuje likvidaci odborná firma ECO VITA s.r.o., Zlatá Olešnice. Tato firma zajišťuje průběžně každý měsíc likvidaci nebezpečného odpadu z nádob pro tento odpad určených. Bioodpad se soustřeďuje ve speciálních nádobách a jednou za čtrnáct dní je výše uvedenou firmou odvezen a zlikvidován. Firma pravidelně 2x ročně provádí svoz a likvidaci nebezpečných látek a jejich obalů. Zpracovává veškerou administrativu týkající se této oblasti a zajišťuje včasné podání všech hlášení do databáze Ministerstva životního prostředí ČR. Provádí také školení zaměstnanců o nakládání s nebezpečným odpadem a bioodpadem.

Nepotřebné tlakové nádoby určené k přepravě plynů likviduje firma Pražské služby, a.s., Pod šancemi 444/1, Praha.

FZÚ dbá na důsledné třídění odpadu. Sběr plastů je soustředěn do nádob k tomu určených. Odvoz a likvidaci zajišťuje společnost FCC Česká republika, s.r.o., Praha a firma Pražské služby a.s. Praha.

3.1.7 Zpráva o poskytování informací za období od 1. 1. – 31. 12. 2019**

| | | |
|---|---|--|
| 1. Počet podaných žádostí o informace | 2 | |
| 2. Počet vydaných rozhodnutí o odmítnutí informace | 0 | |
| 3. Počet podaných odvolání proti rozhodnutí | 0 | |
| 4. Opis podstatných částí každého rozsudku soudu ve věci odmítnutí žádosti | | Nebyl vydán žádný rozsudek soudu. |
| 5. Výsledky řízení o sankcích za nedodržování zákona bez uvádění osobních údajů | | Nebylo vedeno žádné sankční řízení. |
| 6. Výčet poskytnutých výhradních licencí včetně odůvodnění nezbytností poskytnutí výhradní licence | | Nebyla podána žádná žádost o informaci, která by byla předmětem ochrany autorského práva a vyžadovala by poskytnutí licence. |
| 7. Počet stížností podaných podle § 16a, důvody jejich podání a stručný popis způsobu jejich vyřízení | | Nebyla podána žádná stížnost. |
| 8. Další informace vztahující se k uplatňování zákona | 0 | |

** Údaje požadované dle § 18 odst. 1 zákona č. 106/1999 Sb., o svobodném přístupu k informacím, a ve znění pozdějších předpisů.

3.1.8.



ZPRÁVA NEZÁVISLÉHO AUDITORA

o ověření účetní závěrky za období
od 1. ledna 2019 do 31. prosince 2019
organizace

Fyzikální ústav AV ČR, v.v.i.

BELGIUM - BULGARIA - CZECH REPUBLIC - GERMANY - HUNGARY - LUXEMBOURG - NETHERLANDS - POLAND - RUSSIA - SLOVAK REPUBLIC

vgd.eu

VGD - AUDIT, s.r.o. - Chrástváská 273/30, 460 01, Liberec, - T: +420 485 104 158 - F: +420 485 104 201
sídl: Bělehradská 18, 140 00, Praha 4 - IČ: 63145871 Společnost zapsaná v obchodním rejstříku ve-
deném Městským soudem v Praze, oddíl C, vložka 84866 a v seznamu auditorských společností
vedeným Komorou auditorů v České republice pod číslem oprávnění 271



Zpráva nezávislého auditora pro vedení organizace Fyzikální ústav AV ČR, v.v.i.

Název organizace: Fyzikální ústav AVČR, v.v.i.
 Sídlo organizace: Na Slovance 1999/2, Praha 8, 182 21
 Identifikační číslo: 68378271
 Právní forma: veřejná výzkumná instituce

Výrok auditora

Provedli jsme audit přiložené účetní závěrky organizace Fyzikální ústav AVČR, v.v.i. (dále také „Organizace“) sestavené na základě českých účetních předpisů, která se skládá z rozvahy k 31. prosinci 2019, výkazu zisku a ztráty, za rok končící 31. prosince 2019 a přílohy této účetní závěrky, která obsahuje popis použitých podstatných účetních metod a další vysvětlující informace. Údaje o Organizaci jsou uvedeny v příloze této účetní závěrky.

Podle našeho názoru účetní závěrka podává věrný a poctivý obraz aktiv a pasiv Organizace k 31. prosinci 2019 a nákladů a výnosů a výsledku jejího hospodaření za rok končící 31. prosince 2019 v souladu s českými účetními předpisy.

Základ pro výrok

Audit jsme provedli v souladu se zákonem o auditorech a standardy Komory auditorů České republiky (KA ČR) pro audit, kterými jsou mezinárodní standardy pro audit (ISA) případně doplněné a upravené souvisejícími aplikačními doložkami. Naše odpovědnost stanovená těmito předpisy je podrobněji popsána v oddílu Odpovědnost auditora za audit účetní závěrky. V souladu se zákonem o auditorech a Etickým kodexem přijatým Komorou auditorů České republiky jsme na Organizaci nezávislí a splnili jsme i další etické povinnosti vyplývající z uvedených předpisů. Domníváme se, že důkazní informace, které jsme shromáždili, poskytují dostatečný a vhodný základ pro vyjádření našeho výroku.

Ostatní informace uvedené ve výroční zprávě

Ostatními informacemi jsou v souladu s § 2 písm. b) zákona o auditorech informace uvedené ve výroční zprávě mimo účetní závěrku a naši zprávu auditora. Za ostatní informace odpovídá statutární orgán.

Náš výrok k účetní závěrce se k ostatním informacím nevztahuje. Přesto je však součástí našich povinností souvisejících s ověřením účetní závěrky seznámení se s ostatními informacemi a posouzení, zda ostatní informace nejsou ve významném (materiálním) nesouladu s účetní závěrkou či s našimi znalostmi o účetní jednotce získanými během ověřování účetní závěrky nebo zda se jinak tyto informace nejeví jako významně (materiálně) nesprávné. Také posuzujeme, zda ostatní informace byly ve všech významných (materiálních) ohledech vypracovány v souladu s příslušnými právními předpisy. Tímto posouzením se rozumí, zda ostatní informace splňují požadavky právních předpisů na formální náležitosti a postup vypracování ostatních informací v kontextu významnosti (materiality), tj. zda případné nedodržení uvedených požadavků by bylo způsobilé ovlivnit úsudek činěný na základě ostatních informací.

Na základě provedených postupů, do míry, již dokážeme posoudit, uvádíme, že

- ostatní informace, které popisují skutečnosti, jež jsou též předmětem zobrazení v účetní závěrce, jsou ve všech významných (materiálních) ohledech v souladu s účetní závěrkou a
- ostatní informace byly vypracovány v souladu s právními předpisy.

Dále jsme povinni uvést, zda na základě poznatků a povědomí o Organizaci, k nimž jsme dospěli při provádění auditu, ostatní informace neobsahují významné (materiální) věcné nesprávnosti. V rámci uvedených postupů jsme v obdržených ostatních informacích žádné významné (materiální) věcné nesprávnosti nezjistili.

Odpovědnost statutárního orgánu Organizace za účetní závěrku

Statutární orgán Organizace odpovídá za sestavení účetní závěrky podávající věrný a poctivý obraz v souladu s českými účetními předpisy, a za takový vnitřní kontrolní systém, který považuje za nezbytný pro sestavení účetní závěrky tak, aby neobsahovala významné (materiální) nesprávnosti způsobené podvodem nebo chybou.

Při sestavování účetní závěrky je statutární orgán Organizace povinen posoudit, zda je Společnost schopna nepřetržitě trvat, a pokud je to relevantní, popsat v příloze účetní závěrky záležitosti týkající se jejího nepřetržitého trvání a použití předpokladu nepřetržitého trvání při sestavení účetní závěrky, s výjimkou případů, kdy statutární orgán plánuje zrušení Organizace nebo ukončení její činnosti, resp. kdy nemá jinou reálnou možnost než tak učinit.

Za dohled nad procesem účetního výkaznictví v Organizaci odpovídá statutární orgán.

Odpovědnost auditora za audit účetní závěrky

Naším cílem je získat přiměřenou jistotu, že účetní závěrka jako celek neobsahuje významnou (materiální) nesprávnost způsobenou podvodem nebo chybou a vydat zprávu auditora obsahující náš výrok. Přiměřená míra jistoty je velká míra jistoty, nicméně není zárukou, že audit provedený v souladu s výše uvedenými předpisy ve všech případech v účetní závěrce odhalí případnou existující významnou (materiální) nesprávnost. Nesprávnosti mohou vznikat v důsledku podvodů nebo chyb a považují se za významné (materiální), pokud lze reálně předpokládat, že by jednotlivě nebo v souhrnu mohly ovlivnit ekonomická rozhodnutí, která uživatelé účetní závěrky na jejím základě přijmou.

Při provádění auditu v souladu s výše uvedenými předpisy je naší povinností uplatňovat během celého auditu odborný úsudek a zachovávat profesní skepticismus. Dále je naší povinností:

- Identifikovat a vyhodnotit rizika významné (materiální) nesprávnosti účetní závěrky způsobené podvodem nebo chybou, navrhnout a provést auditorské postupy reagující na tato rizika a získat dostatečné a vhodné důkazní informace, abychom na jejich základě mohli vyjádřit výrok. Riziko, že neodhalíme významnou (materiální) nesprávnost, k níž došlo v důsledku podvodu, je větší než riziko neodhalení významné (materiální) nesprávnosti způsobené chybou, protože součástí podvodu mohou být tajné dohody (koluze), falšování, úmyslná opomenutí, nepravdivá prohlášení nebo obcházení vnitřních kontrol vedením Organizace.
- Seznámit se s vnitřním kontrolním systémem Organizace relevantním pro audit v takovém rozsahu, abychom mohli navrhnout auditorské postupy vhodné s ohledem na dané okolnosti, nikoli abychom mohli vyjádřit názor na účinnost jejího vnitřního kontrolního systému.
- Posoudit vhodnost použitých účetních pravidel, přiměřenost provedených účetních odhadů a informace, které v této souvislosti Organizace uvedla v příloze účetní závěrky.
- Posoudit vhodnost použití předpokladu nepřetržitého trvání při sestavení účetní závěrky statutárního orgánu a to, zda s ohledem na shromážděné důkazní informace existuje významná (materiální) nejistota vyplývající z událostí nebo podmínek, které mohou významně zpochybnit schopnost Organizaci nepřetržitě trvat. Jestliže dojdeme k závěru, že taková významná (materiální) nejistota existuje, je naší povinností upozornit v naší zprávě na informace uvedené v této souvislosti v příloze účetní závěrky, a pokud tyto informace nejsou dostatečné, vyjádřit modifikovaný výrok. Naše závěry týkající se schopnosti Organizace nepřetržitě trvat vycházejí z důkazních informací, které jsme získali do data naší zprávy. Nicméně budoucí události nebo podmínky mohou vést k tomu, že Organizace ztratí schopnost nepřetržitě trvat.

- Vyhodnotit celkovou prezentaci, členění a obsah účetní závěrky, včetně přílohy, a dále to, zda účetní závěrka zobrazuje podkladové transakce a události způsobem, který vede k věrnému zobrazení.

Naší povinností je informovat statutární orgán o plánovaném rozsahu a načasování auditu a o významných zjištěních, která jsme v jeho průběhu učinili, včetně zjištěných významných nedostatků ve vnitřním kontrolním systému.

V Liberci, dne 15. května 2020

Auditorská společnost:

Auditor, který byl auditorskou společností určen jako odpovědný za provedení auditu jménem auditorské společnosti:

VGD - AUDIT, s.r.o.

VGD - AUDIT, s.r.o.
evidenční č. 271
Bělehradská 18, 140 00 Praha 4

Radka Fišerová

Ing. Radka Fišerová
evidenční č. 2000

