



FZU

Fyzikální ústav
Akademie věd
České republiky

Výroční zpráva o činnosti a hospodaření za rok 2020

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
www.fzu.cz

Zřizovatel:

Akademie věd ČR

Dozorčí radou pracoviště projednáno dne 8. 6. 2021
Radou pracoviště schváleno dne 16. 6. 2021
V Praze dne 16. 6. 2021

Úvodní slovo

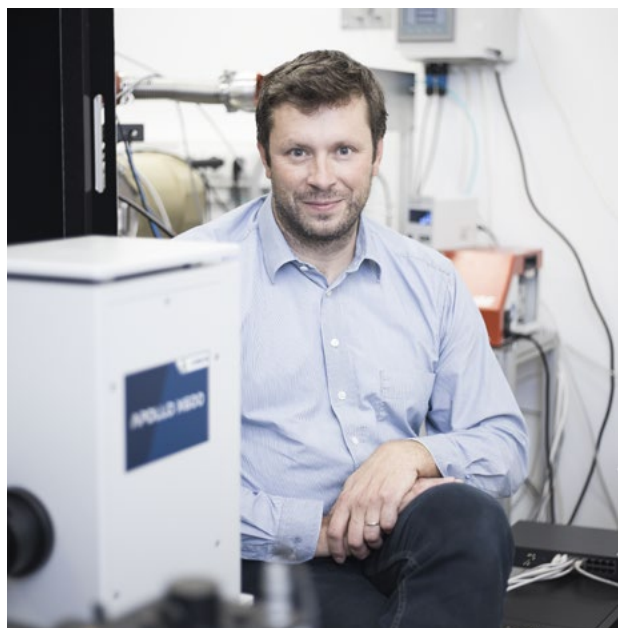


Foto: Denisa Dimitrovová, 100vědců

Před rokem jsem ve Výroční zprávě za rok 2019 psal o tom, že její úvodní slovo je velmi specifický slohový útvar. Nejen v úvodním textu, ale vlastně v celé Výroční zprávě totiž nahlížíme na loňský rok s časovým nadhledem v délce několika měsíců. To se někdy zdá jako velice dlouhý úsek, leckdy je však naopak takový časový interval zcela nedostatečný ke správnému zhodnocení událostí daného roku. Pro předkládanou Výroční zprávu za rok 2020 platí podle mého názoru obojí. Na jednu stranu se už za několik měsíců nového roku událo mnohé – uskutečnilo se Hodnocení ústavů Akademie věd ČR – a další hodnocení se velmi rychle blíží, a to hodnocení výzkumných infrastruktur (o výsledcích obojího jistě budu psát příště). Epidemie covid-19 byla na přelomu roku v dosti zlém stavu a po několika dalších měsících bohužel nebylo lépe. Očkování se zdálo slibné, ale prakticky nedosažitelné. Bylo zřejmé, že

podivné podmínky, ve kterých jsme se museli naučit žít a pracovat, budou ještě nějaký čas určovat naše chování, vzájemnou izolaci a práci na dálku ve všech možných významech tohoto slovního spojení. Nyní již nadějná slova zaznívají v našem okolí mnohem častěji – epidemie je na výrazném ústupu. Přesto ale zatím neznáme dlouhodobé důsledky pandemie covid-19, jak se projeví v našich vlastních životech a v životech našich rodin, v naší práci a ve způsobech, kterými ji vykonáváme.

Jak jsem naznačoval již před rokem, vědci byli a jsou na nový způsob setkávání a práce na dálku velmi dobře připraveni. Díky nasazení, obětavosti a péli zaměstnanců FZÚ se celé toto těžké a mnohem delší období, než jsme si mnozí zpočátku připouštěli, podařilo překonat tak, že výsledky našeho ústavu jsou mimořádně kvalitní a jejich kvantita dokonce rekordní. Zaměstnancům FZÚ jsem již za tento skvělý přístup děkoval vícekrát, ale stále si myslím, že tak důležité poděkování si opakování zaslouží, a proto sem opět patří – děkuji moc!

V roce 2019 ve FZÚ vzniklo více než 820 publikací, ale v roce 2020 dokonce více než 950, jde tedy o nárůst o více než 15 %. Zajímavý je též vývoj těch, které jsou dostupné všem – nebývale přibýlo publikací vydávaných v režimu Open Access, primárně v „zaplaceném“ režimu Gold Open Access, kterých bylo z celkového počtu 45 %. Je nutné podotknout, že FZÚ hradil jen malou část takto vydávaných článků, naprostou většinu zaplatily zahraniční spolupracující instituce. Druhý pilíř otevřeného přístupu k článkům, tedy tzv. Green Open Access, se zatím využívá mnohem méně a zřejmě již v průběhu letošního roku budeme muset udělat všechno proto, aby i článků tohoto typu významně přibýlo, což je v souladu s národní strategií v ČR i s cestou, kterou se vydaly společně země Evropské unie.

Z hlediska klíčových projektů FZÚ se situace vyvíjela rovněž příznivě. Laserová centra ELI Beamlines a HiLASE v Dolních Břežanech dosáhla několika zajímavých světových rekordů a jsou schopna uživatelům

nabízet unikátní služby. Na ELI Beamlines celý rok 2020 intenzivně pracovali na vzniku zastřešující organizace a v roce 2021 vznikla mezinárodní organizace ELI ERIC, tedy konsorcium evropské výzkumné infrastruktury, jehož členy jsou jednotlivé státy primárně z EU. Jedná se o první ERIC, které má sídlo v nové zemi Evropské unie, ELI ERIC tedy přímo v Dolních Břežanech. Vynikající vědecké výsledky přináší i projekt z oblasti fyziky pevných látek SOLID21, řada vědců s velkým očekáváním vyhlíží zprovoznění nové budovy Na Slovance vystavěné v rámci tohoto projektu, která bude slavnostně otevřena nejspíše v září tohoto roku. Opětovně se potvrdilo, že velkým impulzem pro rozvoj daných vědeckých sekcí jsou i další projekty v rámci programu OP VVV (Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání). Ve výzvě OP VVV Excelentní týmy máme hned čtyři projekty, které významně posouvají vědeckou tematiku daných oborů – v sekci fyziky elementárních částic projekt CoGraDS, v sekci výkonových laserů projekt BIATRI a v sekci Centra ELI Beamlines projekty HIFI a ELIBIO. V oblasti aplikované fyziky dosahuje skvělých výsledků laserové centrum HiLASE a také Národní centrum kompetence MATCA, kde je vedoucím partnerem FZÚ a provoz centra zajišťují primárně kolegové ze Sekce optiky. Tyto aktivity dále rozšiřuje inovační centrum B4I – Brain 4 Industry, na které se podařilo získat prostředky ve výzvě Služby infrastruktury OP PIK (Operační program Podnikání a inovace pro konkurenceschopnost) a jež vznikne v Dolních Břežanech, kam tak přibude vedle laserových center další důležitá aktivita. Na obdobném půdorysu se pak FZÚ a dalšími partnerům podařilo uspět i ve výzvě pro Digitální inovační huby (DIH) a postoupit tak s dalšími vybranými projekty do evropské soutěže EDIH.

Kromě výhledu do budoucna a plánování, do kterých zásadních projektů se FZÚ může zapojit v budoucnosti (netrpělivě vyhlížíme zejména projekty OP JAK – Operačního programu Jan Amos Komenský, pro který budou nejdůležitější výzvy vypsány v průběhu roku 2022) bývá užitečné se ohlédnout i do minulosti a zhodnotit, jak se v průběhu času FZÚ vyvíjí. Už jsem takto v předchozích výročních zprávách poukazoval například na dlouhodobý růst mezd v jednotlivých kategoriích zaměstnanců ústavu. Letos musím začít zprávou, která pozitivní není. Rozpočet AV ČR mezi roky 2020 a 2021 vzrostl jen o něco málo přes dvě procenta a ještě horší je střednědobý výhled, v němž rozpočet zcela stagnuje. Mám za to, že i přes krizový vývoj v celé společnosti to není moudrý ani správný přístup. Jak pandemie také ukázala, kvalitní vědecké zázemí a důvěra ve vědu i vědce je klíčová a bez podpory se neobejde. Myslím, že naší ambicí v rámci České republiky by mělo být, abychom byli na úrovni znalostní ekonomiky, která je do značné míry založena na špičkové vědě a jejích výsledcích. Moje představa o státním rozpočtu a podpoře vědy by tak byla zcela jiná. Takto musíme tedy opět spoléhat především na vlastní síly a na prostředky z grantů, ve kterých jsme sice mimořádně úspěšní, ale dosáhnout tohoto úspěchu je náročné a jeho udržení pohlcuje valnou část času nejen vědců, ale i naší administrativní podpory.

Abych doplnil nějaké číslo, v provozním rozpočtu FZÚ tvoří projektové finance již více než 70 % prostředků, v investičním rozpočtu grantové peníze zcela dominují (přímá investiční institucionální podpora činí méně než 5 % celkové hodnoty každoročních investic).

Právě díky úspěšnosti FZÚ v projektech úroveň našeho ústavu setrvale roste. Od vzniku v. v. i. (tedy veřejné výzkumné instituce) v roce 2007 je již téměř dvojnásobný (z 645 FTE v roce 2007 jsme dospěli k 1137 FTE na počátku roku 2021). Ještě výrazněji pochopitelně vzrostl například objem prostředků vydávaných na mzdy – z 350 milionů Kč v roce 2007 na již 1,1 miliardy Kč v roce 2020. V tomto ohledu je pozitivní, že i přes inflaci mzdy ve FZÚ rostou i reálně, průměrný růst reálných mezd korigovaných na inflaci za období 2007–2020 činí 35 %, přičemž musíme zohlednit, že ústav v období 2009–2015 prošel kritickou etapou, kdy se institucionální podpora vědy snižovala a jakýkoli růst byl tak dán opět jen získávanými projekty.

Co mě v těchto souvislostech ovšem nejvíce těší, je, že se FZÚ stává pracovištěm, o které je celosvětový zájem. Když otevírá nové pracovní místo perspektivní a kvalitní vědecký tým, hlásí se zájemci skutečně z celého světa – včetně například Německa, Spojených států amerických nebo Jižní Koreje. Ve výběrových řízeních, ať už na místa postdoktorandů či seniorních pracovníků, si můžeme skutečně vybírat mezi velmi kvalitními kandidáty. V posledních letech tak rychle roste počet zaměstnanců ze zahraničí – v roce 2015 jich napříč celým FZÚ (včetně administrativy a podpůrných oddělení) bylo 15 %, v roce 2020 již 24 %. V rámci tohoto vývoje i zcela obecně je pak mým přáním, aby se tito noví zaměstnanci, ale samozřejmě i naši pracovníci dlouholetí a i ti pradávni (nejdéle pracující zaměstnanec FZÚ u nás působí nepřetržitě více než 65 let), u nás cítili dobře a aby u nás našli příjemné pracovní prostředí, které jim umožní dosahovat excelentních výsledků. A věřím, že se nám to daří – především díky spojenému úsilí a společným cílům všech kolegů a kolegů pracujících ve FZÚ.

Výroční zprávu předkládáme tentokrát v novém grafickém designu, s využitím symbolů a barev jednotlivých vědeckých sekcí, které jsme připravili v souvislosti s Hodnocením ústavů AV ČR. Za roky 2015–2019 jsme v loňském roce připravili také Activity Report v anglickém jazyce, který poskytuje ještě podrobnější přehled naší vědecké a výzkumné činnosti za celých pět uvedených roků. Pokud máte možnost, vyhledejte si Activity Report na našem webu a získejte ještě jiný náhled na zajímavou vědu, které se u nás věnujeme.

Pevně věřím, že se vám bude Výroční zpráva líbit, a to nejen grafickým zpracováním, ale především svým obsahem. Přeji zajímavé a inspirující čtení!

V Praze dne 13. května 2021

Michael Prouza
ředitel FZÚ

Obsah



1.	Informace o složení orgánů veřejné výzkumné instituce a o jejich činnosti	7
1.1	Složení orgánů pracoviště	8
1.1.1	Rada pracoviště	8
1.1.2	Dozorčí rada pracoviště	8
1.1.3	Změny ve složení orgánů	8
1.2	Informace o pracovišti	9
1.2.1	Rada pracoviště	9
1.2.2	Dozorčí rada pracoviště	10
1.2.3	Informace o změnách zřizovací listiny	12
1.2.4	Domácí a zahraniční ocenění zaměstnanců	12
1.2.5	Dvořákova přednáška 2020 – z důvodu pandemie covid-19 se nekonala	14
1.2.6	Základní informace o pracovišti	14
1.2.7	Další specifické informace o pracovišti	15
1.3	Přehled oddělení a skupin	17
1.4	Struktura pracoviště	20
1.4.1	Základní personální údaje	22
2.	Hodnocení hlavní činnosti	27
2.1.	Sekce fyziky elementárních částic v roce 2020	28
2.1.1	Experimenty v CERN	29
2.1.2	Experimenty ve Fermilabu	31
2.1.3	Experimenty v astročásticové fyzice	33
2.1.4	Teorie	36
2.1.5	Kosmologie	37
2.1.6	Přípravné práce na projektu lineárního urychlovače	39
2.1.7	Výpočetní středisko a zpracování dat	40
2.2.	Sekce fyziky kondenzovaných látek v roce 2020	41
2.2.1	Dielektrika, feroelektrika, multiferoika a nanostruktury	45
2.2.2	Výzkum v oddělení Materiálové analýzy	46
2.2.3	Fázové transformace ve slitinách s tvarovou pamětí	49
2.2.4	Materiály s řízenou mikrostrukturou	52
2.2.5	CVD diamantové vrstvy	53
2.2.6	Teorie kondenzovaného stavu	55
2.2.7	Výzkum a služby v Oddělení chemie	58

2.3.	Sekce fyziky pevných látek v roce 2020	59
2.3.1	Oddělení povrchů a molekulárních struktur	60
2.3.2	Fyzika polovodičů	63
2.3.3	Spintronika a nanoelektronika	65
2.3.4	Strukturní analýza	67
2.3.5	Magnetika a supravodiče	70
2.3.6	Tenké vrstvy a nanostruktury	74
2.3.7	Optické materiály	78
2.4.	Sekce optiky v roce 2020	87
2.4.1.	Kvantová a nelineární optika	88
2.4.2	Optická interferometrie a zpracování obrazu	89
2.4.3	Optické technologie pro experimentální astrofyziku	89
2.4.4	Příprava a výzkum tenkých vrstev	91
2.4.5	Vliv fyzikálních faktorů mikroprostředí na plasticitu nádorových buněk	94
2.4.6	Molekulární mechanismus interakce nanočástic oxidu železa s živými buňkami	95
2.4.7	Modulace imunitních buněk pomocí nízkoteplotního plazmatu	95
2.4.8	Nízkoteplotní plazma v aplikovaném výzkumu	96
2.4.9	Laboratoř funkčních biorozhraní	96
2.4.10	Studium fyzikálních procesů v pulzním nízkoteplotním plazmatu při depozici tenkých vrstev	99
2.4.11	Pokrytí zirkoniových materiálů polykrystalickou diamantovou vrstvou chrání proti vysokoteplotní korozi v prostředí jaderných reaktorů	101
2.4.12	ScN tenké vrstvy pro termoelektrické aplikace	102
2.4.13	In-situ monitorování depozičního procesu	102
2.4.14	Vrstvy černých kovů ve strukturách pro chemické senzory	103
2.4.15	Aparatura pro komplexní charakterizaci vlastností materiálů pomocí tepelně stimulovaných jevů	103
2.4.16	Micro-ARPES 2D materiálů	104
2.4.17	Kryoprotekce	105
2.4.18	Nanočástice pro bioaplikace	106
2.4.19	Národní centrum kompetencí MATCA	106
2.5.	Sekce výkonových laserů v roce 2020	108
2.5.1	Vývoj pikosekundových tenkodiskových laserů pro aplikace	109
2.5.2	Vývoj kryogenních laserů a technologií	112
2.5.3	Tepelně-optické modelování výkonových laserů a kryogenní spektroskopie	114
2.5.4	Laserové mikroobrábění	116
2.5.5	Zlepšování mechanických vlastností materiálů metodou laser shock peening (LSP)	118
2.5.6	Studium měření prahu poškození způsobeného laserem	119
2.5.7	Interakce laseru s materiály a povrchy	120
2.5.8	Oddělení epitaxního grafenu od substrátu pomocí SXR laseru	124
2.5.9	Časově rozlišené studium absorpce SXR záření v hustém hliníkovém plazmatu	125
2.5.10	Charakterizace megahertzových svazků EUV laserů s volnými elektrony	126
2.5.11	Teorie a počítačové modelování netermálních fázových přechodů v pevných látkách různých typů	127
2.5.12	Škálování výtěžku fúzních neutronů z laserového plazmatu	128
2.5.13	Emise rychlých elektronů a energetických fotonů z vysokoparametrového laserového plazmatu	129
2.5.14	Studium meteorických spekter pomocí laboratorně generovaného laserového plazmatu	130
2.5.15	Laboratorní simulace chemických projevů exoplanetárních událostí o vysoké hustotě energie	131
2.5.16	Stanovení radiačně chemického výtěžku OH radikálu ve vodním okně	132
2.5.17	Laserem řízené rezonanční tunelování zvláštním bodem	133
2.6	Sekce realizace projektu ELI Beamlines v roce 2020	134
2.6.1	Vědecké oddělení a výzkumné projekty	135
2.6.2	Oddělení 86: radiační fyziky a urychlování elektronů	135
2.6.3	Oddělení 87: Urychlování iontů a aplikací vysokoenergetických částic	139
2.6.4	Oddělení 88: strukturní dynamiky	140
2.6.5	Oddělení 89: fyziky plazmatu a interakcí s ultravysokou intenzitou	143
2.6.6	Oddělení 91: Laserových systémů	144
2.6.7	Oddělení 93: Konstrukční a projekční podpory	146
2.6.8	Oddělení 98 – CITTT: Centrum pro inovace a transfer technologií	148

2.7	Projekty programů EU řešené na pracovišti v roce 2020	150
2.8	Spolupráce s vysokými školami v roce 2020	153
2.8.1	Spolupráce s VŠ na uskutečňování bakalářských, magisterských a doktorských studijních programů	153
2.8.2	Pedagogická činnost pracovníků ústavu	153
2.8.3	Spolupráce pracoviště s VŠ ve výzkumu	154
2.8.4	Doktorandi a diplomanti, kteří vypracovali doktorskou či diplomovou práci ve Fyzikálním ústavu a obhájili ji v roce 2020	154
2.8.5	Společná pracoviště ústavu s účastí VŠ	157
2.8.6	Akreditované programy	158
2.8.7	Vzdělávání středoškolské mládeže	158
2.9	Popularizace, konference, hosté, dohody	159
2.9.1	Popularizační aktivity FZÚ v roce 2020	159
2.9.2	Akce s mezinárodní účastí, které pracoviště organizovalo nebo v nich vystupovalo jako spolupořadatel	162
2.9.3	Nejvýznamnější zahraniční vědci a návštěvy přijaté na FZÚ	162
2.9.4	Aktuální meziústavní dvoustranné dohody 2020	163
2.10	Publikace zaměstnanců FZÚ v roce 2020	169
2.10.1	Přehled	169
2.10.2	Nejvýznamnější výsledky vědecké činnosti FZÚ za rok 2020	170
2.10.3	Knihy, monografie	186
2.10.4	Kapitoly v knihách	186
2.10.5	Publikace v impaktovaných časopisech	186
2.10.6	Patenty	250
2.10.7	Užitné a průmyslové vzory	251
3.	Ekonomická část výroční zprávy za rok 2020	253
3.1	Rozvaha	254
3.2	Výkaz zisku a ztráty	258
3.3	Příloha k účetní závěrce v plném rozsahu k 31. 12. 2020	260
3.4	Údaje požadované dle §	272
3.4.1	Předpokládaný vývoj pracoviště	272
3.4.2	Aktivity v oblasti pracovněprávních vztahů	272
3.4.3	Aktivity v oblasti ochrany životního prostředí	273
3.4.4	Zpráva o poskytování informací za období od 1. 1.–31. 12. 2020	273
3.5	Zpráva nezávislého auditora pro Fyzikální ústav AV ČR, v. v. i.	274





1.

Informace o složení orgánů veřejné výzkumné instituce a o jejich činnosti

1.1 Složení orgánů pracoviště

8

1.1.1 Rada pracoviště

Předseda:	doc. Ing. Martin Nikl, CSc.	(FZÚ)
Místopředseda:	Ing. Tomáš Mocek, Ph.D.	(FZÚ)
Interní členové:	Ing. Alexandr Dejnek, Ph.D.	(FZÚ)
	RNDr. Antonín Fejfar, CSc.	(FZÚ)
	RNDr. Stanislav Kamba, CSc.	(FZÚ)
	Mgr. Jindřich Kolorenč, Ph.D.	(FZÚ)
	prof. Ing. Pavel Lejček, DrSc.	(FZÚ)
	RNDr. Jiří J. Mareš, CSc.	(FZÚ)
	RNDr. Michael Prouza, Ph.D.	(FZÚ)
	prof. Jan Řídký, DrSc.	(FZÚ)
Externí členové:	doc. 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)
	Ing. Oldřich Schneeweiss, DrSc.	(ÚFM)
Tajemník:	RNDr. Jiří Rameš, CSc.	(FZÚ)

1.1.2 Dozorčí rada pracoviště

Předseda:	doc. Ing. Luboš Náhlík, Ph.D.	(ÚFM)
Místopředseda:	Ing. Ivan Gregora, CSc.	(FZÚ)
Členové:	prof. Ing. Tomáš Čechák, CSc.	(FZÚ)
	RNDr. Vladimír Wagner, CSc.	(ÚJF)
	Ing. Jiří Plešek, CSc.	(ÚT)
	prof. RNDr. Ladislav Skrbek, DrSc.	(MFF UK)
	Ing. Miroslav Hořejší	(FZÚ)
Tajemník:		

V roce 2020 nedošlo ke změnám ve složení Dozorčí rady pracoviště.

1.1.3 Změny ve složení orgánů

V roce 2020 nedošlo ve složení rady pracoviště ke změnám.



1.2 Informace o pracovišti

1.2.1 Rada pracoviště

Data zasedání Rady FZÚ

86. zasedání	23. 3. 2020
87. zasedání	21. 4. 2020
88. zasedání	26. 5. 2020
89. zasedání	17. 6. 2020
90. zasedání	21. 9. 2020
91. zasedání	1. 12. 2020

Rada dále projednala 11 návrhů formou per rollam.

Zápisy ze všech zasedání Rady FZÚ jsou zveřejněny na webové stránce Rady FZÚ.

Na zasedání Rady byli zváni:

doc. Ing. Luboš Náhlík, Ph.D.
předseda Dozorčí rady FZÚ

Ing. Ivan Gregora, CSc.
místopředseda Dozorčí rady FZÚ

Ing. Jiří Červenka, Ph.D.
vědecký tajemník FZÚ

Významné záležitosti projednané Radou FZÚ

- Rada sledovala vývoj situace týkající se procesu zakládání mezinárodního konsorcia ELI ERIC, viz zápis z 86., 88. a 91. zasedání.
- Rada se seznámila s dlouhodobými rozvojovými plány areálu na Slovance, jejichž součástí je výstavba budovy s novými skladovacími a kancelářskými prostory, viz zápis z 90. zasedání.
- Rada projednala několik změn organizační struktury FZÚ spočívajících zejména v novém vnitřním strukturování některých organizačních jednotek a vytváření nových oddělení. V souvislosti s tím Rada schválila změny vnitřního předpisu FZÚ – Organizačního řádu, viz zápis z 86., 88., 90. a 91. zasedání.
- Rada projednala a schválila změny dalších vnitřních předpisů FZÚ – Jednacího řádu Rady FZÚ, Vnitřního mzdového předpisu FZÚ a Pravidel pro hospodaření se sociálním fondem, viz zápisy z 90. a 91. zasedání.
- Rada projednala návrhy na jmenování tří pracovníků FZÚ emeritními vědeckými pracovníky AV ČR a vyslovila souhlas s podáním návrhů Akademické radě AV ČR, viz zápisy z 86. a 91. zasedání.
- Rada projednala a schválila návrh na přiznání statutu emeritního pracovníka FZÚ, viz zápis z 91. zasedání.
- Rada projednala návrh na udělení čestné oborové medaile Ernsta Macha za zásluhy ve fyzikálních vědách a doporučila jeho podání, viz zápis z 86. zasedání.
- Rada projednala návrh na udělení Akademické prémie a doporučila jeho podání, viz zápis z 86. zasedání.
- Rada projednala návrhy na udělení Prémie Otto Wichterleho a vyslovila souhlas s jejich podáním, viz zápis z 86. zasedání.
- Rada projednala návrh na udělení Ceny Neuron za zásadní přínos světové vědě a vyslovila souhlas s jeho podáním, viz zápis z 86. zasedání.
- Rada projednala a schválila rozpočet provozních nákladů a výnosů pro rok 2020, jakož i střednědobý výhled provozních nákladů a výnosů pro roky 2021 a 2022, viz zápis z 87. zasedání.
- Rada schválila návrh ředitele na převedení zisku za rok 2019 do rezervního fondu, viz zápis z 91. zasedání.
- Rada schválila Výroční zprávu o činnosti a hospodaření FZÚ za rok 2019, viz zápis z 89. zasedání.

- Rada projednala návrh na udělení čestné medaile Za zásluhy o Akademii věd České republiky a doporučila jeho podání, viz zápis z 86. zasedání.
- Rada projednala návrh na udělení Ceny Františka Běhouňka a doporučila jeho podání, viz zápis z 90. zasedání.
- Rada projednala návrhy na udělení prémie Lumina quaeruntur a vyslovila souhlas s jejich podáním, viz zápis z 86. 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 87. a 90. zasedání.
- Poté, co se formou seminářů uskutečnily veřejné prezentace a obhajoby návrhů na nákup nákladných přístrojů a následně je projednala porada ředitele, Rada jednotlivé návrhy prodiskutovala a doporučila řediteli jejich pořadí k podání, viz zápis z 88. 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 86. a 87. zasedání.
- Rada projednala 34 návrhů dohod o spolupráci mezi FZÚ a dalšími institucemi nebo dokumentů podobného charakteru, viz zápisy z 86., 87., 88., 89., 90. a 91. zasedání.

1.2.2 Dozorčí rada pracoviště

Během roku 2020 byla svolána dvě řádná zasedání Dozorčí rady FZÚ (dále Dozorčí rada), a to 9. 6. a 17. 12.

Agenda Dozorčí rady v roce 2020

Položka agendy	Téma jednání, způsob projednání, výsledek	Termín
1	Smlouva o ubytování v ubytovně Ústavu fyziky plazmatu AV ČR Projednáno per rollam – udělen předchozí písemný souhlas dle zákona č. 341/2005 Sb., §19, písm. b), bod 7	3. 1. 2020
2	Smlouva kupní – převod vlastnického práva k chatě a pozemku v katastrálním území Skryje nad Berounkou Projednáno per rollam – udělen předchozí písemný souhlas dle zákona č. 341/2005 Sb., §19, písm. b), bod 7	3. 1. 2020
3	Smlouva o nájmu – nebytové prostory o ploše 120 m ² v budově jídelny v areálu Na Slovance Projednáno per rollam – udělen předchozí písemný souhlas dle zákona č. 341/2005 Sb., §19, písm. b), bod 7	16. 3. 2020
4	Dodatek č. 2 ke smlouvě o dodávce interlockového systému pro ELI Beamlines Projednáno per rollam – udělen předchozí písemný souhlas dle zákona č. 341/2005 Sb., §19, písm. b), bod 7	16. 3. 2020
5	Rozpočet FZÚ na rok 2020 Projednáno per rollam – Dozorčí rada bere na vědomí návrh rozpočtu a souhlasí s jeho předložením Radě FZÚ. dle zákona č. 341/2005 Sb., §19, písm. g)	15. 4. 2020
6	Hodnocení manažerských schopností ředitele ústavu Projednáno per rollam: vynikající – dle stupnice hodnocení 3	18. 5. 2020
7	Pořízení parabolických substrátů L4f pro ELI Beamlines Projednáno per rollam – udělen předchozí písemný souhlas dle zákona č. 341/2005 Sb., §19, písm. b), bod 2	28. 5. 2020
8	Záměr pořízení nákladného přístroje Magnetic Property Measurement System – MPMS 3 Projednáno per rollam – udělen předchozí písemný souhlas dle zákona č. 341/2005 Sb., §19, písm. b), bod 2	28. 5. 2020
9	Výstavba nové budovy na pozemku FZÚ Na Slovance Projednáno per rollam – udělen předchozí písemný souhlas dle zákona č. 341/2005 Sb., §19, písm. b), bod 2	28. 5. 2020



Položka agendy	Téma jednání, způsob projednání, výsledek	Termín
10	Záměr výstavby Inovačního centra v Nových Břežanech Projednáno per rollam – udělen předchozí písemný souhlas dle zákona č. 341/2005 Sb., §19, písm. b), bod 1	28. 5. 2020
11	Stanovisko Dozorčí rady k výroční zprávě o činnosti a hospodaření FZÚ za rok 2019 Dozorčí rada bere na vědomí Výroční zprávu FZÚ za rok 2019 a pověřuje ředitele, aby ji předal Radě FZÚ.	9. 6. 2020
12	27. zasedání Dozorčí rady FZÚ	9. 6. 2020
13	Dodatek č. 1 ke smlouvě o dodávce velkých optomechanických montáží kompresoru laseru L4 Projednáno per rollam – udělen předchozí písemný souhlas dle zákona č. 341/2005 Sb., §19, písm. b), bod 2	29. 6. 2020
14	Rámcová smlouva o dodávkách komponent pro vysokotlaké rozvody Projednáno per rollam – udělen předchozí písemný souhlas dle zákona č. 341/2005 Sb., §19, písm. b), bod 2	29. 6. 2020
15	Kupní smlouva o dodávce speciálních optických prvků (tzv. Spherical Stretcher Mirrors) Projednáno per rollam – udělen předchozí písemný souhlas dle zákona č. 341/2005 Sb., §19, písm. b), bod 2	29. 6. 2020
16	Smlouva o dodávce speciálního výzkumného zařízení (tzv. MOB Chamber) Projednáno per rollam – udělen předchozí písemný souhlas dle zákona č. 341/2005 Sb., §19, písm. b), bod 2	29. 6. 2020
17	Smlouva o zřízení věcného břemene k pozemkům č. 81/1, 81/3 a 594/1, k. ú. Dolní Břežany Projednáno per rollam – udělen předchozí písemný souhlas dle zákona č. 341/2005 Sb., §19, písm. b), bod 3	29. 6. 2020
18	Smlouva o zvýšení výkonu a náhradě mikrokanálkových chladicích bloků výkonových laserových diodových polí pro laser L3-HAPLS Projednáno per rollam – udělen předchozí písemný souhlas dle zákona č. 341/2005 Sb., §19, písm. b), bod 2	29. 6. 2020
19	Podpis Smlouvy o smlouvě budoucí o zřízení práva stavby spolu se smlouvou o smlouvě budoucí kupní Projednáno per rollam – udělen předchozí písemný souhlas dle zákona č. 341/2005 Sb., §19, písm. b), bod 1	6. 8. 2020
20	Kupní smlouva pro pořízení laserových diod pro výzkumné centrum ELI Beamlines Projednáno per rollam – udělen předchozí písemný souhlas dle zákona č. 341/2005 Sb., §19, písm. b), bod 2	24. 8. 2020
21	Záměr založení jiné právnické osoby Projednáno per rollam – udělen předchozí písemný souhlas dle zákona č. 341/2005 Sb., §19, písm. b), bod 2	24. 8. 2020
22	Reaktivní magnetronové naprašování, HiPIMS v reaktivních plynech H ² S a H ² Se (kupní smlouva) Projednáno per rollam – udělen předchozí písemný souhlas dle zákona č. 341/2005 Sb., §19, odst. (1), písm. b), bod 2	28. 9. 2020
23	Rámcová kupní smlouva pro pořízení elektroinstalačního materiálu Projednáno per rollam – udělen předchozí písemný souhlas dle zákona č. 341/2005 Sb., §19, písm. b), bod 2	28. 9. 2020
24	Kupní smlouva pro pořízení komponent pro systém LUIS Projednáno per rollam – udělen předchozí písemný souhlas dle zákona č. 341/2005 Sb., §19, písm. b), bod 2	28. 9. 2020
25	Kupní smlouva pro pořízení aktivních síťových prvků – ICT switche Projednáno per rollam – udělen předchozí písemný souhlas dle zákona č. 341/2005 Sb., §19, písm. b), bod 2	28. 9. 2020
26	Laser-MBE UHV deposition system Projednáno per rollam – udělen předchozí písemný souhlas dle zákona č. 341/2005 Sb., §19, písm. b), bod 2	28. 9. 2020

Položka agendy	Téma jednání, způsob projednání, výsledek	Termín
27	Dodatky k nájemním smlouvám pro objekty TESKO Slovanka Projednáno per rollam – udělen předchozí písemný souhlas dle zákona č. 341/2005 Sb., §19, písm. b), bod 7	23. 11. 2020
28	Uzavření kupní smlouvy, jejímž předmětem je dodání přístroje „Rentgenový mikroskop“ – počítačový tomograf se submikronovým rozlišením Projednáno per rollam – udělen předchozí písemný souhlas dle zákona č. 341/2005 Sb., §19, písm. b), bod 2	23. 11. 2020
29	Veřejná zakázka pro vestavbu laboratorních prostor do haly S2 výzkumného centra ELI Beamlines Projednáno per rollam – udělen předchozí písemný souhlas dle zákona č. 341/2005 Sb., §19, písm. b), bod 1	23. 11. 2020
30	Založení jiné právnické osoby pro centrum HiLASE Projednáno per rollam – udělen předchozí písemný souhlas dle zákona č. 341/2005 Sb., §19, písm. b), bod 4	23. 11. 2020
31	Dodatek ke smlouvě o nájmu kantýny FZÚ v Praze, Na Slovance 1999/2 Projednáno per rollam – udělen předchozí písemný souhlas dle zákona č. 341/2005 Sb., §19, písm. b), bod 7	16. 12. 2020
32	Dodatky ke smlouvám o nájmu bytů v bytovém domě v Praze 9–Střížkov, Bohušovická 14/229 Projednáno per rollam – udělen předchozí písemný souhlas dle zákona č. 341/2005 Sb., §19, písm. b), bod 7	16. 12. 2020
33	28. zasedání Dozorčí rady FZÚ	16. 12. 2020

Účast jednotlivých členů na agendě Dozorčí rady:

	27. zasedání	28. zasedání	jednání per rollam
doc. Ing. Luboš Náhlík, PhD.	ano	ano	30
Ing. Ivan Gregora, CSc.	ano	ano	30
prof. Ing. Tomáš Čechák, CSc.	ano	ano	29
prof. RNDr. Ladislav Skrbek, DrSc.	ano	ano	30
Ing. Jiří Plešek, CSc.	ano	–	29
RNDr. Vladimír Wagner, CSc.	ano	ano	30

1.2.3 Informace o změnách zřizovací listiny

V roce 2020 nedošlo ke změně zřizovací listiny.

1.2.4 Domácí a zahraniční ocenění zaměstnanců

- prof. Sergey Vladimirovich Bulanov**
Cena
 Řád vycházejícího slunce, IV. třídy
Oceněná činnost
 For improving Japan's international contribution in the field of science and technology
Ocenění udělil
 japonský císař Naruhito
- prof. János Hajdú**
Cena
 Cena Gregoriho Aminoffa
Oceněná činnost
 Fundamental contributions to the development of X-ray free electron laser based structural biology
Ocenění udělila
 Královská švédská akademie věd



- **doc. Ing. Pavel Jelínek, Ph.D.**
Cena
Cena Rudolfa Lukeše
Oceněná činnost
organická, bioorganická a farmaceutická chemie
Ocenění udělila
Česká společnost chemická
- **prof. Tomáš Jungwirth, Ph.D.**
Cena
Cena Františka Běhoučka
Oceněná činnost
Propagace a popularizace české vědy v Evropském
výzkumném prostoru
Ocenění udělilo
Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy České
republiky
- **Mgr. Zdeněk Kašpar, Ph.D.**
Cena
Cena Milana Odehnala
Oceněná činnost
Ph.D. disertace v oboru antiiferomagnetické
spintroniky za práce zabývajícími se
antiiferomagnetickou spintronikou
Ocenění udělila
Česká fyzikální společnost
- **Ing. Václav Eigner, Ph.D.**
Cena
Prémie Otto Wichterleho
Oceněná činnost
Oblast věd o neživé přírodě
Ocenění udělila
Akademie věd ČR
- **RNDr. Jiří Kaštil, Ph.D.**
Cena
Prémie Otto Wichterleho
Oceněná činnost
Oblast věd o neživé přírodě
Ocenění udělila
Akademie věd ČR
- **RNDr. Jiří Kroll, Ph.D.**
Cena
Prémie Otto Wichterleho
Oceněná činnost
Oblast věd o neživé přírodě
Ocenění udělila
Akademie věd ČR
- **RNDr. Jiří Kratochvíl, Ph.D.**
Cena
Česká hlava, Cena Skupiny ČEZ, cena Doctorandus
za technické vědy
Oceněná činnost
Výsledky výzkumu plazmatické depozice nanočástic
a jejich aplikace v biovědách během Ph.D. studia
Ocenění udělila
Iniciativa Česká hlava
- **prof. Ing. Pavel Lejček, DrSc.**
Cena
Čestná oborová medaile Ernsta Macha
Oceněná činnost
Za zásluhy ve fyzikálních vědách
Ocenění udělila
Akademie věd ČR
- **prof. Ing. Pavel Lejček, DrSc.**
Cena
Visiting Professor at Kumamoto University,
Kumamoto, Japan
Oceněná činnost
materiální vědy
Ocenění udělil
Prezident, Kumamoto University
- **Ing. Daria Miliaieva, Ph.D.**
Cena
Cena děkana za prestižní disertační práci
Oceněná činnost
Za disertační práci Assembly and Optoelectronic
Properties of Nanodiamonds-Dye Composites
Ocenění udělil
děkan Fakulty elektrotechnické ČVUT
- **RNDr. Václav Petříček, CSc.**
Cena
Pattersonova cena
Oceněná činnost
Za přínos k rozvoji krystalografických metod pro
řešení modulovaných struktur
Ocenění udělila
Americká krystalografická společnost
- **Dr. Ippocratis Saltas, Ph.D.**
Cena
Prémie pro perspektivní výzkumné pracovníky –
Lumina quaeruntur
Oceněná činnost
Za vynikající vědeckou činnost a podporu jejího
rozvoje
Ocenění udělila
Akademická rada AV ČR
- **RNDr. Petr Šittner, CSc.**
Cena
Praemium Academiae 2020
Oceněná činnost
Za výzkum v oboru fyziky pevných látek
Ocenění udělila
předsedkyně AV ČR

- **Ing. Denisa Štěpánková**

Cena

Cena Crytur 2020

Oceněná činnost

Za diplomovou práci Optimalizace časových parametrů a tvarování pulsů vysokovýkonného pikosekundového laserového systému

Ocenění udělila

Crytur spol. s r.o.

- **Jakub Vošmera, MMath, Ph.D.**

Cena

Cena Václava Votruby – čestné uznání

Oceněná činnost

Za doktorskou práci Selected topics in string field theory and physics of D-branes

Ocenění udělil

Dopplerův ústav pro matematickou fyziku

a aplikovanou matematiku

1.2.5 Dvořákova přednáška 2020 – z důvodu pandemie covid-19 se nekonala

1.2.6 Základní informace o pracovišti

Fyzikální ústav Akademie věd České republiky, v.v.i. (dále jen 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 500 výzkumnými pracovníky. Badatelská činnost v oblasti základního výzkumu je součástí evropského a světového fyzikálního výzkumu, na kterém se naši pracovníci podílejí zejména při řešení řady mezinárodních, především evropských programů. Ve FZÚ se též vzdělává řada doktorandů, převážně českých, ale i ze zemí Evropské unie – zejména v rámci různých stipendijních programů „Marie Curie“.

V oblasti kondenzovaných systémů a materiálového výzkumu se výzkum zaměřuje 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 souvislostí mezi jejich strukturou, složením, morfologií, technologií přípravy a vlastnostmi materiálu 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 a o jednotné teorii základních sil v přírodě. V rámci mezinárodních spoluprací FZÚ se na urychlovači LHC v CERN provádějí experimenty se srážkami hadronů a analyzují se rovněž data z neutrinových experimentů v laboratoři FERMILAB.

V astročásticové fyzice se činnost soustředí v rámci mezinárodních projektů Observatoře Pierra Augera, Cherenkov Telescope Array a Observatoře Vera C. Rubin. Nedílnou součástí je také mnohostranný teoretický výzkum, který zasahuje od teorie strun přes kvantovou gravitaci až po kosmologii. Ve fyzice plazmatu se zkoumají interakce laserového záření s hmotou a jimi vytvořené plazma jako zdroj intenzivního rentgenového záření, nabitých částic a rázových vln stejně jako prostředí pro inerciální fúzi, laserové urychlovače a laboratorní astrofyziku. V oboru kvantové optiky se vyvíjejí různé typy zdrojů kvantově korelovaných fotonových párů a zařízení pro přenos takto uložené informace. V klasické optice se rozvíjejí nové laserové prvky a zobrazovací systémy, včetně oblasti rentgenové optiky a spektrometrie. Pozornost je věnována i biofyzikálním systémům. Fyzikální ústav je koordinátorem evropského projektu ELI Beamlines – jde o vybudování moderního laserového zařízení zaměřeného na uživatelský výzkum. V projektu již byla zahájena realizace výzkumných a aplikačních projektů zahrnující interakci hmoty se světlem o intenzitě, která je mnohokrát vyšší než současně dosažitelné hodnoty. Centrum HiLASE významně rozšířilo spolupráci s českým průmyslem prostřednictvím společných projektů a zakázek smluvního výzkumu, poskytuje přístup na unikátní laserová zařízení externím uživatelům v režimu Open Access a úspěšně pokračuje v realizaci projektu HiLASE Centre of Excellence programu Horizont 2020.

Výzkumná činnost a provoz FZÚ byly v roce 2020 finančně zajišťovány projekty podporovanými domácími poskytovateli (GA ČR – 78, MPO – 4, MŠMT – 26, TA ČR – 21, MV – 2) a 16 projekty financovanými ze zahraničí. Část aktivit FZÚ v současnosti směřuje 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 2020 FZÚ uzavřelo s externími subjekty 73 obchodních smluv,

popř. objednávek v celkovém objemu 20 mil. Kč bez DPH.

Řešené projekty FZÚ v roce 2020

Poskytovatel	Celkový počet projektů	Získáno mil. Kč
GAČR	78	153
MŠMT	26	408
TAČR	21	74
MPO	4	4
MV	2	4
EU projekty	16	54
Komerční zakázky	73	20
Celkem	220	717

1.2.7 Další specifické informace o pracovišti

FZÚ je řešitelem mnoha projektů (viz www.fzu.cz/vyzkum/projekty), které významným způsobem utvářejí a mění strukturu pracoviště. Uvádíme nejvýznamnější příklady odezvy projektů na vědeckou činnost pracoviště v roce 2020.

Fyzika pevných látek pro 21. století (SOLID21) je jedním z nejvýznamnějších OP VVV projektů, který zásadně rozvíjí činnost FZÚ v oblasti fyziky pevných látek. SOLID21 byl zahájen v polovině roku 2018 a získal celkovou dotaci 562 milionů Kč. Cílem projektu je řešení aktuálních vědeckých a technických výzev 21. století v oborech nanoelektroniky, fotoniky, magnetismu, funkčních a bioaktivních materiálů a plazmatických technologií. Během projektu se nakoupila a nakupuje řada významných nákladných fyzikálních přístrojů a v areálu FZÚ Na Slovance v Praze 8 se buduje nový pavilon.

V roce 2020 se ve FZÚ realizoval OP VVV projekt Mobilita výzkumných pracovníků FZÚ 2, který podporuje rozvoj mezinárodní spolupráce ve vědě a internacionalizaci výzkumu. K jeho dalším cílům náleží podpora rozšíření kooperace se stávajícími výzkumnými institucemi a posílení dalšího rozvoje dlouhodobě perspektivních vědeckých směrů ve fyzice. Celkově se v něm uskutečňuje 21 mobilit, které se týkají příjezdů mladých a seniorních výzkumných pracovníků ze zahraničí a naopak – výjezdů mladých a seniorních vědců FZÚ do zahraničí.

Projekt HR Award – Zkvalitnění strategického řízení Fyzikálního ústavu AV ČR – je další z významných nevědeckých OP VVV ústavních projektů, který zásadním způsobem utváří fungování FZÚ a ovlivňuje jeho strukturu. Základním cílem je rozvoj kapacit, znalostí

a dovedností manažerských a výzkumných pracovníků ústavu v oblasti nastavení a strategického řízení výzkumné organizace, které jsou v souladu s Evropskou chartou a kodexem pro výzkumné pracovníky. Díky tomuto projektu je Fyzikální ústav od 26. dubna 2019 držitelem certifikátu HR Excellence in Research Award (Ocenění excelence lidských zdrojů ve výzkumu), které uděluje Evropská komise. FZÚ se tak zařadil do prestižní skupiny evropských institucí, jež mají právo tuto certifikaci používat. Certifikát je udělován výzkumným organizacím, které usilují o zajištění kvalitních a transparentních pracovních podmínek pro své stávající i nově příchozí pracovníky. V rámci tohoto projektu se FZÚ snaží také zajistit rozvoj ve sféře mezinárodní a mezisektorové spolupráce a popularizace výzkumu a vývoje.

V roce 2020 byla zahájena realizace nového OP VVV projektu STIMUL – Strategická tvorba intenzivního rozvoje kapacit Fyzikálního ústavu AV ČR, který v návaznosti na HR Award usiluje o další zlepšení kapacit, znalostí a dovedností pracovníků ústavu v oblasti řízení lidských zdrojů, hodnocení výzkumné organizace, transferu technologií, mezinárodní spolupráce a popularizace vědy. Dalšími důležitými cíli jsou také aktivity, jež zajišťují genderovou rovnost, rozvoj otevřeného přístupu k vědeckým informacím a zvýšení obecného povědomí o významu a přínosu fyziky pro společnost.

V roce 2020 pokračovalo financování Národního centra kompetence pro materiály, pokročilé technologie, povlaky a jejich aplikace (NCK MATCA), jehož je Fyzikální ústav hlavním příjemcem. Sdružuje již deset akademických a osm komerčních subjektů za účelem aplikovaného výzkumu a vývoje inovačních aplikací



v praxi. Stěžejními tématy rozvíjenými v NCK MATCA jsou aditivní, plazmatické a laserové technologie, tedy takové, jejichž uchopení a integrace mají v nastávající transformační době strategický význam pro konkurenceschopnost českého i evropského průmyslu. Během dvouletého působení NCK MATCA se podařilo navázat spolupráci s dalšími průmyslovými organizacemi a zajistit značné množství komerčních zakázek (www.matca.cz). V rámci tohoto společenství vznikl digitální inovační hub Brain 4 industry (B4I), jehož hlavním členem je právě Fyzikální ústav, kterému se podařilo zabezpečit financování výstavby inovačního centra vznikajícího v Dolních Břežanech. Centrum B4I bude podporovat přenos pokročilých výrobních technologií do průmyslu. V B4I vzniká centralizované výzkumně-vývojové pracoviště v České republice pro aditivní výrobní technologie a procesy, které bude předním působištěm pro implementaci inovativních aplikací v klíčovém průmyslových odvětvích v ČR. Bude nabízet celé spektrum služeb, například pro letecký, automobilový, zdravotnický, slévárenský, ale také bezpečnostní a obranný průmysl. (www.brain4industry.cz)

V soutěži excelentních projektů EXPRO a JUNIOR STAR Grantové agentury ČR (dále jen GA ČR), zaznamenal FZÚ v roce 2020 mimořádný úspěch, když získal jeden projekt EXPRO a tři projekty JUNIOR STAR. S projektem Nanokrystalografie molekulárních krystalů uspěl v soutěži EXPRO Lukáš Palatinus. V soutěži JUNIOR STAR se prosadili Eva Maria Martins dos Santos, Ippocratis Saltas a Miroslav Klož.

1.3 Přehled oddělení a skupin



6 VĚDECKÝCH
SEKCÍ

32
VÝZKUMNÝCH
ODDĚLENÍ

9
PODPŮRNÝCH
ODDĚLENÍ

7 SPOLEČNÝCH
LABORATOŘÍ

17

Výzkumní pracovníci **536**

Studenti doktorského studia **96**

Odborní pracovníci výzkumu a vývoje **176**

Ostatní odborní pracovníci **411**

Dělníci **82**

Administrativní pracovníci **93**

Celkový počet zaměstnanců: 1394

stav zaměstnanců k 31. 12. 2020

Struktura vědeckých sekcí FZÚ v roce 2020

18



Sekce fyziky elementárních částic

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

doc. Alexander Kupčo, Ph.D.

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



Sekce fyziky kondenzovaných látek

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

Oddělení chemie

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 (do 6. 1. 2020)
Mgr. Jindřich Kolorenč, Ph.D. (od 7. 1. 2020)
Ing. Věra Hamplová, CSc.



Sekce fyziky pevných látek

Oddělení povrchů a molekulárních struktur (od 1. 4. 2020)
Oddělení polovodičů
Oddělení spintroniky a nanoelektroniky
Oddělení strukturní analýzy
Oddělení magnetik a supravodičů
Oddělení tenkých vrstev a nanostruktur
Oddělení optických materiálů
Oddělení diamantových a příbuzných materiálů

RNDr. Michal Dušek, CSc.

doc. Ing. Pavel Jelínek, Ph.D.
RNDr. Jiří J. Mareš, CSc.
Tomáš Jungwirth, Ph.D.
RNDr. Michal Dušek, CSc.
Ing. Jiří Hejtmánek, CSc.
RNDr. Antonín Fejfar, CSc.
doc. Ing. Martin Nikl, CSc.
doc. Ing. Alexander Kromka, Ph.D. (od 1. 11. 2020)



Sekce optiky

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

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.



Sekce výkonových systémů (do 30. 6. 2020)

Oddělení radiační a chemické fyziky
Centrum HiLASE

Ing. Tomáš Mocek, Ph.D.

Ing. Libor Juha, CSc.

Ing. Tomáš Mocek, Ph.D.

Sekce výkonových laserů – Centrum HiLASE (od 1. 7. 2020)

Oddělení radiační a chemické fyziky (Centrum PALS)
Oddělení vývoje pokročilých laserů (Centrum HiLASE)
Oddělení průmyslových aplikací laserů (Centrum HiLASE)
Oddělení vědeckých aplikací laserů (Centrum HiLASE)

Ing. Tomáš Mocek, Ph.D.

Ing. Libor Juha, CSc.

Ing. Martin Smrž, Ph.D.

Ing. Jan Brajer, Ph.D.

prof. Dr. Sci. Nadezhda M. Bulgakova, Ph.D.



Sekce realizace projektu ELI Beamlines (do 31. 10. 2020)

Oddělení laserových systémů
Oddělení experimentálních programů Beamlines
Oddělení systémového inženýrství

Ing. Roman Hvězda

Ing. Bedřich Rus, Ph.D.

Dr. Georg Korn

Dr. Georg Korn

Centrum ELI Beamlines (od 1. 11. 2020)

Oddělení laserových systémů
Oddělení radiační fyziky a urychlování elektronů
Oddělení technické infrastruktury a přístrojových služeb
Oddělení fyziky plazmatu a interakcí s ultravysokou intenzitou
Oddělení strukturní dynamiky
Oddělení urychlování iontů a aplikací vysokoenergetických částic

Ing. Roman Hvězda

Ing. Bedřich Rus, Ph.D.

prof. Sergey Vladimirovich Bulanov

Ing. Aleš Hála

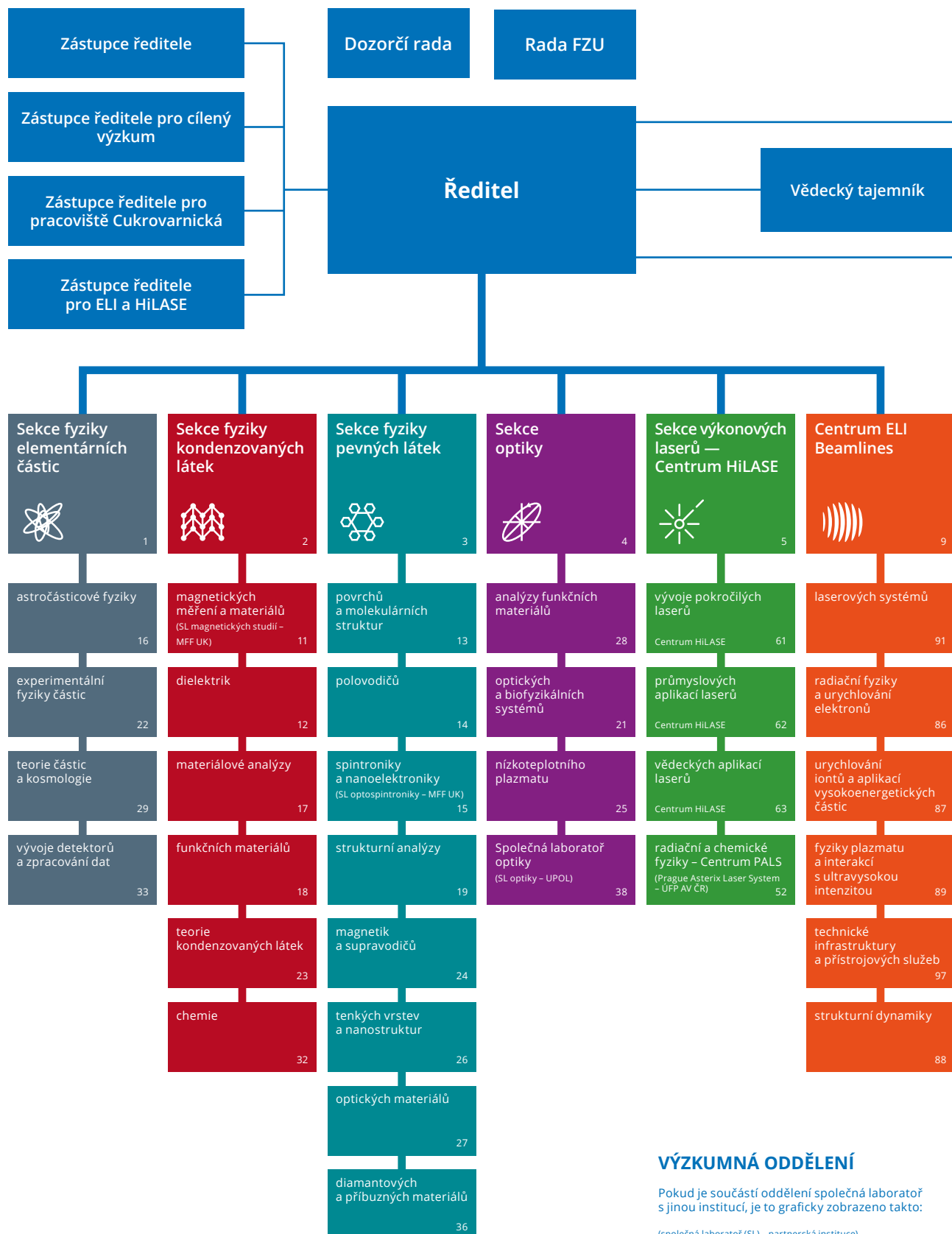
Dr. Stefan Andreas Weber

Jakob Andreasson, Dr.

Daniele Margarone, Ph.D.



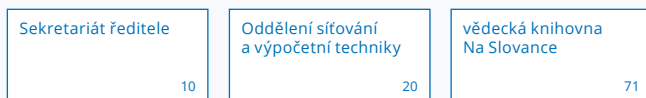
1.4 Struktura pracoviště



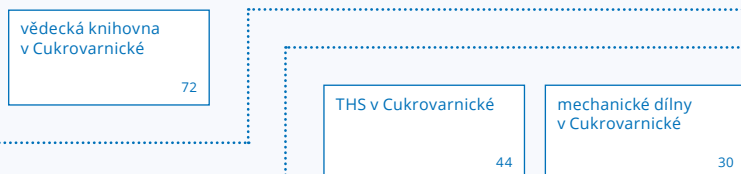


ADMINISTRATIVNÍ A PODPŮRNÁ ODDĚLENÍ

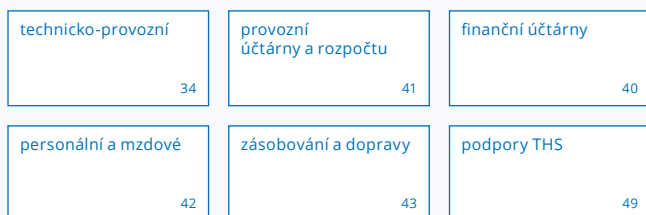
CENTRÁLNÍ ÚSEK [6]



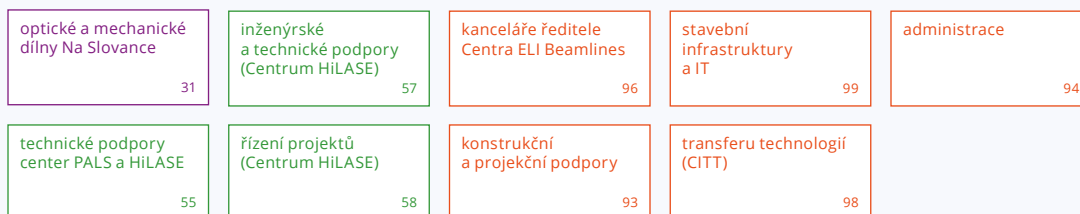
ADMINISTRATIVNÍ ÚSEK CUKROVARNICKÁ [8]



TECHNICKO-HOSPODÁŘSKÁ SPRÁVA (THS) [7]



PODPŮRNÁ ODDĚLENÍ SEKČÍ



1.4.1 Základní personální údaje

1. Členění zaměstnanců podle věku a pohlaví – stav k 31. 12. 2020 (fyzické osoby)

věk	muži	ženy	celkem	%
do 20 let	2	0	2	0,1 %
21–30 let	159	77	236	16,9 %
31–40 let	316	124	440	31,6 %
41–50 let	184	123	307	22,1 %
51–60 let	108	65	173	12,4 %
61–70 let	92	31	123	8,8 %
víc než 70	98	15	113	8,1 %
Celkem	959	435	1394	100,0 %
%	68,8 %	31,2 %		

2. Celkový údaj o vzniku a skončení pracovních a služebních poměrů zaměstnanců v roce 2020

	výzkumní pracovníci	studenti a doktorandi	odborní prac. VaV	dělníci	administrativa	celkem
nástupy	49	17	76	7	7	156
odchody	44	6	55	9	8	122

3. Trvání pracovního a služebního poměru zaměstnance – stav k 31. 12. 2020

doba trvání	celkem		z toho muži		z toho ženy	
	počet	%	počet		počet	
do 5 let	669	48,0 %	439		230	
5–10 let	297	21,3 %	213		84	
10–15 let	130	9,3 %	85		45	
15–20 let	78	5,6 %	55		23	
20–25 let	59	4,2 %	41		18	
25–30 let	41	3,0 %	30		11	
nad 30 let	120	8,6 %	96		24	
Celkem	1394	100,0 %	959		435	



4a. Systemizace výzkumných pracovníků – stav k 31. 12. 2020

Celkový počet výzkumných pracovníků se smlouvou na dobu určitou **433**

sekte / pracovníci	postdoktorand			vědecký asistent			vědecký pracovník			vedoucí vědecký pracovník		
	Celkem	Muži	Ženy	Celkem	Muži	Ženy	Celkem	Muži	Ženy	Celkem	Muži	Ženy
Sekce fyziky elementárních částic	23	20	3	4	4	0	20	19	1	11	11	0
Sekce fyziky kondenzovaných látek	31	23	8	9	7	2	24	16	8	12	11	1
Sekce fyziky pevných látek	47	27	20	12	7	5	32	27	5	21	21	0
Sekce optiky	19	14	5	11	9	2	22	18	4	12	9	3
Sekce výkonových laserů	18	13	5	8	8	0	16	13	3	2	1	1
Centrální úsek	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Technicko-hospodářská správa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Administrativní úsek Cukrovarnická	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sekce realizace projektu ELI a Beamlines	31	27	4	7	3	4	25	22	3	16	15	1
Celkem	169	124	45	51	38	13	139	115	24	74	68	6

Celkový počet výzkumných pracovníků se smlouvou na dobu neurčitou **103**

sekte / pracovníci	postdoktorand			vědecký asistent			vědecký pracovník			vedoucí vědecký pracovník		
	Celkem	Muži	Ženy	Celkem	Muži	Ženy	Celkem	Muži	Ženy	Celkem	Muži	Ženy
Sekce fyziky elementárních částic	0	0	0	0	0	0	3	1	2	8	7	1
Sekce fyziky kondenzovaných látek	0	0	0	1	1	0	15	13	2	18	16	2
Sekce fyziky pevných látek	0	0	0	1	1	0	7	6	1	25	23	2
Sekce optiky	0	0	0	1	1	0	4	4	0	8	8	0
Sekce výkonových laserů	1	1	0	0	0	0	3	2	1	5	4	1
Centrální úsek	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
Technicko-hospodářská správa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Administrativní úsek Cukrovarnická	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sekce realizace projektu ELI Beamlines	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0
Celkem	1	1	0	3	3	0	32	26	6	67	61	6

4b. Systemizace ostatních vysokoškolsky vzdělaných pracovníků – stav k 31. 12. 2020

	třída	počet celkem	muži	ženy
odborný pracovník	201	176	127	49
doktorand	202	96	73	23
Celkem		272	200	72

4c. Systemizace ostatních pracovníků – stav k 31. 12. 2020

	třída	počet celkem	muži	ženy
odborný pracovník s VŠ	300	239	136	103
odborný pracovník se SŠ, VOŠ	400	124	81	43
odborný pracovník VaV SŠ, VOŠ	500	48	40	8
THP pracovník	700	93	14	79
dělník	800	67	45	22
provozní pracovník	900	15	7	8
Celkem		586	323	263

5. Průměrná měsíční mzda za rok 2020**a) Institucionální mzdové prostředky / přepočtený stav zaměstnanců pracoviště / 12 v Kč**

Průměrný přepočtený stav zaměstnanců	577,24
Průměrná měsíční mzda	52 908

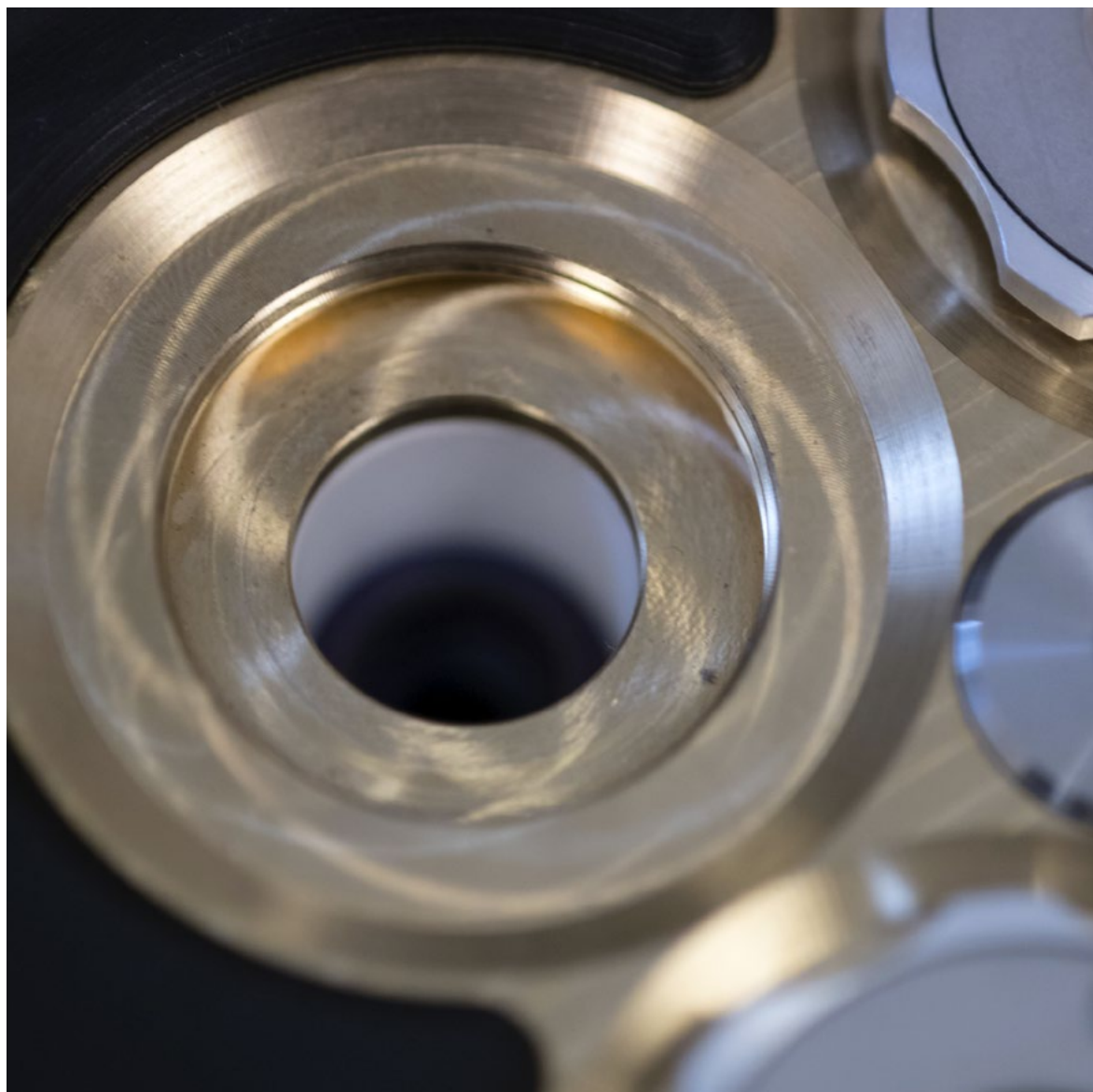
b) Institucionální + grantové mzdové prostředky bez OON / přepočtený stav (i z grantů) zaměstnanců pracoviště / 12 v Kč

Průměrný přepočtený stav zaměstnanců	1 139,30
Průměrná měsíční mzda	54 090

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

	třída	mzda
odborný pracovník	201	48 423
doktorand	202	33 240
postdoktorand	103	55 619
vědecký asistent	104	50 704
vědecký pracovník	105	63 507
vedoucí vědecký pracovník	106	91 447
odborný pracovník s VŠ	300	56 513
odborný pracovník s SŠ, VOŠ	400	43 469
odborný pracovník VaV SŠ, VOŠ	500	40 656
THP pracovník	700	49 351
dělník	800	27 908
provozní pracovník	900	36 679





A vertical decorative image on the left side of the page, showing a stack of CD or DVD discs. The image is dark and has a blue tint, matching the overall theme of the slide.

2.

Hodnocení hlavní činnosti

2.1. Sekce fyziky elementárních částic v roce 2020

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 mikrosvětla a zkoumajících jevy zahrnující vysokoenergetické částice v kosmickém záření. Jedná se o následující projekty:

Experimenty v Evropském středisku fyziky částic u Ženevy (CERN) na Velkém hadronovém 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 2020 intenzivně pokračovalo zpracování dat z Run 2. Urychlovač dodal v Run 2 156 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 okolo dopředného 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 Fermiho národní laboratoři u Chicaga (Fermilab)

Experiment **NOvA** zkoumá vlastnosti neutrin. Vlastnosti svazku neutrin jsou měřeny v detektoru ve Fermilab 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 Leadu, Jižní Dakota. Umožní podstatně zpřesnit měřené veličiny pro oscilaci neutrin a jejich hmotnost, stejně jako parametry narušení symetrie CP. Účastníme se přípravy testů 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 Univerzity Palackého v Olomouci a FZÚ. 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 celoooblohovém 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 sítě 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 Experimenty v CERN

Experiment ATLAS

V roce 2019 začala pravidelná odstávka urychlovače LHC a experimentu ATLAS, která bude v důsledku mimořádných opatření souvisejících s epidemií covid-19 prodloužena až do začátku roku 2022. Pracovníci FZÚ se tradičně podíleli na zajišťování údržby vnitřního dráhového detektoru a hadronového kalorimetru Tile-Cal, což jsou části experimentu ATLAS, k jejichž stavbě v minulosti FZÚ přispěl. V roce 2020 odsloužili pro experiment ATLAS 237 směn, ať už v kontrolní místnosti experimentu nebo jako tzv. on-call experti pro jednotlivé subdetektory, podíleli se na technickém zajištění provozu ATLAS (údržba, provoz počítačového Tier-2 centra ve FZÚ apod.) v rozsahu šesti úvazků, a přispěli k modernizaci detektoru v rozsahu 8,8 úvazku.

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 2020 pokračovaly ve FZÚ přípravy na budoucí účast při výrobě a sériovém testování těchto nově vyvinutých detektorů.

Vědecká skupina vývoje a testování stripových křemíkových detektorů se zabývala zejména projektem ATLAS Inner Tracker (ATLAS ITk), který se dostal do

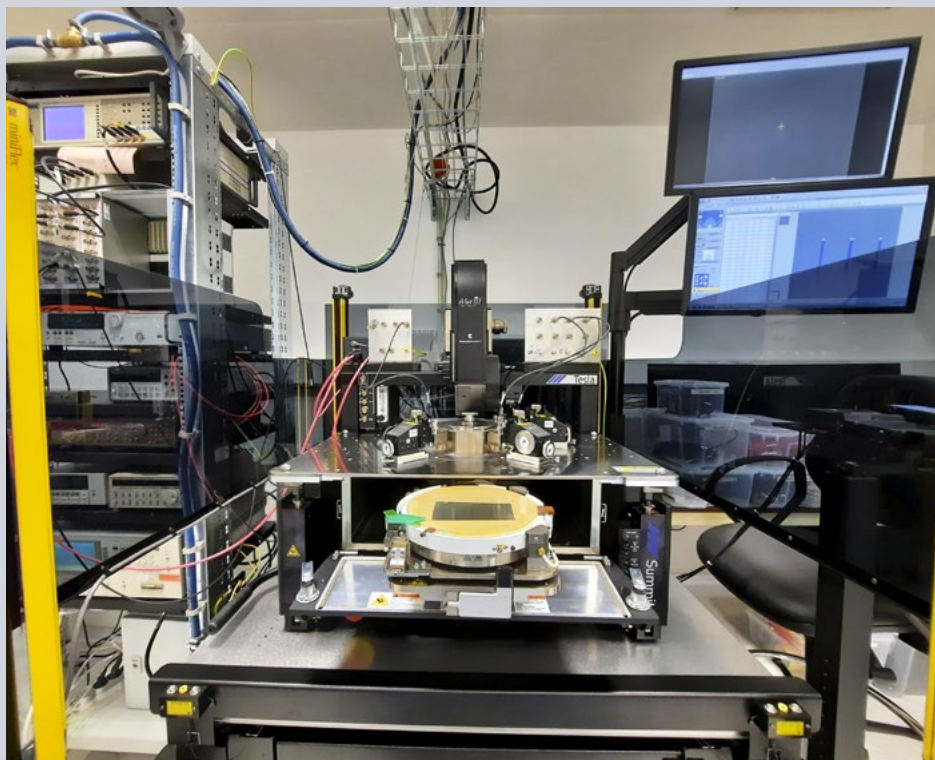
své předprodukční fáze. Hlavním cílem tohoto projektu je kompletní výměna současného dráhového detektoru experimentu ATLAS za zcela nový plně křemíkový dráhový detektor ATLAS Inner Tracker, který bude schopen s vysokou účinností měřit dráhy nabitých částic produkovaných na urychlovači HL-LHC v CERN.

V rámci předprodukční fáze projektu ATLAS ITk bylo nejprve nezbytné oficiálně kvalifikovat jednotlivé měřicí systémy připravené pro Quality Control a Quality Assurance testování ITk křemíkových stripových senzorů. Mezi tyto měřicí systémy instalované v čisté laboratoři pro testování křemíkových detektorů částic patří aparatura pro vizuální inspekci senzorů, metrologický systém zahrnující metrologickou stanici OGP SmartScope CNC 500, testovací stanice Karl Suss PA200 použitá pro měření voltampérových a volt-kapacitních charakteristik senzorů, testovací stanice Tesla 200mm využívaná zejména pro strip-by-strip měření neozařených a ozařených senzorů a systém pro monitorování dlouhodobé stability závěrného proudu protékajícího vyprázdněným senzorem umístěným ve vysoušecí skříni MP Dry Cabinet I ST. Všechny měřicí systémy určené pro Quality Control testování křemíkových senzorů se nám podařilo úspěšně kvalifikovat, a to jako v první laboratoři v celé mezinárodní kolaboraci. Aparatura pro měření Quality Assurance vzorků se v současnosti intenzivně připravuje a její kvalifikace se očekává v první čtvrtině roku 2021.

Na kvalifikovaných měřicích systémech následně začalo Quality Control testování předprodukčních senzorů, které již mají finální design. Celkem bylo otestová-



Obr. 1 Probe station Tesla 200mm s ATLAS ITk stripovým křemíkovým senzorem typu R5 instalovaným na zlatém chucku, který přivádí na zadní stranu senzoru vysoké napětí a reguluje jeho teplotu v rozmezí -55 až $+300$ °C. Bias ring senzoru je neustále uzemněn pomocí Flying probe, která se pohybuje společně s chuckem. Čtyři testovací sondy vstupující do environmentální komory probe station přes její horní uzávěr slouží pro měření interstripové rezistivity.



no 205 EndCap senzorů všech typů (R0, R1, ..., R5). Na všech těchto senzorech byla nejprve provedena vizuální inspekce. Následně proběhlo měření planarity, HD skenování a měření volt-ampérových a volt-kapacitních charakteristik. U dvaceti procent vzorků byl proveden také detailní strip test, při kterém se měří hodnoty kritických veličin na každém jednotlivém stripu, a test stability protékajícího závěrného proudu. Během několika měsíců se podařilo otestovat všechny požadované senzory a splnit tak podmínky tzv. Production Readiness Review (PRR). Úspěšné zakončení PRR je přitom nezbytné pro přechod celého projektu do produkční fáze.

Kromě předprodukčního testování ATLAS ITk stripových křemíkových senzorů se vědecká skupina významně podílela na ozařovacích a testbeam kampaňích 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 UJP Praha, a. s., proběhlo v roce 2020 několik ozařování testovacích vzorků pomocí intenzivního ^{60}Co zdroje částic gama, přičemž některá z těchto ozařování zahrnovala měření elektrických charakteristik senzorů v průběhu absorpce ionizační dávky. Skupina se také podílela na jedné testbeam kampaňi projektu ATLAS ITk v laboratoři Deutsches Elektronen-Synchrotron (DESY) v Hamburku. Intenzivní je též spolupráce s kolegy z ELI Beamlines, v rámci které se účastníme studia poškození LGAD křemíkových detektorů laserovými svazky.

V roce 2020 byla velká pozornost věnována fyzikální analýze experimentálních dat, především zpracování celkového souboru proton-protonových dat z Run 2 při těžištové energii srážek 13 TeV. Experiment ATLAS v tomto roce publikoval nebo zaslal k publikaci kolem 110 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 nejvýznamnější příspěvky patří přesvědčivé pozorování páru bosonů W (nositelů elektroslabé interakce) vzniklých exkluzivně z interakce dvou fotonů (nositelů elektromagnetické interakce) [1]. Exkluzivitou se zde rozumí, že nic jiného než 2 bosony W , respektive leptony vzniklé jejich rozpadem, se v celém centrálním detektoru nepozoruje. Podobný koncový stav, tedy výlučně dva leptony v celém centrálním detektoru, byl přesvědčivě odseparován od pozadí v další práci [2] (viz významný výsledek č. 1, str. 170), kde existence nalétávajících fotonů byla podpořena detekcí dopředných protonů ve speciálním dopředném detektoru AFP. Výsledky obou prací byly vyvedeny v prezentaci mluvčího kolaborace ATLAS na nejvýznamnější konferenci v oboru ICHEP2020 (přes 3000 účastníků), která byla organizována virtuálně v Praze a na jejíž organizaci se FZÚ podílel. Dále jsme se významně podíleli na prvním pozorování elektroslabé komponenty v párové produkci bosonů Z asociované s produkcí dvou jetů [3]. K analýze dat přispíváme

i poskytováním příslušné části výpočetní kapacity, a to formou distribuovaného zpracování dat, které probíhá 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 o proveditelnosti detekce páru dvou top kvarků, které byly produkovány exkluzivně [4], či studie výkonnosti ToF detektoru, který je součástí detektoru AFP a jehož cílem je potlačovat kombinatorické pozadí [5].

LITERATURA

- [1] ATLAS Collaboration, Observation of photon-induced production in pp collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV using the ATLAS detector, arXiv: 2010.04019 [hep-ex].
- [2] ATLAS Collaboration, Observation and Measurement of Forward Proton Scattering in Association with Lepton Pairs Produced via the Photon Fusion Mechanism at ATLAS, *Phys. Rev. Lett.* **125** (2020) 26, 261801.
- [3] ATLAS Collaboration, Observation of electroweak production of two jets and a ZZ -boson pair with the ATLAS detector at the LHC, arXiv: 2004.10612 [hep-ex].
- [4] V. P. Goncalves, D. E. Martins, M. S. Rangel, M. Tasevsky, Top quark pair production in the exclusive processes at the LHC, *Phys. Rev. D* **102** (2020) 7, 074014.
- [5] K. Černý, M. Taševský, T. Sýkora, R. Žlebčík, Performance studies of Time-of-Flight detectors at LHC, *J. Instr.* **16** (2021) 01, P01030.

Experiment TOTEM

V roce 2020 TOTEM publikoval tři analýzy. Ve dvou z nich se zabývá zkoumáním možností interpretace naměřených účinných průřezů elastického rozptylu pomocí existence tzv. odderonu, vázaného stavu tří gluonů s lichou nábojovou symetrií. Jeho přidáním, k již standardní složce, dvougluonovému vázanému stavu (tzv. pomeronu), by se pak snáze vysvětlila jednak pozorovaná nižší hodnota ρ parametru v práci [6], jednak rozdíl v průběhu diferenciálního účinného průřezu v oblasti prvního minima oproti datům z experimentu D0 v práci [7]. Fyzikové z FZÚ se přímo podíleli na publikovaných analýzách dat a také na interpretaci měření v rámci vlastního modelu elastických srážek.

LITERATURA

- [6] TOTEM Collaboration, Elastic differential cross-section $d\sigma/dt$ at $\sqrt{s}=2.76$ TeV and implications on the existence of a colourless C-odd three-gluon compound state, *Eur. Phys. J. C* **80** (2020) 2, 91.

- [7] TOTEM Collaboration, Comparison of pp and pp^- differential elastic cross sections and observation of the exchange of a colorless C-odd gluonic compound, arXiv: 2012.03981 [hep-ex].

Experiment ALICE

Během roku 2020 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). Ve fyzice mikrosvěta je důležitým úkolem ověření a hlubší pochopení mechanismu silných interakcí v jazyce QCD a v unikátních podmínkách urychlovače LHC. V tomto kontextu považujeme za velmi významné nové poznatky shrnuté v práci [8]. S využitím formalismu tzv. korelačních funkcí (v prostoru hybností) se podařilo získat zcela nové informa-

ce o působení silných interakcí mezi dvěma různými hadrony na velmi krátkých vzdálenostech (~femtometr). Tyto informace jsou zvláště cenné například pro studium efektivní interakce mezi nukleony a hyperony, u kterých prakticky nelze získat data z kolizních experimentů. Získané výsledky se porovnávají s QCD výpočty na mříži.

LITERATURA

- [8] ALICE Collaboration, Unveiling the strong interaction among hadrons at the LHC, *Nature* **588**, (2020) 232–238.
doi.org/10.1038/s41586-020-3001-6

2.1.2 Experimenty ve Fermilabu

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. Neutrino 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 jakéhokoli 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 Avalanche Photo Diode (APD). 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 možností 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 2020 jsme přispívali k provozu vzdáleného a blízkého detektoru, účastnili se směn při sběru dat a podíleli se též na analýze dat. Přispíváme také k výpočetním kapacitám pro simulační úlohy prostřednictvím počítačových prostředků umístěných

ve FZÚ. Jsme rovněž 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 [9]. Ty dále zpřesňují naše dosavadní znalosti o oscilacích neutrin. Experiment nicméně publikuje výsledky týkající se nejen oscilací neutrin, ale hledá i propojení detekovaných neutrin s jevy souvisejícími s detekcí gravitačních vln [10] (tzv. „multi-messenger signals“) a s případnými kolapsy supernov do černých děr [11].

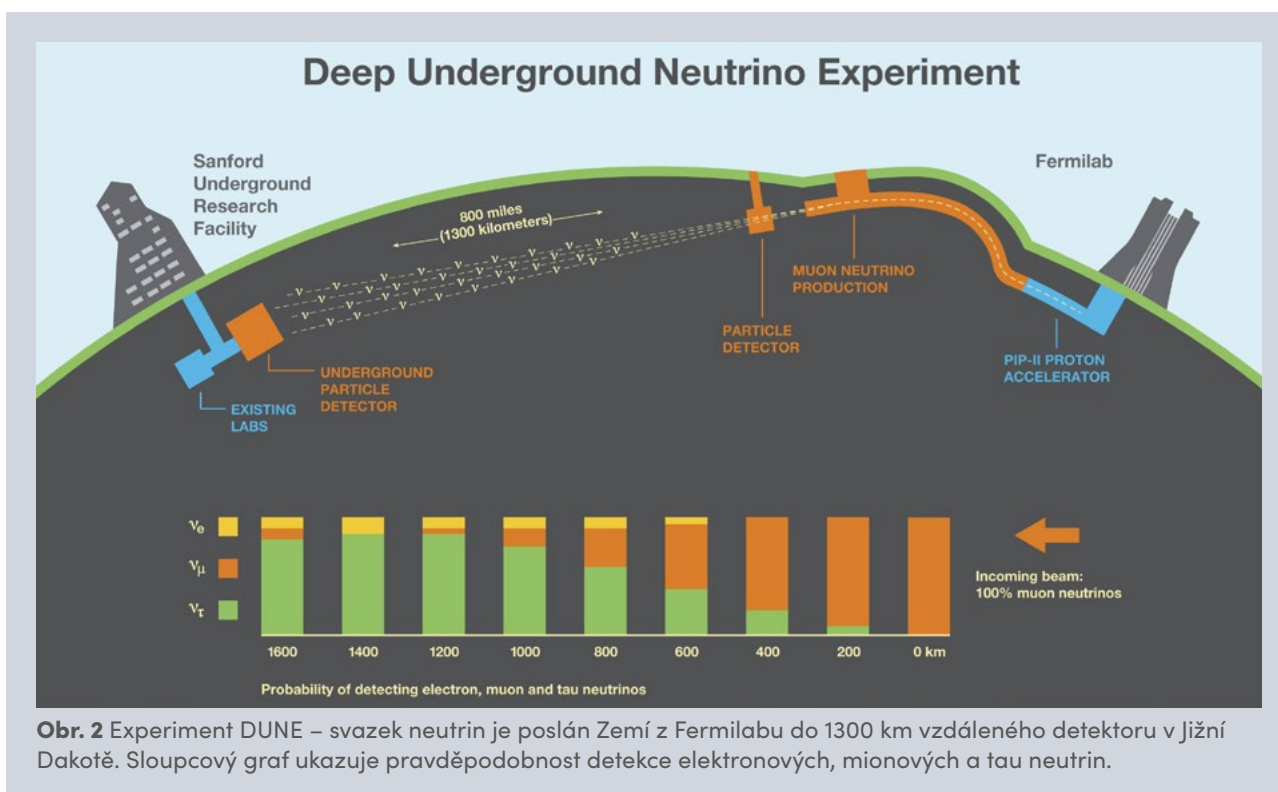
LITERATURA

- [9] NOvA Collaboration (z FZÚ P. Filip, M. Lokajíček, J. Zálešák), Adjusting neutrino interaction models and evaluating uncertainties using NOvA near detector data, *Eur. Phys. J. C* **80** (2020) 12, 1119.
[10] NOvA Collaboration (z FZÚ P. Filip, M. Lokajíček, J. Zálešák), Search for multimessenger signals in NOvA coincident with LIGO/Virgo detections, *Phys. Rev. D* **101** (2020) 11, 112006.
[11] NOvA Collaboration (z FZÚ P. Filip, M. Lokajíček, J. Zálešák), Supernova neutrino detection NOvA, *JCAP* **10** (2020) 014.

Experiment DUNE

Jako následník experimentu NOvA se ve Fermilabu připravuje nový experiment Deep Underground Neutrino Experiment (DUNE), který umožní podstatně zpřesnit měření veličiny pro oscilaci neutrin a jejich hmotnost, stejně jako parametry narušení symetrie CP. Fyzikální program zahrnuje též registraci neutrin potenciálně přicházejících z explozí supernov a měření případného rozpadu protonů.





Obr. 2 Experiment DUNE – svazek neutrin je poslán Zemí z Fermilabu do 1300 km vzdáleného detektoru v Jižní Dakotě. Sloupcový graf ukazuje pravděpodobnost detekce elektronových, mionových a tau neutrin.

DUNE je mezinárodní experiment s celosvětovou účastí včetně laboratoře CERN, která v celém projektu hraje důležitou roli. V roce 2020 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. Také se rozběhly naplno přípravné práce pro upgrade urychlovacího komplexu.

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 2028, druhý modul by měl následovat s ročním odstupem. V roce 2029 po celkové 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.

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 2019 umístěn na svazku částic (urychlovač SPS) s dobře definovanou vstupní energií. Po mnoha dalších testech, které proběhly v roce 2020 (z počátku roku za naší pokračující účasti, přerušené epidemií covid-19), byl první běh prototypu úspěšně ukončen a připravujeme se na běh druhý. Na základě výsledků měření v prototypu pro druhou technologii se experiment rozhodl technologii dual phase opustit a v současnosti začínáme vyvíjet novou verzi prototypu, tzv. „vertikální drift“. Zpracovaná

data z testů prototypu single phase jsou základem první fyzikální publikace experimentu [12].

LITERATURA

- [12] DUNE Collaboration (z FZÚ M. Lokajíček, J. Zálešák, J. Zuklín) First results on ProtoDUNE-SP liquid argon time projection chamber performance from a beam test at the CERN Neutrino Platform, *JINST* 15 (2020) 12, P12004.

Detektorová laboratoř ve FZÚ vybudovaná pro experiment NOvA byla rozšířena pro testování fotodetektorů pro DUNE při velmi nízkých teplotách. Poté, co byla ustanovena základní konsorcium pro stavbu vzdáleného detektoru, FZÚ jako vedoucí z českých institucí se stal pevnou součástí konsorcia pro fotodetekční systém a má také zastoupení v jeho „Project Management Board“. Touto účastí jsme se zavázali k nákupu, měření a dodávce silikonových fotonásobičů pro výstavbu dvou modulů. V první fázi během roku 2020 jsme měřili několik vzorků těchto polovodičových součástek (SiPM) v naší laboratoři jak za pokojové, tak především za velmi nízké teploty v tekutém dusíku. Účelem těchto testů bylo potvrdit požadované parametry a dále na základě měření vybrat dva konečné typy, které budou nainstalované v prototypu během druhého běhu v období 2021–2022. Přes mnohá omezení jsme dodali výsledky v takové podobě, abychom mohli se spolupracujícími institucemi z Itálie, Španělska a USA v nejbližší době provést konečný a kvalifikovaný výběr.



2.1.3 Experimenty v astročásticové fyzice

Observatoř Pierra Augera

Největší experimentální zařízení pro detekci kosmického záření nejvyšších energií byla postavena za účasti 17 zemí světa 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.

Rok 2020 byl i na Observatoři Pierra Augera výrazně ovlivněn pandemií covid-19. Od března byl prakticky zakázán pobyt zahraničních pracovníků na Observatoři, včetně uzavření březnové operátorské směny do karantény těsně po příjezdu. V nejhroších měsících dokonce ani argentinští pracovníci neměli přístup k infrastruktuře. Přesto se, a to za výrazného přispění FZÚ, podařilo po celou dobu roku 2020 s výjimkou jediné směny plně provozovat jak povrchový, tak i fluorescenční detektor Observatoře ve vzdáleném režimu. Skupina při FZÚ otevřela v Praze vzdálený velín fluorescenčního detektoru (obr. 3 vlevo) a odsloužila ve spolupráci s kolegou z MFF UK celý červencový měřicí cyklus a polovinu listopadového. Tento způsob provozu Observatoře je, přes obrovské nasazení pracovníků napříč členskými státy, dlouhodobě neudržitelný. Již nyní se na Observatoři projevují provozní chyby způsobené zanedbanou údržbou. I v souvislosti s rozšířením Observatoře je účast pracovníků FZÚ v Argentině v následujícím období nevyhnutelná.

Pražská laboratoř astročásticové fyziky se intenzivně připravovala na masové testování nové elektroniky pro povrchové detektory modernizované Observatoře (obr. 3 vpravo). Byla provedena řada přípravných testů prototypů elektronických součástek UUB (Unified Universal Board) v teplotní komoře a aktualizována byla celá testovací procedura. Pro časovou optimalizaci testů byla zapůjčena druhá teplotní komora. V březnu, těsně před uzavřením českých hranic, jsme pořádali poradu pracovní skupiny pro novou elektroniku

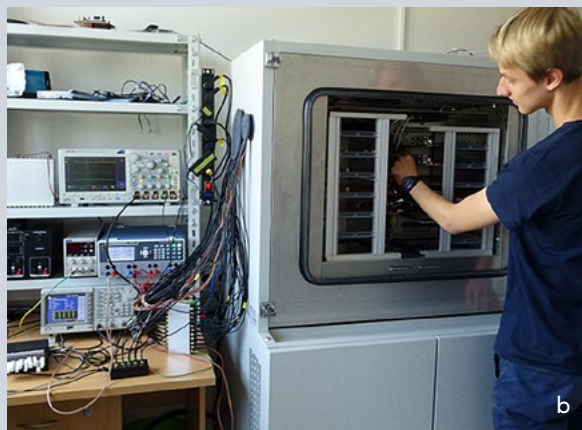
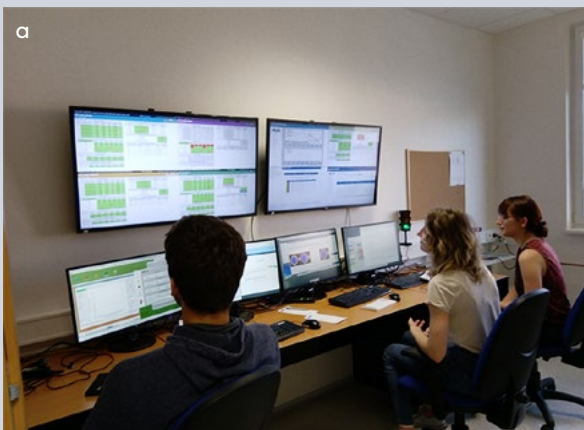
povrchového detektoru za účasti mluvčího Observatoře Ralpha Engela a dalších významných vědců.

Co se týče fyzikální analýzy dat Observatoře Pierra Augera, k nejvýznamnějším výsledkům patří publikace ukazující, že letitý problém nedostatečného popisu mionové komponenty spršek kosmického záření moderními modely jádro-jaderných interakcí se objevuje nejen při energiích kolem 10 EeV, ale i při podstatně nižších energiích od 0,2 EeV [13].

Mezi dvě zcela nejdůležitější publikace za rok 2020, ke kterým přispěla i pražská skupina, patří články [14, 15] (viz významný výsledek č. 2, str. 171). Ty se týkají přesného měření energetického spektra nalétávajících částic kosmického záření. V publikaci [16] ukazuje Observatoř Pierra Augera, že fluorescenční detektor nečekaně umožňuje studovat i zajímavé atmosférické jevy daleko za rámcem astročásticové fyziky, jako jsou elfové – elektrické výboje vysoko nad povrchem Země. Příspěvek Observatoře k tzv. „multimessenger approach“, který kombinuje studium astrofyzikálních jevů pomocí dat různých experimentů a observatoří, demonstrovuje článek [17].

Pracovníci podílející se na činnosti Observatoře se účastnili praktické a odborné realizace konference ICHEP2020 v Praze jako organizátoři poster session pro astročásticovou fyziku nebo jako technická a organizační složka místního organizačního výboru.

V roce 2020 jsme také provedli podrobné Monte Carlo studie, týkající se možnosti vybudování druhého dalekohledu FRAM v lokalitě AUGER Coihueco. Připravili jsme příslušnou dokumentaci, která následně prošla technickou kontrolou Observatoře, a nakonec jsme získali v dubnu 2020 souhlas s konstrukcí tohoto zařízení. Během zbytku roku se ovšem z důvodu pandemické situace nemohla samotná výstavba dalekohledu v Argentině uskutečnit. Proto jsme se rozhodli dočasně aparaturu umístit na dvůr FZÚ pro testovací účely. Převoz do Argentiny a konstrukce na místě je plánována na druhou polovinu roku 2021.



Obr. 3 (a) Pražský velín fluorescenčního detektoru Observatoře Pierra Augera – FZÚ, červenec 2020.
(b) Testování desek s elektronikou pro upgrade Observatoře v klimatické komoře v pražské laboratoři.

LITERATURA

- [13] 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), Direct measurement of the muonic content of extensive air showers between 2×10^{17} and 2×10^{18} eV at the Pierre Auger Observatory, *Eur. Phys. J. C* **80** (2020) 751(1) – 751(19)
doi.org/10.1140/epjc/s10052-020-8055-y.
- [14] 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), Features of the Energy Spectrum of Cosmic Rays above 2.5×10^{18} eV Using the Pierre Auger Observatory, *Phys. Rev. Lett.* **125** (2020) 121106(1) – 121106(10).
doi.org/10.1103/PhysRevLett.125.121106
- [15] 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), Measurement of the cosmic-ray energy spectrum above 2.5×10^{18} eV using the Pierre Auger Observatory, *Phys. Rev. D* **102** (2020) 062005(1) – 062005(27).
doi.org/10.1103/PhysRevD.102.062005
- [16] 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), A 3-Year Sample of Almost 1,600 Elves Recorded Above South America by the Pierre Auger Cosmic-Ray Observatory, *Earth*

Space Sci. **7** (2020) EA000582(1).

doi.org/10.1029/2019EA000582

- [17] 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), A Search for Ultra-high-energy Neutrinos from TXS 0506+056 Using the Pierre Auger Observatory, *ApJ* **902** (2020) 105(1) – 105(8). [AA6] J. Vícha *et al.*, Invisible Energy from KASCADE Data, PoS(ICRC2019)453.
doi.org/10.3847/1538-4357/abb476

Cherenkov Telescope Array (CTA)

Budoucí observatoř pro detekci velmi energetického záření gama 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.

Rovněž v případě CTA činnost pracovníků FZÚ silně ovlivnila celosvětová situace. Zatímco dalekohled FRAM na ostrově La Palma průběžně nabíral data, dva teleskopy FRAM v lokalitě ESO Chile po uzavření Observatoře přerušily pro nedostatek servisních činností a provozní chyby svá měření v dubnu 2020. Nejnověji jsou dalekohledy opět v provozu, La Palma měří průběžně a na ESO Chile nabírá data jeden ze dvou teleskopů. Drobná servisní oprava druhého systému je plánována co nejdříve. Z důvodu problémů se zajištěním servisních cest jsme se o to více soustředili na zpracování dosud nabitých dat. Do časopisu jsou zaslány dva články – první, který ukazuje na souvislosti měření na Observatoři Pierre Augera a druhý, který se týká výhradně systémů FRAM na CTA.

V listopadu 2020 vstoupil FZÚ do sub-konsorcia Large Size Telescope (LST) [18]. Prototyp prvního LST teleskopu je umístěn na ostrově La Palma – obr. 4 vle-



Obr. 4 (a) Teleskop LST na ostrově La Palma. (b) Příprava základů pro první teleskop SST-1M v Ondřejov

vo. Co se týče teleskopů SST-1M, na jejichž konstrukci (dva prototypy) jsme se podíleli v letech 2017–2019 a které nakonec nebyly vybrány pro umístění v rámci CTA, připravili jsme podmínky a zahájili výstavbu infrastruktury pro jejich dočasné umístění v Ondřejově – obr. 4 vpravo.

Southern Wide-field Gamma ray Observatory (SWG0)

V roce 2020 pokračovalo i naše zapojení do projektu SWG0, který má za cíl postavení budoucí celoblohové observatoře záření gama a nachází se nyní přibližně uprostřed tříleté R&D fáze. Během této fáze je především nutné zvolit nejvhodnější koncept detektoru a lokalitu pro budoucí observatoř.

Naše skupina je aktivně zapojena do studia různých designů vodních čerenkovských detektorů a rovněž odhadu vědeckého potenciálu případného rozšíření observatoře o jeden či více teleskopů. Společně s kolegy ze Společné laboratoře optiky byl vyvinut systém AEROSITE, který bude sloužit pro studium důležitých atmosférických podmínek na 4 kandidátských místech v Jižní Americe. Stanice AEROSITE byly sestaveny a otestovány a nyní se připravují k přepravě na kandidátské lokality SWG0. Za celou kolaboraci SWG0 byl projekt prezentován na největší částicové konferenci ICHEP 2020 a následně publikován ve sborníku [19].

LITERATURA

- [18] J.A.Barrio on behalf of The CTA Consortium (za FZÚ: J. Blazek, M. Bohacova, J. Chudoba, J. Ebr, P. Hamal, P. Janecek, J. Jurysek, D. Mandat, M. Palatka, M. Pech, M. Prouza, P. Schovanek, P. Travnicek, M. Vrstil, J. Vicha), Status of the large size telescopes and medium size telescopes for the Cherenkov Telescope Array observatory, *Nucl. Instrum. Meth. A* **952** (2020) 161588. doi.org/10.1016/j.nima.2018.11.047

- [19] J. Vicha on behalf of the SWG0 Collaboration, The Southern Wide-field Gamma-ray Observatory (SWG0), accepted as PoS (ICHEP2020)880.

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

Observatoř je na dobré cestě vidět své první světlo na začátku roku 2023 – viz obr. 5 vlevo. Kamera byla sestavena a prochází testováním v laboratoři Stanford Linear Accelerator Center (SLAC). Naše skupina pečlivě sleduje vývoj a přispívá do fáze uvádění zařízení do provozu. Největší zájem máme o vyhodnocení výkonu senzorů, zejména o data získaná pomocí radioaktivního zdroje ^{55}Fe . Rentgenové fotony ukládají v senzorech přesně definovanou energii a naším příspěvkem je vyhodnocení načteného signálu. Tímto způsobem lze přesně kontrolovat odezvu kamery a provést potřebné opravy. Rovněž jsme provedli studii povrchových nehomogenit jednoho typu senzoru (ITL), které vznikají kvůli vrstvě oxidovaného křemíku a zbytkům po čištění na povrchu senzoru [20].

V rámci budované observatoře se zapojujeme i do přípravy na analýzu vědeckých dat. Účastníme se například vědeckého programu pro studium přechodných a proměnných hvězd a dále projektu zaměřeného na klasifikaci přechodných jevů měřených v reálném čase [21], přičemž naše aktivity jsou zaměřeny na vytváření způsobu identifikace osamocených dosvitů záblesků gama a kilonov.

V roce 2020 bylo dále vylepšeno vybavení laboratoře pro testování optických senzorů v astronomii (nové lineární a rotační stupně, wolframová halogenová lampa sekundárního výzkumu) a v řídicím a zobrazovacím softwaru byly pro nové přístroje postupně implementovány další nové moduly – viz obr. 5 vpravo.

Získali jsme novou kameru českého výrobce Moravské přístroje C4–16000 se slibnými parametry pro astronomické aplikace. Nyní plánujeme důkladné testování této kamery v laboratorních podmínkách a také její testování při pohledu na oblohu. Naším cílem je zlepšit její použitelnost pro astronomii vyladěním



Obr. 5 (a) Práce pokračují na Observatoři Vera C. Rubin na vrcholu Cerro Pachón (2682 m) v Chile. **(b)** Laboratoř pro testování optických senzorů v astronomii.

vnitřního softwaru kamery a také specifickými opravami sbíraných dat. V roce 2020 byla rovněž uskutečněna rozsáhlá srovnávací charakterizace dalších komerčně dostupných kamer Andor sCMOS, Andor Neo a Andor Marana, zaměřená na stabilitu pixelů, linearitu, časovou odezvu a prostorový šum [22].

LITERATURA

- [20] A. Bajat, A. Christov, S. Karpov, and M. Prouza. Surface features in U-band of ITL devices for the LSST telescope, *Proc. SPIE 11454, X-Ray, Optical, and Infrared Detectors for Astronomy IX*, 114542D (13 December 2020). doi.org/10.1117/12.2559946

- [21] Möller, Anais et al. (z FZÚ S. Karpov), A new generation of broker for the LSST community, *MNRAS*, 2020, Volume 501, Issue 3, March 2021, Pages 3272–3288.
- [22] S. Karpov, A. Bajat, A. Christov, M. Prouza, and G. Beskin, Evaluation of scientific CMOS sensors for sky survey applications, *Proc. SPIE 11454, X-Ray, Optical, and Infrared Detectors for Astronomy IX*, 114540G (13 December 2020). doi.org/10.1117/12.2561834

2.1.4 Teorie

V uplynulém roce 2020 jsme se věnovali, především v rámci Středoevropského centra pro kosmologii a fundamentální fyziku (CEICO), na něž ústav obdržel v roce 2016 prostředky z programu OP VVV, širokému spektru teoretických aktivit. Mezi cíle centra patří studium kosmologie raného a pozdního vesmíru, temné hmoty a 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 popsáná v oddíle věnovaném astročásticové fyzice.

Teorie strun a kvantové gravitace

V práci [23] jsme našli nový příklad tzv. double copy dualit mezi kalibračními a gravitačními teoriemi. Konkrétně se nám podařilo objevit nový vztah mezi obecnou třídou přesných reálných řešení Einsteinoých rovnic a self-duálních řešení vakuových Maxwellových rovnic v prostoru. V [24] studujeme verzi informačního paradoxu v 2+1 dimenzích a ukazujeme, jak lze z třídy mikrostavových řešení získat zpět informace. Efektivní kvantovou mechaniku systémů D-brán s AdS2 hrdlem černé díry studujeme v [25] a ukazujeme, že se řídí superkonformní symetrií $D(2,1,0)$.

Pomocí techniky lokalizace v prostoru světlošných modulů jsme našli výraz pro čtyřbodové on-shell amplitudy v heterotické strunové teorii pole při nulové hybnosti a ověřili tvar algebraických členů kvartického potenciálu v odpovídajících efektivních polních teoriích [26]. Rovněž jsme aplikovali pokročilé techniky

homologické poruchové teorie k určení tvaru efektivní akce pro polní teorii otevřených strun za přítomnosti exaktně marginálního pozadí uzavřených strun a k vyintegrování nefyzikálních nehmotných polí při nulové hybnosti [27]. Proces rozpadu nestabilní D-brány na pozadí lineárního dilatonu jsme studovali v [28] pomocí formalismu teorie pole otevřených strun. Zjistili jsme, že v tachyonovém vakuu mohou existovat fluktuace za předpokladu, že jsou „skryty“ jako neperturbativní efekty v asymptotické řadě. V [29] jsme studovali na příkladu tachyonového vakua vlastnosti klasických řešení teorie pole otevřených strun mimo nejběžnější Siegelovu kalibraci.

BRST kohomologii časupodobné Liovilovy teorie jsme spočítali v [30] a dokázali jsme též platnost no-ghost teorému. V [31] jsme studovali bosonickou chirální strunu a její fyzikální spektrum. Odvodili jsme strunový původ pro teorii typu $YM + DF^2$, včetně vysvětlení akcí efektivní teorie pole s vyššími derivacemi pro ambitwistorovou strunu.

LITERATURA

- [23] Kara Farnsworth, The Newman-Penrose map and the classical double copy, *JHEP* **12** 2020, 121. [doi.org/10.1007/JHEP12\(2020\)121](https://doi.org/10.1007/JHEP12(2020)121)
- [24] Ondrej Hulik, Joris Raeymaekers, Orestis Vasilakis, Information recovery from pure state geometries in 3D, *JHEP* **06** (2020) 119. [doi.org/10.1007/JHEP06\(2020\)119](https://doi.org/10.1007/JHEP06(2020)119)
- [25] Joris Raeymaekers, Superconformal mechanics of AdS2 D-brane boundstates, *JHEP* **12** (2020) 176. [doi.org/10.1007/JHEP12\(2020\)176](https://doi.org/10.1007/JHEP12(2020)176)
- [26] Erbin, H., Maccaferri, C. & Jakub Vošmera, Localization of effective actions in heterotic



- string field theory, *JHEP* **02** (2020) 059.
[doi.org/10.1007/JHEP02\(2020\)059](https://doi.org/10.1007/JHEP02(2020)059)
- [27] Erbin, H., Maccaferri, C., Martin Schnabl, Jakub Vošmera, Classical algebraic structures in string theory effective actions, *JHEP* **11** (2020) 123.
[doi.org/10.1007/JHEP11\(2020\)123](https://doi.org/10.1007/JHEP11(2020)123)
- [28] Theodore Erler, Toru Masuda, Martin Schnabl, *JHEP* **04** (2020) 104.
[doi.org/10.1007/JHEP04\(2020\)104](https://doi.org/10.1007/JHEP04(2020)104)
- [29] E. Aldo Arroyo, Matěj Kudrna, Numerical solution for tachyon vacuum in the Schnabl gauge, *JHEP* **02** (2020) 065.
[doi.org/10.1007/JHEP02\(2020\)065](https://doi.org/10.1007/JHEP02(2020)065)
- [30] T. Bautista, H. Erbin, Matěj Kudrna, BRST cohomology of timelike Liouville theory, *JHEP* **05** (2020) 029.
[doi.org/10.1007/JHEP05\(2020\)029](https://doi.org/10.1007/JHEP05(2020)029)

- [31] Renann Lipinski Jusinkas, Bosonic sectorized strings and the (DF)2 theory, *JHEP* **01** (2020) 082.
[doi.org/10.1007/JHEP01\(2020\)082](https://doi.org/10.1007/JHEP01(2020)082)

3D kvark–gluonová struktura nukleonu

Úspěšně pokračoval i náš teoretický výzkum vnitřní struktury protonu s kolegy z Ruska a USA. V práci [32] ukazujeme nové výsledky získané v rámci kovariantního partonového modelu, jehož výchozí verze byla navržena ve FZÚ. Naše práce přináší nové poznatky o vnitřním 3D pohybu kvarků uvnitř protonu v jazyce tzv. Transverse Momentum Dependent (TMD) distribučních funkcí. Velmi citlivým indikátorem vnitřní struktury zahrnující pohyb kvarků jsou zejména polarizované TMD, které se měří při srážkách polarizovaných částic.

2.1.5 Kosmologie

V průběhu roku 2020 pokračovalo naše oddělení v aktivním výzkumném programu v oblasti teoretických studií gravitace. Týkalo se to jak teoretického zkoumání standardní teorie gravitace, obecné relativity (GR), tak také teoretických konstrukcí nových teorií mimo GR a jejich fenomenologie. V této oblasti výzkumu jsme přispěli k bílé knize pro konsorcium Laser Interferometer Space Antenna (LISA), která popisuje a zdůrazňuje budoucí potenciál kosmického detektoru gravitačních vln LISA budovaného Evropskou kosmickou agenturou – v oblasti základní fyziky a gravitace [33].

Použili jsme tetrádové proměnné v GR, abychom zjistili, jak přítomnost obecných hranic, prostorových, časových nebo nulových, v konečné vzdálenosti nebo asymptotickém nekonečnu, ovlivňuje variační princip a konstrukci gravitačních nábojů [34]. V [35] a [36] jsme se zabývali širokou třídou zářivých časoprostorů, které popisují izolované zdroje v GR. V této třídě asymptoticky plochých časoprostorů působí nekonečně dimenzionální grupa asymptotických symetrií známá v oboru jako Bondi-Metzner-Sachsova (BMS) grupa.

Konkrétně v [35] jsme specializovali některé výsledky z [34] na nulovou hranici asymptoticky plochých časoprostorů a studovali vlastnosti asymptotických BMS nábojů, čímž jsme více osvětlili novou třídu asymptotických nábojů, tzv. duálních BMS nábojů. V [36] jsme využili přítomnost rozšířené verze BMS grupy k výpočtu časového vývoje asymptotických BMS nábojů v důsledku přítomnosti gravitačního záření generovaného binárními systémy (viz významný výsledek č. 3, str. 172). Tyto evoluční rovnice byly rozvinuty v post-newtonovských řádech, aby se stanovilo propojení s fenomenologií gravitačních vln, což je také relevantní pro satelit LISA [33]. Náš článek také ukázal, jak tyto zákony kladou přesná omezení na tvar gravitačních vln produkovaných binárními spojeními černých děr.

Zkoumali jsme třídu gravitačních modelů narušujících paritu, zahrnujících do akce Eulerovy a Pontryaginovy kvazitopologické členy, umožňující povýšení kosmologické konstanty na dynamickou proměnnou. Konkrétně jsme spočítali šíření kosmologických tenzorových perturbací [37] a prozkoumali mini-superprostorová kvantová kosmologická řešení [38].

Naše oddělení posílilo své výzkumné aktivity zahrnující studium kompaktních objektů, jako jsou černé díry a neutronové hvězdy, a jejich použití k testování modelů gravitace a temné hmoty. Poskytli jsme poruchovou metodu pro konstrukci řešení v GR pro bezsilové magnetosféry kolem rychle rotujících černých děr. Tato třída řešení extrahuje konečné množství momentu hybnosti z černé díry a lze ji použít k modelování astrofyzikálních výtrysků [39]. Vypočítali jsme vliv rotace černé díry na akreční sílu, magnetického pole v blízkosti horizontu a produkci výtrysků kolem černé díry. Předpověděli jsme tyto veličiny zahrnutím spinových efektů černé díry a ukázali jsme, že náš model popisuje pozorování výrazně lépe než při zanedbání spinových efektů [40]. Odvodili jsme omezení vlastností ultralehké temné hmoty se spinem 2, která sama pochází z bimetrické modifikace obecné relativity, s využitím nejnovějších dat z pozorování polí pulsarů (PTA) v [41] a další omezení modelu používajícího pulsar timing rezidua z několika binárních systémů v [42].

Náš výzkum teoretických základů inflační éry raného vesmíru pokračoval prostřednictvím studia chování volných masivních skalárních polí na de Sitterově časoprostoru, který lze použít ke studiu kosmické inflace. Uspořádali jsme skalární pole z hlediska grupové teoretických vlastností de Sitterových symetrií tak, že jsme identifikovali operátory pro každou hmotu na budoucí hranici de Sitterova prostoru, a ukázali, že tyto operátory odpovídají unitárním ireducibilním reprezentacím de Sitterovy grupy v jakékoli dimenzi [43].

Členové naší skupiny jsou zvláště aktivní ve fyzice astročástic a ve studiu problematiky temné hmoty. Představili jsme novou třídu scénářů tvorby temné hmoty založenou na oscilujícím singletním masivním skalárním poli s potenciálem, který spontánně narušuje Z_2 symetrii. Mechanismus zahrnuje takzvaný inverzní fázový přechod a v závislosti na parametrech modelu může probíhat při inflaci, přehřívání nebo radiační nadvládě a vytváří supertěžkou temnou hmotu s hmotností na škále velkého sjednocení [44]. Navrhli jsme dva scénáře gravitační produkce částic supertěžké temné hmoty v inflačním uspořádání s ne minimální vazbou na gravitaci v [45].

Přispěli jsme k několika článkům v rámci mezinárodní kolaborace Telescope Array (TA) [46–50]. [46] konkrétně hledá nízkoenergetický dipól v rozložení směru příletu kosmických paprsků s ultravysokou energií pomocí 11 let dat TA. Článek [47] používá data z fluorescenčních a povrchových detektorů TA v hybridním režimu k měření účinného průřezu proton-vzduch pro kosmické záření s nejvyšší energií.

V [48] jsme přispěli k nalezení důkazů pro supergalaktickou strukturu multipletů magnetického vychýlení paprsků s ultravysokou energií. Představili jsme horní hranici toku ultra energetických dopadajících kosmických neutrin pomocí dat sbíraných povrchovými detektory TA po dobu devíti let [49]. Též jsme přispěli k slepému hledání bodových zdrojů fotonů s ultravysokou energií pomocí dat z povrchového detektoru TA [50].

LITERATURA

- [32] Compère, G., Oliveri, R. & Seraj, A., The Poincaré and BMS flux-balance laws with application to binary systems. *J. High Energ. Phys.* **116** (2020).
[doi.org/10.1007/JHEP10\(2020\)116](https://doi.org/10.1007/JHEP10(2020)116)
- [33] Oliveri, R., Speziale, S. A note on dual gravitational charges. *J. High Energ. Phys.* **79** (2020).
[doi.org/10.1007/JHEP12\(2020\)079](https://doi.org/10.1007/JHEP12(2020)079)
- [34] Compère, G., Oliveri, R. & Seraj, A., The Poincaré and BMS flux-balance laws with application to binary systems. *J. High Energ. Phys.* **116** (2020).
[doi.org/10.1007/JHEP10\(2020\)116](https://doi.org/10.1007/JHEP10(2020)116)
- [35] S. Alexander, L. Jenks, P. Jiroušek, J. Magueijo, and Tom Złośnik, Gravity waves in parity-violating Copernican universes, *Phys. Rev. D* **102** (2020) 044039.
doi.org/10.1103/PhysRevD.102.044039
- [36] João Magueijo, Tom Zlosnik, and Simone Speziale, Quantum cosmology of a dynamical Lambda, *Phys. Rev. D* **102** (2020) 064006.
doi.org/10.1103/PhysRevD.102.064006
- [37] F. Camilloni, G. Grignani, T. Harmark, R. Oliveri & M. Orselli, *JCAP* **10** (2020) 048.
doi.org/10.1088/1475-7516/2020/10/048
- [38] C. Ünal, A. Loeb, On Spin dependence of the Fundamental Plane of black hole activity, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, **495** Issue 1 (2020) 278–284.
doi.org/10.1093/mnras/staa1119
- [39] J. M. Armaleo, D. L. Nacir, and F. R. Urban, Pulsar timing array constraints on spin-2 ULDM, *JCAP* **09** (2020) 031.
doi.org/10.1088/1475-7516/2020/09/031
- [40] J. M. Armaleo, D. L. Nacir, and F. R. Urban, Binary pulsars as probes for spin-2 ultralight dark matter, *JCAP* **01** (2020) 053.
doi.org/10.1088/1475-7516/2020/01/053
- [41] Şengör, G., Skordis, C. Unitarity at the late time boundary of de Sitter. *J. High Energ. Phys.* **41** (2020).
[doi.org/10.1007/JHEP06\(2020\)041](https://doi.org/10.1007/JHEP06(2020)041)
- [42] E. Babichev, D. Gorbunov, S. Ramazanov, Gravitational misalignment mechanism of Dark Matter production, *JCAP* **08** (2020) 047.
doi.org/10.1088/1475-7516/2020/08/047
- [43] E. Babichev, D. Gorbunov, S. Ramazanov, L. Reverberi, Gravitational reheating and superheavy Dark Matter creation after inflation with non-minimal coupling, *JCAP* **09** (2020) 059.
doi.org/10.1088/1475-7516/2020/09/059
- [44] The Telescope Array Collaboration, Search for Large-scale Anisotropy on Arrival Directions of Ultra-high-energy Cosmic Rays Observed with the Telescope Array Exper, *Astrophys. J. Lett.* **898** (2020) 2.
doi.org/10.3847/2041-8213/aba0bc
- [45] The Telescope Array Collaboration, Measurement of the proton-air cross section with Telescope Array's Black Rock Mesa and Long Ridge fluorescence detectors, and surface array in hybrid mode, *PRD* **102** no. 6 (2020) 062004.
doi.org/10.1103/PhysRevD.102.062004
- [46] The Telescope Array Collaboration, Evidence for a Supergalactic Structure of Magnetic Deflection Multiplets of Ultra-high-energy Cosmic Rays, *Astrophys. J.* **899**, no. 1 (2020) 86.
doi.org/10.3847/1538-4357/aba26c
- [47] The Telescope Array Collaboration, Search for Ultra-High-Energy Neutrinos with the Telescope Array Surface Detector, *J. Exp. Theor. Phys.* **131**, no. 2 (2020) 255–264.
doi.org/10.1134/S106377612005012X
- [48] The Telescope Array Collaboration, Search for point sources of ultra-high-energy photons with the Telescope Array surface detector, *MNRAS* **492**, no. 3 (2020) 3984–3993.
doi.org/10.1093/mnras/stz3618

2.1.6 Přípravné práce na projektu lineárního urychlovače

Lineární urychlovač vstřícných svazků elektronů a pozitronů je jedním z kandidátů pro další mezinárodní projekt experimentální částicové fyziky, který se zaměřuje na studium Higgsova bosonu. V současné době jsou rozpracovány dvě studie lineárního urychlovače International Linear Collider (ILC), který by byl vybudován v Japonsku, a Compact Linear Collider (CLIC), o němž se uvažuje v CERN.

Skupina pracovníků z FZÚ je zapojena do vývoje kalorimetru a metod kalorimetrie v rámci mezinárodní kolaborace Calorimeter for Linear Collider Experiment (CALICE). Inovativní koncept tohoto kalorimetru spočívá ve zpřesnění energetického rozlišení kalorimetru pomocí metody Particle Flow Algorithm (PFA), která dokáže rozlišit typy jednotlivých komponent v hadronové spršce a k výpočtu celkové energie využívá pro každou komponentu jinou váhu. K tomu je potřeba kalorimetr s vysokou granularitou a tudíž s enormním množstvím kanálů, který do té doby nebyl realizován v žádném detektoru. Kolaborace CALICE proto v roce 2006 představila první prototyp kalorimetru s vysokou granularitou o velikosti cca 1 m^3 a demonstrovala na něm fyzikální vlastnosti kalorimetru s 7608 nezávisle vyčítanými kanály. Jako detekční materiál byl použit plastový scintilátor a převod na elektrický signál zajistil nový typ fotodetektoru zvaný SiPM. Jednalo se o první masové využití těchto fotodetektorů v částicovém detektoru.

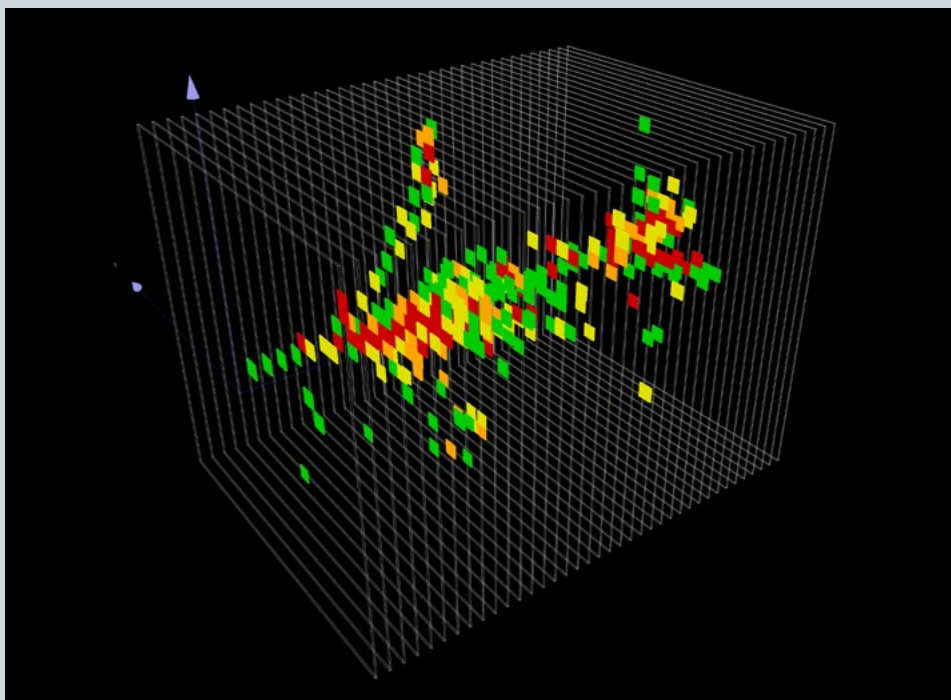
V roce 2018 byla s přispěním FZÚ (odpovědnost za DAQ) postavena druhá generace kalorimetru s 22 000 kanály a s kompletně integrovanou elektronikou, která demonstrovala nejen škálovatelnost rozměrů takové-

ho detektoru až do velikosti detektoru na urychlovači ILC, ale také průmyslovou automatizovatelnost výroby, která je při počtu 8 milionů kanálů nezbytná. Příklad hadronové spršky zaznamenané při testu v CERN je zobrazen na obr. 6 (částice: 40 GeV Pion)

FZÚ je i nadále zapojen do vývoje a výzkumu ve skupině analogového kalorimetru CALICE. Nese odpovědnost za DAQ při testech nových typů scintilátorů a při studiu jejich optického přeslechu a rovnoměrnosti signálové odezvy zajistil hardwarovou a softwarovou integraci DAQ s tzv. „Beam Telescope“ (řada pixelových detektorů určující přesnou trajektorii částice) během testu na elektronovém svazku částic v DESY v roce 2020. V dalším roce je očekáváno dokončení integrace nového vyčítacího čipu (KLauS).

V rámci nově schváleného evropského H2020 projektu AIDAinnova plánujeme ve FZÚ rozšířit aktivity o vývoj nového kompaktního DAQ pro analogový kalorimetr a o studium vlastností SiPM z hlediska závislosti časové a amplitudové odezvy detektorů SiPM na teplotě.

Navzdory tomu, že o stavbě lineárního urychlovače ještě nebylo rozhodnuto, technologie kalorimetru zamýšlená pro projekt lineárního urychlovače našla uplatnění v projektu CMS HGCal, což je HL-LHC upgrade dopředného kalorimetru CMS, jehož součástí bude přibližně půl milionu kanálů se SiPM a scintilačními destičkami. Na vývoji prototypu CMS-HGCal se přímo podílí členové CALICE. Další uplatnění technologie CALICE možná nalezne v DUNE Near Detector elektromagnetickém kalorimetru.



Obr. 6 Pion s energií 40 GeV zachycený v prototypu sendvičového hadronového kalorimetru s 22 000 scintilačními destičkami, každá o velikosti $30 \times 30 \times 3 \text{ mm}^3$. Absorbátor: ocelové desky o tloušťce 19 mm. Barva odpovídá zaznamenané energii.



2.1.7 Výpočetní středisko a zpracování dat

V roce 2020 jsme rozšířili úložnou kapacitu pro projekt Observatoř Pierra Augera o 4 diskové servery o celkové kapacitě 460 TB připojené k výpočetní farmě Goliáš protokolem NFS. Došlo i k navýšení výpočetní kapacity o 12 jednoprocessorových serverů určených pro simulace spršek kosmického záření. Nový server se softwarem perfsonar pro měření propustnosti sítě je připojen rychlostí 100 Gbps.

Celkem za rok 2020 propočítali místní a hlavně gridoví uživatelé v 9,2 milionech úloh 8277 let výpočetního času. Největšími uživateli byly tradičně LHC experimenty ATLAS a ALICE, které využily 78 % spotřebovaného času, následované astročásticovými projekty Observatoř Pierra Augera a Cherenkov Telescope Array a experimenty NOvA a DUNE výzkumné infrastruktury Fermilab. Disková kapacita dostupná z klastru Goliáš přesáhla 6 PB.

V roce 2020 jsme uvedli do provozu nový klastř Luna pořízený převážně z prostředků Akademické prémie docenta Pavla Jelínka a grantu EXPRO. Tento klastř s 32 servery a celkem 2048 výpočetními jádry a 16 TB RAM nahradil starší klastř LUNA2013, jehož výpočetní kapacita byla třikrát nižší. V prosinci roku 2020 došlo k dalšímu rozšíření klastru o 4 servery s velkými SSD disky. Všechny servery jsou propojené sítí Infiniband FDR a jsou proto vhodné pro rozsáhlé multiprocessorové úlohy. Klastř je zařazen do národní gridové infrastruktury Metacentrum. Na novém a starém klastru Luna se celkem propočítalo 1219 let.



2.2. Sekce fyziky kondenzovaných látek v roce 2020

Předmětem výzkumu sekce 2 je 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 oblasti teoretického výzkumu se zabýváme především rozbořem 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 strukturními, magnetickými a dielektrickými fázovými přechody.

V roce 2020 jsme pokračovali v práci na výzkumech v rámci dlouhodobě zavedených směrů základního i aplikovaného výzkumu financovaných z národních a evropských výzkumných projektů. Nicméně nastaly i některé významné změny. Vedoucím teoretického oddělení byl jmenován Mgr. Jindřich Kolorenč, Ph.D. Laboratoř Funbio, vedená RNDr. J. Kopečkem, PhD., byla převedena z Oddělení funkčních materiálů do Oddělení materiálové analýzy, kde se stala součástí Laboratoře elektronové mikroskopie. Tým spolupracovníků RNDr. V. Novotné CSc., získal ve spolupráci se čtyřmi zahraničními partnery prestižní evropský projekt FET-OPEN MAGNELIQ. Konsorcium bude vyvíjet novou magnetoelektrickou kapalinu tvořenou magnetickými nanodisky v prostředí organických molekul. Očekává se, že kapalina umožní např. konstrukci velmi citlivých detektorů mechanického napětí. V oblasti aplikačně zaměřeného výzkumu jsme v roce 2020 získali národní patent *Elektrochemická cela pro stanovení bakteriální kontaminace pitné vody* a vyrobili prototyp *Diamantem pokryté elektrody pro elektrochemické aplikace*. Výzkumné týmy vedené ing. Ludkem Hellerem,

Ph.D., a prof. P. Lejčkem, DrSc., se zapojily do práce na projektu aplikovaného výzkumu MATCA v oblasti mechanické a metalografické charakterizace 3D tištěných kovů.

V roce 2020 se velmi dobře rozvíjela spolupráce výzkumných skupin sekce s pracovníky centrálních laboratoří v sekci (LEM, ROTAN, SLMS, GDOES a Chemie). Pracovníci centrálních laboratoří rozvíjejí 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 a analytické chemie.

Magnetické materiály

Pokračovali jsme ve zkoumání slitin vzácných zemin s vysokou magnetizací a anisotropií. Tento výzkum je motivován hledáním nových permanentních magnetů a porozumění fyzikálních principů jejich chování. V rámci přehlídky nových slitin jsme objevili nový itinerantní metamagnet LaCo_3 . Díky unikátní expertize v pěstování krystalů se podařilo vypěstovat monokrystal a charakterizovat jeho vlastnosti. Objevili jsme, že ve velmi vysokém magnetickém poli okolo 50 T dochází k přechodu mezi nízko- a vysokospinovým stavem způsobeném redistribucí spinových stavů v 3d elektronových stavech kobaltu. Výsledkem je silný vzrůst magnetizace, jak ilustruje obrázek obr. 7. Výsledky byly publikovány v *Physical Review B* [1].

Použitím nových experimentálních postupů úpravy materiálů jsme objevili úplně nové chování relativně tradičního ferromagnetického magnetostriktivního materiálu, čistého terbia (Tb). Velmi čisté terbium použitím destilace vykazuje zvýšený magnetokalorický efekt v teplotách okolo 240 K, který je možný použít k nízkoteplotnímu chlazení. Pokud ovšem tento prvek projde velmi silnou plastickou deformací, jeho chování se úplně změní. Magnetokalorický jev je téměř

potlačen a materiál se chová jako invar, tedy materiál s nulovou teplotní roztažností. Toto velmi překvapivé chování, téměř opačné k původnímu materiálu, je připisováno existenci strukturní transformace a modifikace magnetické interakce. Výsledky byly publikovány v *Scripta Materialia* [2].

Jev magnetické tvarové paměti

Vyvrhlením dlouholeté spolupráce s Leibniz-Institut für Festkörper- und Werkstoffforschung Dresden a Ústavem termomechaniky bylo objasnění hierarchické struktury martensitu pozorované v tenkých filmech. Ukázali jsme, že formování mikrostruktury na všech škálách je řízené principem minimalizace lokální energie, které ve výsledku znamená, že výsledná hierarchická struktura může být daleko od globálního minima celkové energie, všeobecně považovaného za obecný fyzikální princip formování struktury v materiálech. Využitím předchozích výsledků byl souhrnný článek publikován v časopise *Advanced Functional Materials* [3] a obrázek experimentální struktury s teoreticky navrženou evolucí mikrostruktury (obr. 8) se dostal na obálku časopisu.

Je známo, že velká deformace magnetickým polem v Ni-Mn-Ga slitinách s magnetickou tvarovou pamětí je umožněna jejich extrémně nízkým (mechanickým) napětím dvojčatění. Nejvíce známá a studovaná fáze je 10M s pětivrstvou modulací, ve které napětí dvojčatění může být dokonce nižší než 0,1 MPa pro tzv. dvojčata typu II. V této práci jsme zkoumali alternativní fázi 14M (se sedmivrstvou modulací) ve slitině Ni-Mn-Ga-Fe. Vůbec poprvé pro 14M fázi byla určena napětí dvojčatění zvlášť pro dvojčata typu I a typu II a též byly odhadnuty jejich teplotní závislosti. Napětí dvojčatění je příznivě nízké, 0,2 a 0,1 MPa pro dvojčata typu I a II (obr. 9), a odpovídající teplotní závislosti jsou mnohem příznivější, tedy slabší než v 10M fázi. Zkombinováno s vyšší Curieho teplotou lze říci, že nalezený materiál může být pro praktické aplikace mnohem vhodnější než obvykle navrhovaná fáze 10M. Společná publikace [4] několika laboratoří demonstruje společný zájem o další podrobné studium 14M martensitu v budoucnosti.

Vývoj nových typů funkcionalit v materiálech s magnetickou tvarovou pamětí vyžaduje nové přístupy a pochopení mechanismů jejich fungování. Slibným směrem se ukazuje zvýšení koncentrace antifázových rozhraní. Jejich přítomnost a vzájemné interakce s magnetickou doménovou strukturou mohou zvýšit magnetickou koercivitu. Tato práce studuje antifázová rozhraní a magnetickou doménovou strukturou ve slitinách Ni-Mn-Ga (obr. 10) s použitím speciální metody, tzv. Lorentzovské transmisní elektronové mikroskopie (LTEM). Podařilo se ukázat, že nastavená morfologie antifázových hranic přímo diktuje morfologii magnetické doménové struktury. Význačné chování bylo nalezeno pro vysokou hustotu antifázových hranic, kde pozorování naznačuje pokles magnetické anizotropie vedoucí ke vzniku kruhových magnetických konfigurací. Tato uspořádání, známá také jako vortexy anebo skyrmiony, jsou významná i pro spintronicke

aplikace [5]. LTEM experiment byl proveden ve spolupráci s Carnegie Mellon University, USA. Díky projektu mobility byl uskutečněn přenos expertizy LTEM z CMU do FZÚ a úspěšné implementaci této techniky ve FZÚ.

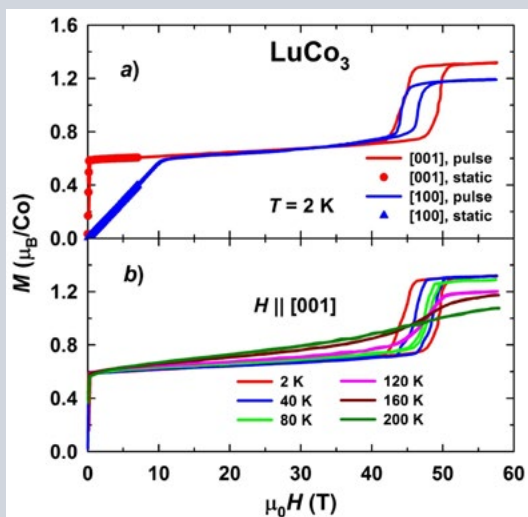
Supravodiče

V loňském roce bylo publikováno několik prací pojednávajících o různých aspektech technologie a vlastností vysokoteplotních supravodičů zabývajících se vlivem různých dopantů [6] a vlivem redukce velikosti zrn na jejich elektromagnetické vlastnosti. Další práce pojednávají o mechanismu upínání vírů v těchto kompozicích. Pokračovali jsme ve výzkumu vlivu ozáření supravodivých pásek neutronovým zářením na jejich elektromagnetické vlastnosti. Tato práce je velmi významná pro pokrok v konstrukci fúzních termojaderných reaktorů, jak naznačuje souhrnný článek [7].

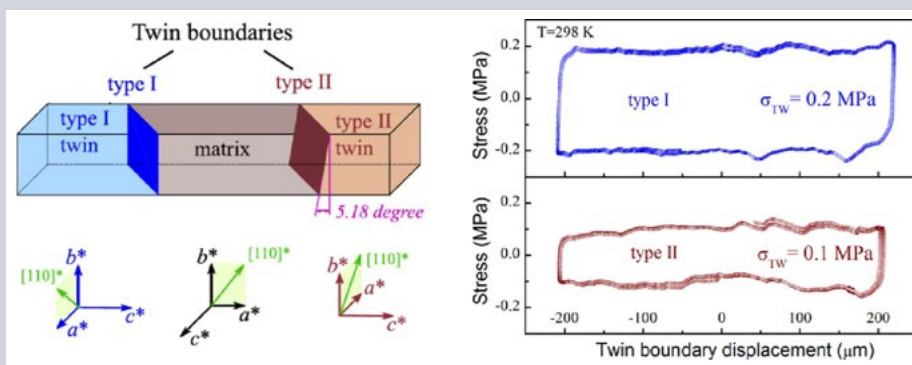
LITERATURA

- [1] D. S. Neznakhin, D. I. Radzivonchik, D. I. Gorbunov, A. V. Andreev, J. Šebek, A. V. Lukoyanov, M. I. Bartashevich, Itinerant metamagnetic transition in the ferromagnet LuCo3 induced by high field: Instability of the 3d-electron subsystem, *Phys. Rev. B* **101** (2020) Art. No. 224432 (7pp).
doi.org/10.1103/PhysRevB.101.224432
- [2] E. A. Tereshina-Chitrova, Yu. V. Korneeva, D. Yu. Ozherelkov, P. Doležal, I. S. Tereshina, T. P. Kaminskaya, D. I. Gorbunov, S. V. Dobatkin, P. Minárik, Enhanced magnetocaloric effect in distilled terbium and emergence of novel properties after severe plastic deformation, *Scripta Materialia* **187** (2020), 340–344.
doi.org/10.1016/j.scriptamat.2020.06.046
- [3] S. Schwabe, R. Niemann, A. Backen, D. Wolf, C. Damm, T. Walter, H. Seiner, O. Heczko, K. Nielsch, and S. Fähler, Building Hierarchical Martensite, *Adv. Funct. Mater.* **2020**, 2005715.
doi.org/10.1002/adfm.202005715
- [4] A. Sozinov, D. Musienko, A. Saren, P. Vertat, L. Straka, O. Heczko, M. Zeleny, R. Chulist, K. Ullakko, Highly mobile twin boundaries in seven-layer modulated Ni-Mn-Ga-Fe martensite, *Scripta Mater.* **178** (2020) 62–66.
doi.org/10.1016/j.scriptamat.2019.10.042
- [5] M. Vronka, L. Straka, M. De Graef, O. Heczko, Antiphase boundaries, magnetic domains, and magnetic vortices in Ni-Mn-Ga single crystals, *Acta Mater.* **184** (2020) 179–186.
doi.org/10.1016/j.actamat.2019.11.043
- [6] M. Jirsa, M. Rameš, M. Muralidhar, P. Svora, J. Duchoň, O. Molnárová, Sai Srikanth Arvapalli, M. Murakami, Bulk MgB₂ doped by diverse additives – flux pinning and microstructure, *Supercond. Sci. Technol.* **33** (2020) 094007 (1–8)
doi.org/10.1088/1361-6668/aba01c

- [7] K Sedlak et al., Advances in the conceptual design of the European DEMO magnet system, *Supercond. Sci. Technol.* **33** (2020) 044013 (9pp)
doi.org/10.1088/1361-6668/ab75a9

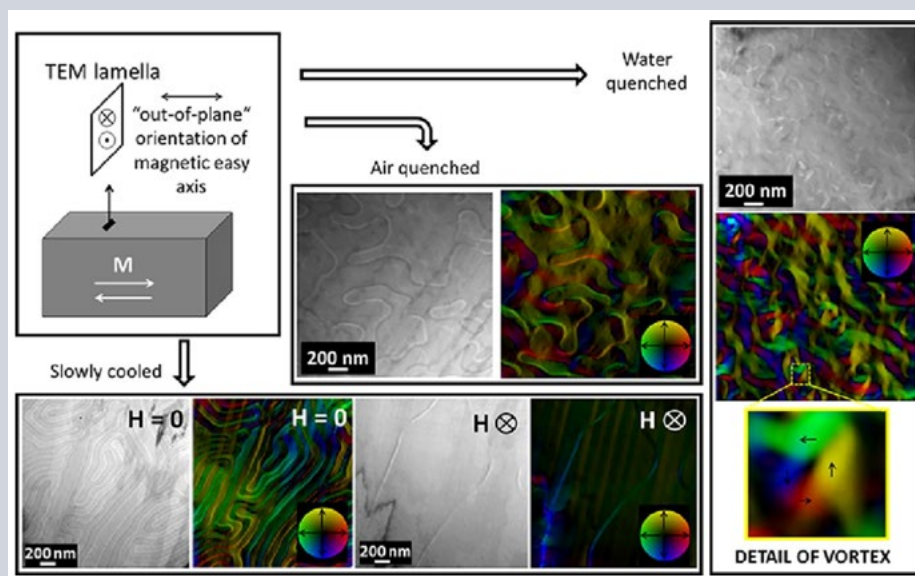


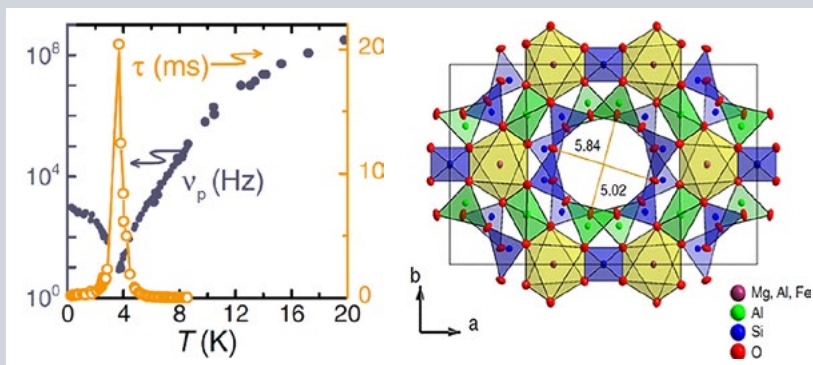
Obr. 7 (a) Magnetizační křivky podél hlavních os monokrystalu LuCo_3 v teplotě 2 K. (b) Teplotní vývoj magnetizačních křivek podél c-osy v rozsahu 2–200 K ukazující postupné vymizení vysokospinového stavu.



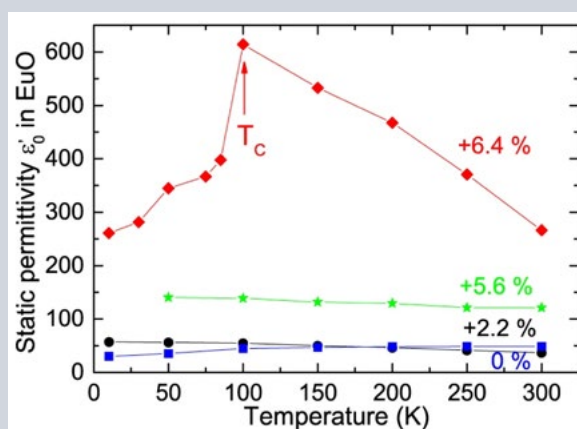
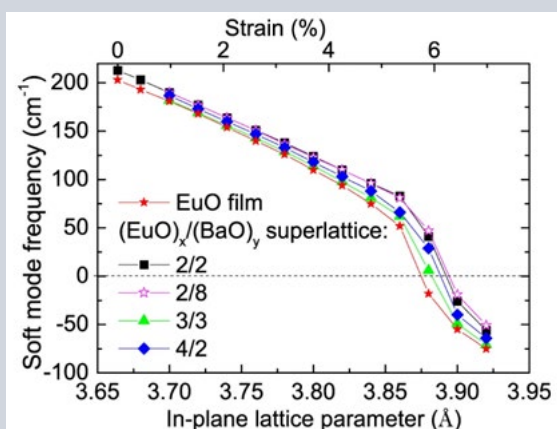
Obr. 9 Schematické znázornění orientace hranic dvojčatění ve vzorku (vlevo) a měření napětí dvojčatění (vpravo) pro hranice typu 1 a typu 2, ve 14M fázi slitiny Ni-Mn-Ga-Fe demonstrující velmi nízkou hodnotu napětí nutnou pro pohyb hranice.

Obr. 10 Antifázové hranice a odpovídající struktury magnetických domén ve fólii Ni-Mn-Ga pro různou hustotu antifázových hranic. Vpravo dole: magnetický vortex.

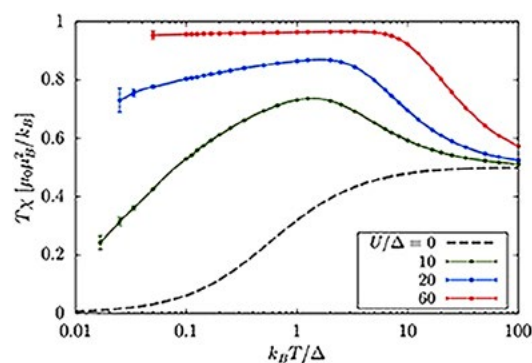
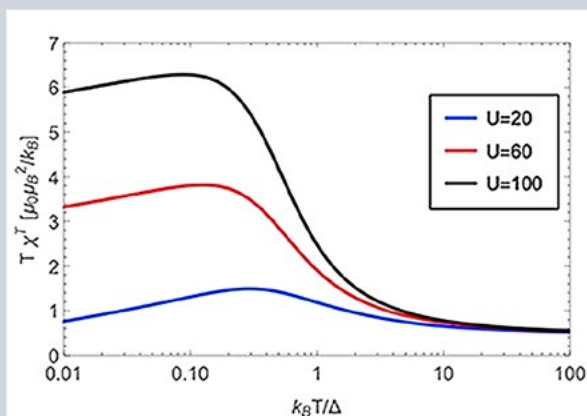




Obr. 11 Krystalová struktura kordieritu a teplotní závislost frekvence dielektrické relaxace vody v kordieritu. (a) Feroelektrický fázový přechod vody v kordieritu je vyvolaný kritickou dielektrickou relaxací. ν_p značí frekvence maxim ve spektrech dielektrických ztrát a τ označuje relaxační čas dielektrické relaxace. (b) Krystalová struktura kordieritu. Studovaná voda byla lokalizována ve volných kanálcích podél osy c .



Obr. 12 Závislost frekvence měkkého módu v EuO na jeho deformaci a teplotní závislost permitivity různě deformovaných vrstev EuO. (a) Závislost frekvence feroelektrického měkkého módu Eu a spontánní feroelektrické polarizace P_s na tahovém napětí v EuO vrstvě (EuO)₂/(BaO)₂ supermřížky. V obrázku jsou schematicky zobrazeny i polární atomové kmity se symetrií Eu a A_{2u} ; (b) teplotní závislost statické permitivity ve filmech EuO a v EuO vrstvách (EuO)_x/(BaO)_y supermřížek s různým tahovým napětím.



Obr. 13 Teoretická předpověď a numerická simulace Curieho-Weissovy susceptibility v Andersonově příměsovém modelu. Teplotní závislost součinu teploty T a magnetické susceptibilitě, jehož konstantní hodnota odpovídá Curieho-Weissově zákonu, získaná z analytické teorie, levý panel, a z Monte-Carlo simulací, pravý panel, pro Andersonův model magnetické příměsi. Přitom Δ je šířka pásu vodivostních elektronů a U je síla elektronové korelace. Oba výsledky prokazují existenci Curieho-Weissovy susceptibility pro dostatečně silnou elektronovou korelaci v teplotním intervalu nad Kondovou teplotou, pod kterou susceptibilita přejde na Pauliho a hodnota součinu spadne na nulu. Analytická teorie kvalitativně správně predikuje univerzální charakter Curieho-Weissovy susceptibility, ale nadhodnocuje numerickou hodnotu neuniverzální Curieho konstanty.

2.2.1 Dielektrika, feroelektrika, multiferoika a nanostruktury

Feroelektrický fázový přechod molekul vody lokalizovaných v minerálu kordieritu

Objevíme, že vodíkové vazby se eliminují a Coulombické interakce dominují v molekulách vody lokalizovaných do nanokanálků v minerálu kordieritu. Jejich dipólový moment je orientovaný kolmo na osu kanálku c a naše dielektrická spektroskopie odhalila jejich uspořádání při ~ 3 K. Kritická dielektrická relaxace vyvolávající toto uspořádání je polarizovaná podél osy a leží v radiofrekvenčním oboru. Měření feroelektrické spontánní polarizace určilo při 0,3 K saturovanou hodnotu ~ 3 nC/cm² (obr. 11).

Vytvoření multiferoického EuO pomocí epitaxního mechanického napětí

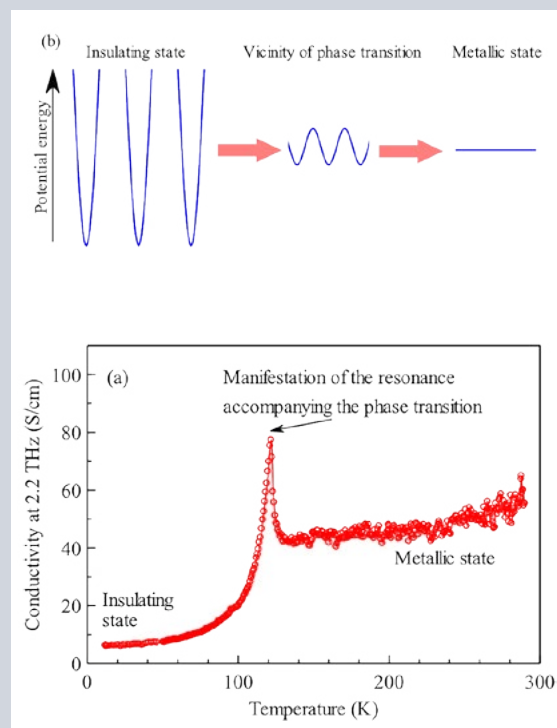
Feroelektrický fázový přechod vyvolaný optickým měkkým módem byl poprvé objeven v IČ spektrech natažené feromagnetické EuO vrstvy. Tento fázový přechod byl předpovězen už před 10 lety ve vrstvách s 4% tahovou deformací, ale pozorován teprve nyní ve vrstvách s tahovou deformací 6,4 %. Protože deformace v takových vrstvách snadno relaxuje, dosáhli jsme jí v supermřížce (EuO)₂/(BaO)₂ na substrátu LSAT. Toto pozorování bylo potvrzeno našimi novými DFT výpočty (obr. 12).

Curieho-Weissova susceptibilita v silně korelovaných elektronových systémech

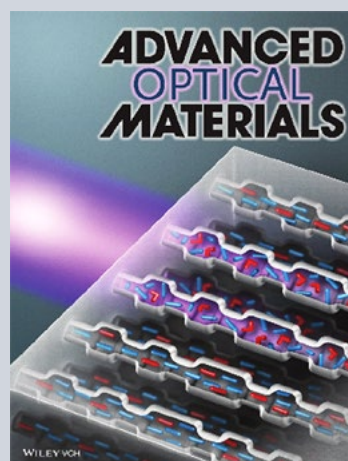
Magnetismus pevných látek je makroskopickým projevem mikroskopické kvantové dynamiky spinu valenčních elektronů. Magnetická susceptibilita kovů s pohyblivými vodivostními elektrony by teoreticky měla mít Pauliho charakter. Přesto je v tranzitivních kovech pozorována Curieho-Weissova odezva odpovídající lokálním magnetickým momentům. Podařilo se nám najít mikroskopický mechanismus, adekvátně kombinující kvantové a tepelné fluktuace v kovech se silně korelovanými elektrony, který vede ke vzniku lokálních magnetických momentů a Curieho-Weissově susceptibilitě (obr. 13).

Přechod kov–izolátor v (Pr,Y)_{0.7}Ca_{0.3}CoO₃ v daleké infračervené spektrální oblasti

Měření terahertzových spekter jsme ukázali, že fázový přechod kov–izolátor v kobaltitech se smíšenou valencí nenastává jednoduchým přepínáním mezi stavy. V izolujícím stavu jsou náboje těsně vázány na atomových vzdálenostech. Okolo teploty fázového přechodu křižuje spektra terahertzové vodivosti rezonance, která prokazují postupné měknutí vazebného potenciálu. V kovovém stavu pak je potenciál téměř plochý a náboje se pohybují téměř volně (obr. 14).



Obr. 14. Teplotní závislost terahertzové vodivosti v $(\text{Pr}_{0.85}\text{Y}_{0.15})_{0.7}\text{Ca}_{0.3}\text{CoO}_3$. **(a)** Terahertzová vodivost v $(\text{Pr}_{0.85}\text{Y}_{0.15})_{0.7}\text{Ca}_{0.3}\text{CoO}_3$ neroste s teplotou monotónně, což dokazuje, že nedochází k jednoduchému přepínání mezi dvěma stavy. **(b)** Vazebný potenciál nábojů s rostoucí teplotou měkne. V blízkosti fázového přechodu se vlastní frekvence dostane do terahertzové oblasti, což se projevuje výrazným maximem v terahertzové vodivosti v panelu **(a)**.



Obr. 15. Fotonické krystaly ovladatelné světlem. Zadní obálka listopadového vydání časopisu Advanced Optical Materials ilustrující princip fotonického krystalu ovladatelného

světlem: pohled do kanálků v porézním křemíku naplněných směsí fotochromních kapalných krystalů (červené a modré tyčinky), které po expozici UV světlem procházejí fázovým přechodem z uspořádaného do neuspořádaného izotropního stavu.

Fotonické krystaly ovladatelné světlem

Fotonické krystaly na bázi porézního křemíku byly naplněny směsí fotochromních kapalných krystalů. Tyto molekuly se spontánně uspořádávají podél vyleptaných kanálků a po expozici UV zářením se zakázaný pás fotonického krystalu posune k delším vlnovým délkám. Tento jev byl vysvětlen fázovým přechodem z nematické do izotropní fáze. Proces přepínání UV zářením je plně reverzibilní po aplikaci světla o vlnové délce 428 nm. Navržený hybridní systém je slibným materiálem pro fotonické aplikace (obr. 15).

LITERATURA

- [1] M. A. Belyanchikov, M. Savinov, Z. V. Bedran, P. Bednyakov, P. Proschek, J. Prokleska, V. A. Abalmasov, J. Petzelt, E. S. Zhukova, V. G. Thomas, A. Dudka, A. Zhugayevych, A. S. Prokhorov, V. B. Anzin, R. K. Kremer, J. K. H. Fishcer, P. Lunkenheimer, A. Loidl, E. Uykur, M. Dressel, and B. Gorshunov, Dielectric ordering of water molecules arranged in a dipolar lattice, *Nat. Commun.* **11** (2020) 3927/1–9.
doi.org/10.1038/s41467-020-17832-y
- [2] V. Goian, R. Held, E. Bousquet, Y. Yuan, A. Melville, H. Zhou, V. Gopalan, P. Ghosez,

- N. A. Spaldin, D. G. Schlom, and S. Kamba, Making EuO multiferroic by epitaxial strain engineering, *Communications Materials* **1** (2020) 74.
doi.org/10.1038/s43246-020-00075-1
- [3] V. Janiš, A. Klíč, J. Yan, and V. Pokorný, Curie-Weiss susceptibility in strongly correlated electron systems, *Phys. Rev. B* **102** (2020) 205120.
doi.org/10.1103/PhysRevB.102.205120
- [4] H. Němec, C. Kadlec, V. Goian, F. Borodavka, V. Železný, M. Kempa, K. Knížek, J. Hejtmánek, J. Buršík, and M. Soroka, Metal-insulator transition in $(\text{Pr,Y})_{0.7}\text{Ca}_{0.3}\text{CoO}_3$ in the far-infrared spectral region, *Phys. Rev. B* **102** (2020) 195105.
doi.org/10.1103/PhysRevB.102.195105
- [5] A. Bobrovsky, S. Svyakhovskiy, A. Bogdanov, V. Shibaev, M. Cigl, V. Hamplová, and A. Bubnov, Photocontrollable photonic crystals based on porous silicon filled with photochromic liquid crystalline mixture, *Adv. Opt. Mater.* **8** (2020) 2001267.
doi.org/10.1002/adom.202001267
doi.org/10.1002/adom.202070089

2.2.2 Výzkum v oddělení Materiálové analýzy

ROTAN

Laboratoř Rotan se věnovala podpoře technologií přípravy orientovaných mono- a bikrystalů jejich orientací. Mimoto spolupracovala s dalšími odděleními FZÚ na synchrotronových měřeních difúzního rozptylu feroelektrických materiálů s doménovou strukturou za účelem výzkumu strukturních změn spojených s doménovými přechody [1]. Ve spolupráci s Oddělením funkčních materiálů probíhal výzkum fázového složení biodegradabilních zinkových slitin [2] v závislosti na technologii přípravy a dále hliníkových binárních a ternárních slitin. Současně pokračovala spolupráce s výzkumnými týmy Sekce optiky na charakterizaci epitaxních dopovaných vrstev SrTiO_3 [3] s modifikovanými optickými vlastnostmi. Pokračovala také spolupráce na strukturní charakterizaci NiTi plazmově naprašovaných povrchů. Odstartovalo též významné rozšíření kapacit laboratoře v souvislosti s projektem Solid 21 pořízením texturního difraktometru, který nově umožňuje charakterizovat i tenké dráty a jiné technologicky významné typy vzorků.

GDOES

V laboratoři GDOES se prováděly analýzy kovů, slitin a tenkých vrstev v rámci spolupráce s jinými skupinami FZÚ i s externími výzkumníky z jiných výzkum-

ných ústavů. Šlo o analýzu slitin $\text{MgZn}_{0.4}\text{Ca}_{0.4}$, dále Zn_{10}Mn , ZnLi , $\text{Zn}(\text{Li},\text{Mn})$, legovaných ocelí (maraging steels) a binárních slitin Fe-C, Fe-S. Dále magnetronem naprašované vrstvy Ti, C-Cr, vrstvy B-C-Zr-Ti, CVD diamantové vrstvy legované bórem, plazmou stříkané vrstvy NiTi a oxidické vrstvy na slitinách CoCrNi [4]. Kromě těchto aplikačně zaměřených prací pokračoval výzkum excitačních mechanismů v plazmatu doutnavého výboje, zejména v systémech Cr I a Cr II [5] a studium emisních spekter přechodových kovů za různých podmínek v plazmatu [6, 7].

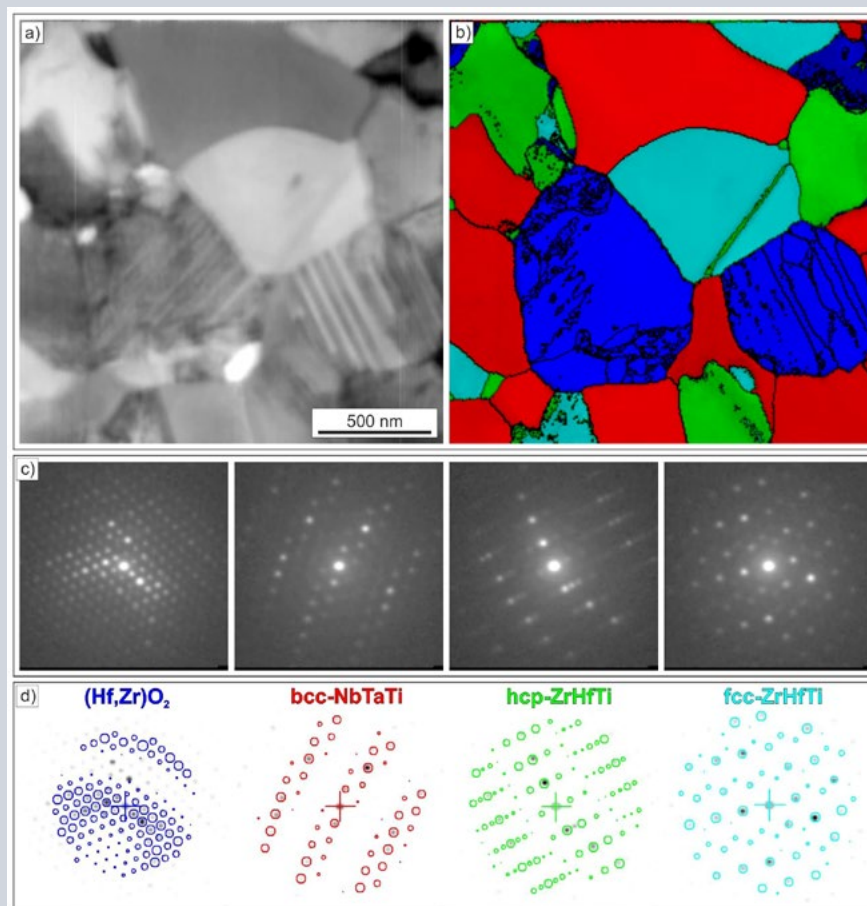
LEM

Laboratoř elektronové mikroskopie LEM se spojila s bývalou laboratoří FUNBIO/SAFMAT oddělení funkčních materiálů a rozšířila tak svoji přístrojovou a personální základnu. Do laboratoře LEM bylo k TEM pořízeno přídatné zařízení ASTAR/TopSpin od firmy NanoMEGAS, které slouží k mapování fázového složení (obr. 16), krystalografické orientace a napětí v nanoměřítku (ACOM – Automated Crystal Orientation Mapping) [8]. V LEM pokračovala spolupráce s výzkumnými týmy FZÚ, obzvláště sekce Fyziky kondenzovaných látek, ale také s týmy z jiných výzkumných ústavů. Jednalo se zejména o mikrostrukturní a mikromechanickou charakterizaci kovů a kovových slitin – NiTi, ZnMgCa, Fe, Zn, Ni-Mn-Ga, AlZrTi,

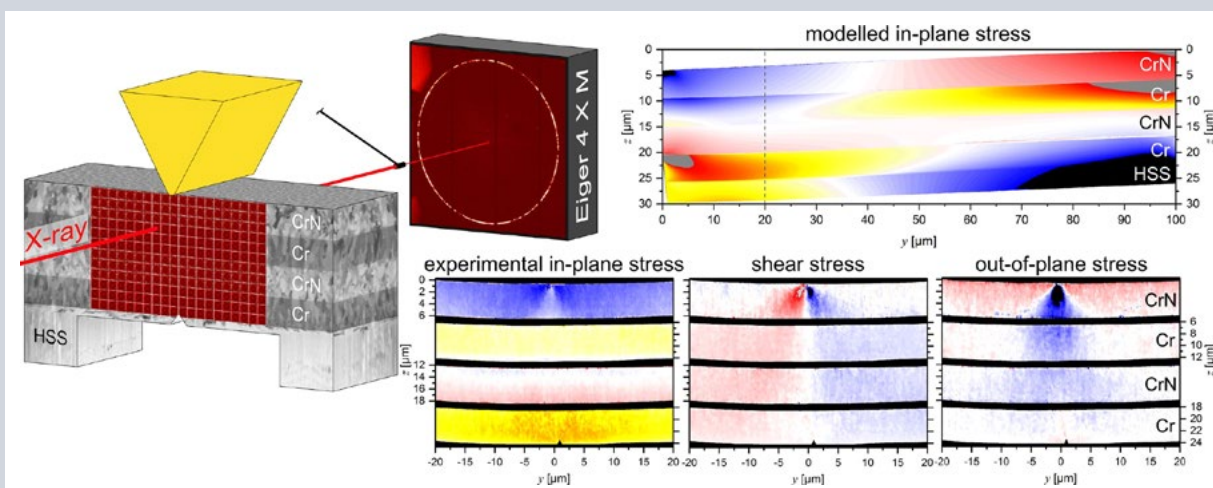
TiN, $\text{Rh}_2\text{Mn}_5\text{Bi}_4$, MgB_2 , ale také o další typy materiálů – Al_2O_3 , ZrO_2 , laserově manipulované povrchy [9], konstrukční sensory na bázi bórem dopovaných diamantových vrstev [10] či mikroskopické zkoumání ochranných vrstev pro zirkoniové palivové tyče pro jadernou energetiku [11]. Ve spolupráci s kolegy ze zahraničí (Centrum pro výzkum Rieského kráteru a impakťových struktur v Německu a Přírodovědecké muzeum ve Vídni) byl zkoumán lunární meteorit Oued Awlitis 001, ve kterém jsme objevili nový minerál

Downilhelmsite, jehož přítomnost v hlubinách Země má důležitý vliv na zemskou tektoniku [12]. Ve spolupráci s Regionálním centrem pro pokročilé technologie a materiály v Olomouci byly pomocí akustické emise zkoumány mechanismy poškození indukované kontrolovanou nanoindentací [13]. Dále byla rozvíjena spolupráce s rakouskou Montanuniversität Leoben při přípravě vzorků pro in-situ mikrodeformační experimenty v synchrotronu (obr. 17) pomocí plazmového FIB [14].

Obr. 16 Identifikace fází ve vysokoentropické slitině HfNbTaTiZr pomocí metody ACOM. Barevný obrázek (b) popisuje prostorové rozložení jednotlivých fází, (c) jejich elektronovou difrakci a (d) fit k napočteným templátům [8].



Obr. 17 In-situ deformace multivrstvy CrN/Cr připravené pomocí plazmového FIB. Napěťový stav a distribuce napětí v jednotlivých vrstvách jsou určeny difrakčním experimentem [14].



Vlastní vědeckou práci členů LEM dokumentuje spolupráce na CaSi_2 [15], strukturní studium hlubokomořských konkréci a publikace metodologického projektu věnovaného matematickému popisu polykrystalické mikrostruktury na základě dat z 3D-EBSD [16].

LITERATURA

- [1] I. Jankowska-Sumara, M. Paściak, M. Podgórna, A. Majchrowski, M. Kopecký, and J. Kub: Incommensurately modulated structures in $\text{Pb}(\text{Zr}_{1-x}\text{Sn}_x)\text{O}_3$ single crystals by x-ray diffraction, *APL Mater.* **9** (2021), 021101. doi.org/10.1063/5.0035877
- [2] J. Čapek, J. Kubásek, J. Pinc, J. Maňák, O. Molnárová, J. Drahokoupil, M. Čavojský: $\text{ZnMg}_{0.8}\text{Ca}_{0.2}$ (wt%) biodegradable alloy – The influence of thermal treatment and extrusion on microstructural and mechanical characteristics, *Materials Characterization* **162** (2020), 110230. doi.org/10.1016/j.matchar.2020.110230
- [3] M. Tyunina, O. Pacheroova, N. Nepomniashchaia, V. Vetokhina, S. Cichon, T. Kocourek and A. Dejnek: In situ anion-doped epitaxial strontium titanate films, *Phys. Chem. Chem. Phys.* **22** (2020) 24796–24800. doi.org/10.1039/d0cp03644g
- [4] M. Vilémová, H. Hadraba, Z. Weiss, F. Lukáč, Š. Csáki, J. Matějček, T. Chráska: Phase, Composition and Structure Changes of CoCrNi-Based Concentrated Alloys Resulting from High Temperature Oxidation, *Materials* **2020**, **13**, 2276. doi.org/10.3390/ma13102276
- [5] Z. Weiss: Glow discharge excitation and ionization of chromium, comparison with iron, *Spectrochim. Acta B* **166** (2020) 105792. doi.org/10.1016/j.sab.2020.105792
- [6] Z. Weiss, J. C. Pickering: Charge transfer from doubly charged ions of transition elements in a neon glow discharge: evidence based on emission spectra, *Plasma Sources Sci. Technol.* **29** (2020) 045025. doi.org/10.1088/1361-6595/ab82b2
- [7] Z. Weiss: Emission spectroscopic diagnostics of weakly ionized argon-diluted plasmas: glow discharge and inductively coupled plasma, *Plasma Sources Sci. Technol.* **29** (2020) 105018. doi.org/10.1088/1361-6595/abb41e
- [8] F. Lukáč, M. Vilémová, M. Klementová, P. Minárik, T. Chráska: The origin and the effect of the fcc phase in sintered HfNbTaTiZr , *Materials Letters* **286** (2021) 129224. doi.org/10.1016/j.matlet.2020.129224
- [9] P. Hauschwitz, R. Jagdheesh, S. Alamri, D. Rostohar, T. Kunze, J. Brajer, J. Kopeček, T. Mocek: Fabrication of functional superhydrophobic surfaces on carbon fibre reinforced plastics by IR and UV direct laser interference patterning, *Appl. Surf. Sci.* **508** (2020) 144817–1. doi.org/10.1016/j.apsusc.2019.144817
- [10] P. Ashcheulov, A. Taylor, Z. Vlčková Živcová, P. Hubík, J. Honolka, M. Vondráček, M. Remzová, J. Kopeček, L. Klimša, J. Lorinčík, M. Davydova, Z. Remeš, M. Kohout, A.M. Beltran, V. Mortet: Low temperature synthesis of transparent conductive boron doped diamond films for optoelectronic applications: Role of hydrogen on the electrical properties, *Appl. Mater. Today* **19** (2020) 100633–1. doi.org/10.1016/j.apmt.2020.100633
- [11] I. Kratochvílová, P. Ashcheulov, J. Škarohlíd, R. Škoda, J. Kopeček, P. Sajdl, J. Macák, M. Lajčínová, A. Nováková, J. Neethling, A. J. van Vuuren, S. Ngongo, P. Xu, J. Lorinčík, M. Steinbrück, Zr alloy protection against high-temperature oxidation: coating by a double-layered structure with active and passive functional properties, *Corr. Sci.* **163** (2020) 108270–1. doi.org/10.1016/j.corsci.2019.108270
- [12] J. Fritz, A. Greshake, M. Klementova, R. Wirth, L. Palatinus, R.G. Tronnes, V.A. Fernandes, U. Bottger, L. Ferriere: Donwilhelmsite, $[\text{CaAl}_4\text{Si}_2\text{O}_{11}]$, a new lunar high-pressure Ca-Al-silicate with relevance for subducted terrestrial sediments, *American Mineralogist* **105** (2020) 1704. doi.org/10.2138/am-2020-7393
- [13] B. Beake, R. Čtvrtlík, A. Harris, A. Martin, L. Václavek, J. Maňák, V. Ranc: High frequency acoustic emission monitoring in nano-impact of alumina and partially stabilised zirconia, *Materials Science and Engineering: A* **780** (2020) 139159. doi.org/10.1016/j.msea.2020.139159
- [14] M. Meindlhumer, L.R. Brandt, J. Zalesak, M. Rosenthal, H. Hruby, J. Kopeček, E. Salvati, C. Mitterer, R. Daniel, J. Todt, J. Keckes, A.M. Korsunsky, Evolution of stress fields during crack growth and arrest in a brittle-ductile CrN-Cr clamped-cantilever analysed by X-ray nanodiffraction and modelling, *Mat. Des.* **198** (2021) 109365–1. doi.org/10.1016/j.matdes.2020.109365
- [15] Z. Liao, Y. Standke, J. Gluch, P. Brázda, J. Kopeček, M. Klementová, L. Palatinus, E. Zschech: Cleaving silicene-terminated calcium disilicide in the transmission electron microscope, *Nanotechnology* **31**:(9) (2020) 095702–1. doi.org/10.1088/1361-6528/ab5604
- [16] J. Kopeček, J. Staněk, S. Habr, F. Seidl, L. Petrich, V. Schmidt, V. Beneš: Analysis of Polycrystalline microstructure of AlMgSc Alloy Observed by 3D EBSD, *Image Analysis & Stereology* **39**:(1) (2020) 1. doi.org/10.5566/ias.2224

2.2.3 Fázové transformace ve slitinách s tvarovou pamětí

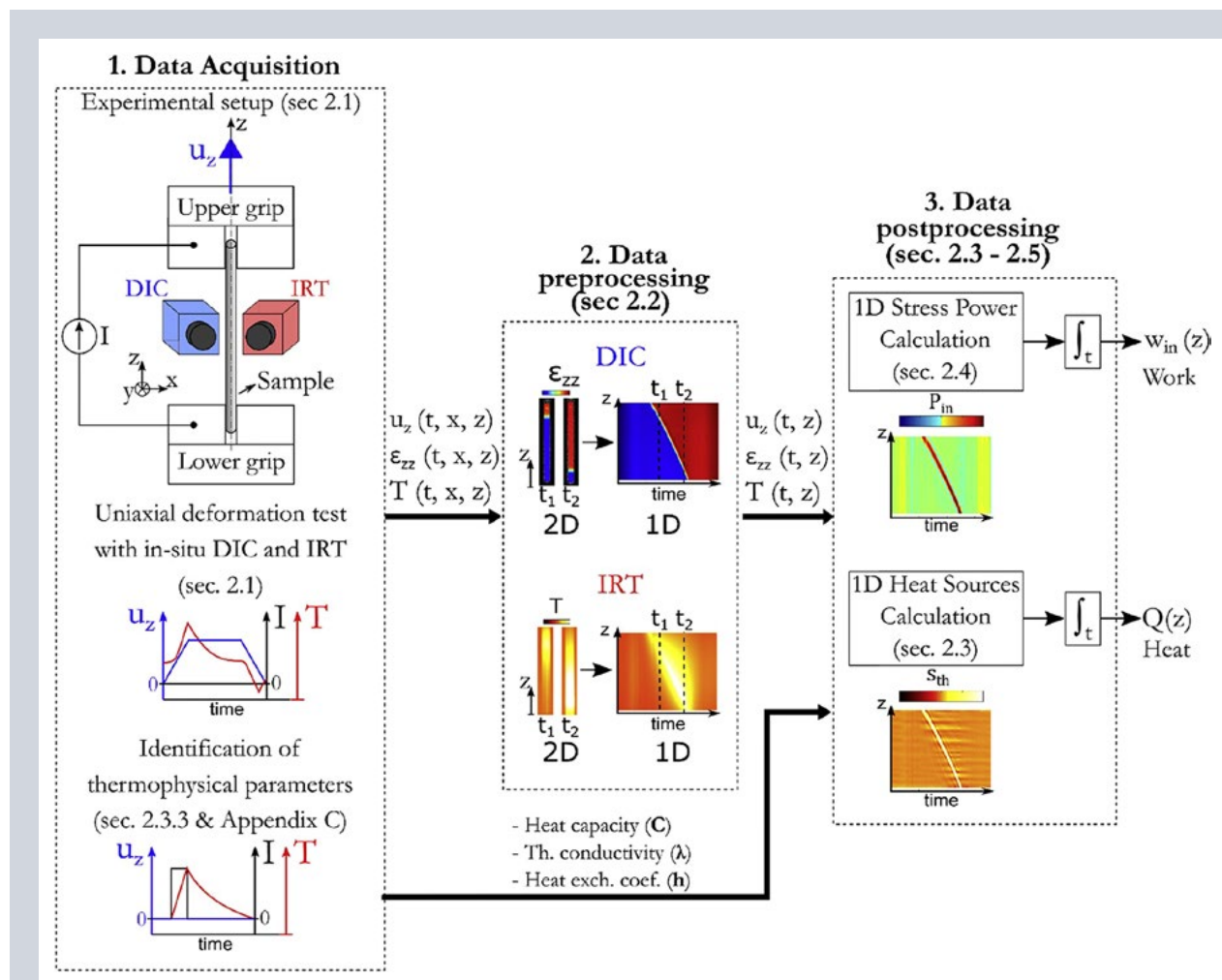
Aplikace metody deformační infračervené kalorimetrie k in-situ charakterizaci lokalizovaných deformačních procesů v kovových materiálech

Implementovali jsme metodu deformační infračervené kalorimetrie pro účely termodynamické charakterizace lokalizovaných deformačních procesů vyhodnocováním deformační a tepelné energie, ukládané nebo uvolňované ve studovaných materiálech v průběhu jednoosých deformačních experimentů. Implementace metody, která je schematicky ukázána na obr. 18, spočívá v bezkontaktním měření deformací a teploty na povrchu deformovaného vzorku pomocí metod digitální obrazové korelace a infračervené termografie, jejichž obrazová data jsou vyhodnocena vyvinutým softwarem. Metoda byla využita pro charakterizaci sta-

bilizace cyklické deformační odezvy superelastických slitin NiTi vyhodnocením cyklického vývoje disipované energie a frakčního podílu martensitu spojených s lokalizovanou martensitickou transformací v superelastických NiTi drátech [1,2].

Mechanismus cyklické únavy superelastických NiTi vláken namáhaných v kapalinách

Superelastická NiTi vlákna používaná v lékařských implantátech jsou pokryta tenkou oxidickou vrstvou (50 nm, Ti_3Ni_4), která při velké superelastické deformaci povrchu praská. Trhliny v oxidu jsou po odtížení jen několik nanometrů tenké a v kapalině se navíc velmi rychle zacelí působením elektrochemických procesů. Pokud se však při cyklické mechanické deformaci v kapalinách trhliny periodicky otevírají a zavírají,



Obr. 18 Schéma implementace metody deformační infračervené kalorimetrie pro účely materiálové charakterizace lokalizovaných deformačních procesů. Metoda spočívá v bezkontaktním měření deformací a teploty na povrchu deformovaného vzorku (1.) pomocí metod digitální obrazové korelace a termografie (2.), jejichž obrazová data jsou vyhodnocena pomocí speciálního softwaru ve formě deformační a tepelné energie (3.).

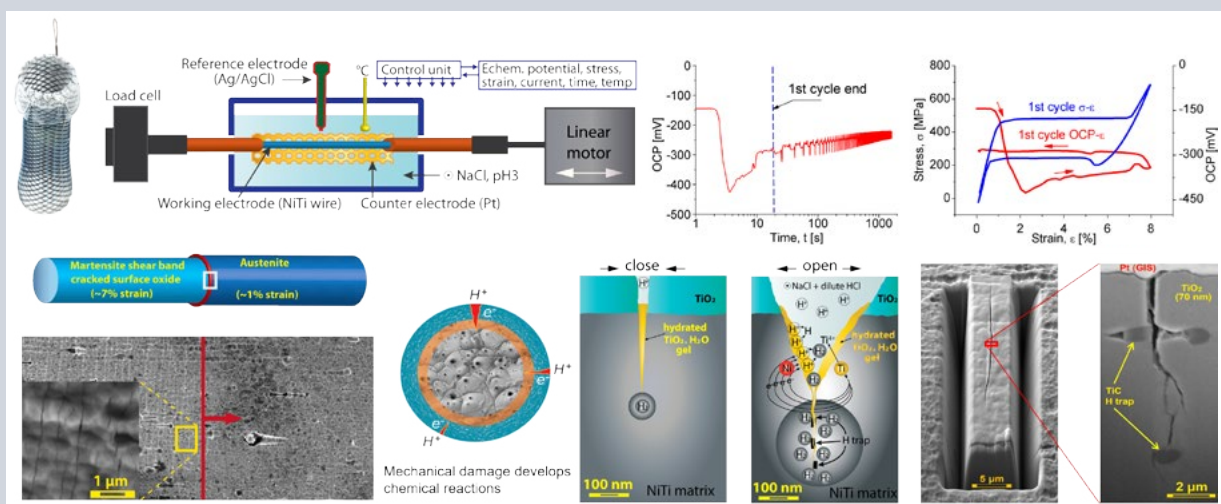
mohou být příčinou mechanochemické koroze a nukleace trhlin v kovu a následného porušování. Abychom ověřili, zda je to pravda nebo ne, vyvinuli jsme metodu elektrochemické charakterizace procesů na povrchu kovových vláken cyklicky deformovaných v kapalinách a popsali mechanochemický mechanismus iniciace porušování NiTi vláken cyklicky deformovaných v kapalinách (obr. 19). V práci [3] jsme tuto metodu použili ke studiu mechanické únavy NiTi vláken s definovanými úpravami povrchu namáhaných cyklickou superelastickou deformací do lomu v simulovaném biologickém roztoku při tělní teplotě 37 °C. Ukázalo se, že přestože trhliny v oxidické vrstvě vznikají a iniciují vznik trhlin v cyklicky deformovaném vlákně NiTi, dominantní mechanismy ovlivňující únavovou životnost vláken

NiTi jsou jiné. Oxidické vrstvy, a to i v případě nejkvalitnějších povrchových úprav používaných v oboru při výrobě lékařských implantátů, mohou únavovou životnost vláken NiTi pouze zhoršit, pokud jsou nekvalitní (tlusté a/nebo nehomogenní). Kvalitní oxidické vrstvy zhoršují únavovou životnost vláken pouze za velmi specifických podmínek.

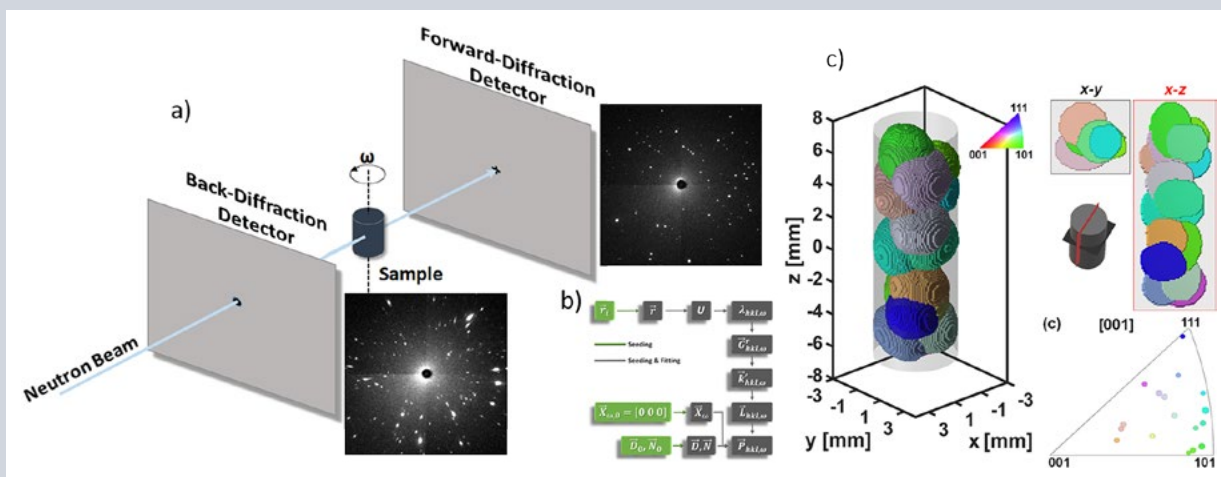
Metoda 3D Laue neutronové difrakční tomografie

V rámci účasti pracovníků skupiny FMC v projektu české účasti na výstavbě Evropského spalačního zdroje v Lundu ve Švédsku, pracovala v letech 2019–20 skupina 4 postdoků z Dánska, Řecka a Austrálie. Předmětem našeho výzkumu byl vývoj neutronových difrakčních

50



Obr. 19 In-situ elektrochemická metoda studia porušování kovových vláken cyklicky deformovaných v kapalinách. Cyklicky deformované NiTi vlákno pracuje jako elektroda v elektrochemické cele měřící časový průběh elektrochemického potenciálu, který citlivě reaguje na otevírání a zavírání oxidických trhlin a elektrochemické procesy v nich probíhající v průběhu únavového testu v tahu [3]. Podstatnou komplikací je skutečnost, že deformace vlákna není homogenní, ale lokalizovaná na čele smykového pásu šířícího se vzorkem v průběhu tahové zkoušky.



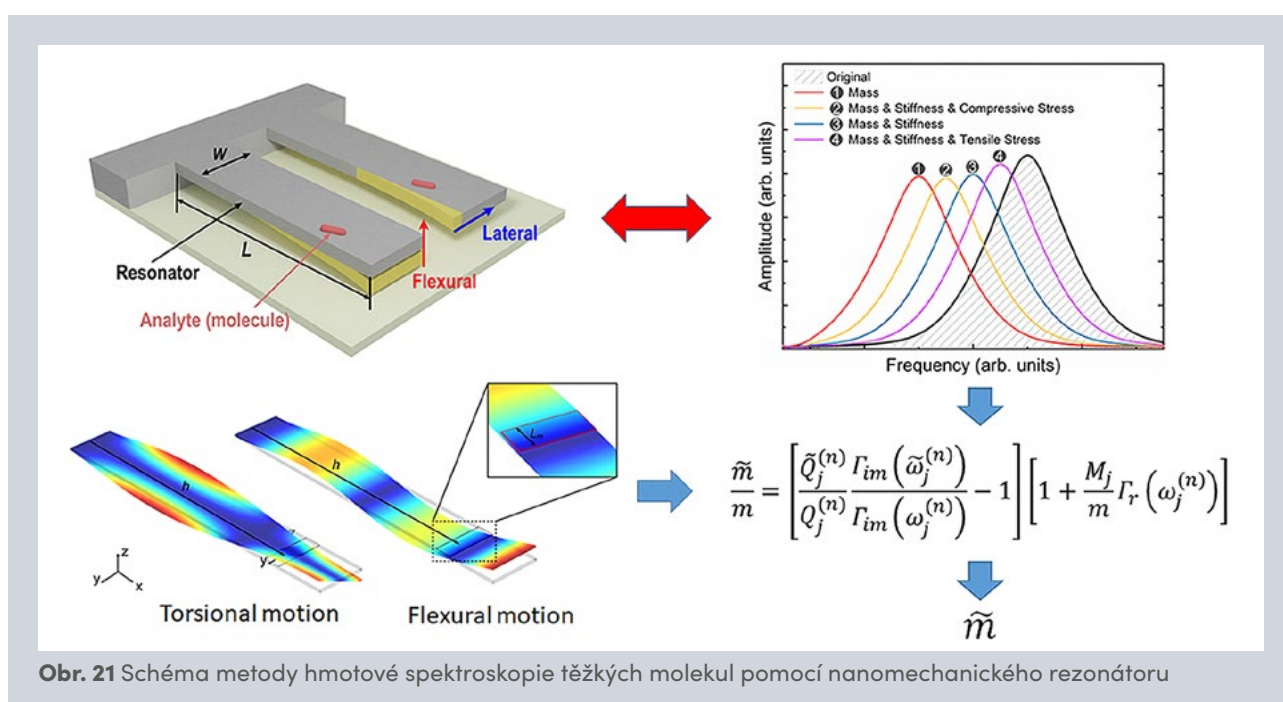
Obr. 20 Rekonstrukce polohy a tvaru polykrystalických zrn Fe a Cu provedená pomocí metody 3D Laue neutronové difrakční tomografie. Barvy zrn odpovídají krystalografické orientaci osy vzorku [4].



a zobrazovacích metod prostřednictvím experimentování na reaktoru v Berlíně a spalačním zdroji J-Parc v Japonsku. Jedním z klíčových výsledků je vývoj metody 3D Laue neutronové difrakční tomografie (obr. 20) ve spolupráci s kolegy z PSI a DTU [4]. V experimentu, ve kterém polykrystalický vzorek ozářený bílým svazkem termálních neutronů mezi dvěma detektory rotuje okolo své osy, jsou pro každou polohu vzorku zaznamenány dva lauegramy obsahující údaje o difraktovaných svazcích z vhodně orientovaných zrn. Pomocí analýzy stovek difrakčních záznamů pro definovaná natočení vzorku lze neinvazivně zrekonstruovat jeho polykrystalickou mikrostrukturu. Protože vzorek není při měření nijak narušen, je možné metodu aplikovat během tepelného nebo mechanického namáhání a použít ji k in-situ studiu fázových martenzitických transformací a distribuce napětí v jednotlivých zrnech. Hlavní podíl na tomto výsledku má postdoktorand Stavros Samothrakitis, PhD., který vývoj metody ve FZÚ dokončil [4] a následně ji použil k rekonstrukci polykrystalické mikrostruktury extrudované feromagnetické slitiny s tvarovou pamětí CoNiGa [5]. Výsledkem práce jeho spolupracovnice Camilly Larsen, PhD., bylo použití metody ke studiu fázových transformací ve slitinách SMA.

Hmotová spektroskopie těžkých molekul pomocí nanomechanického rezonátoru

Identifikace nejrůznějších organických molekul je jedním ze základních problémů analytické chemie, medicíny a biologie. Hmotová spektroskopie pomocí nanomechanických rezonátorů (obr. 21) se ukazuje být perspektivní analytickou metodou v tomto směru. Aplikace metody je omezena tím, že analyzovaná molekula musí být mnohem lehčí než vlastní rezonátor. Analýza těžkých molekul proto může být zatížena velkou chybou. Zabývali jsme se tímto problémem a vyvinuli novou metodu detekce těžkých molekul v jejich přirozeném prostředí [6]. Ukázali jsme, že změny Q-faktoru mohou být detekovány bez náročné analýzy pozice, tuhosti a vazebních efektů na frekvenci rezonátoru.



2.2.4 Materiály s řízenou mikrostrukturou

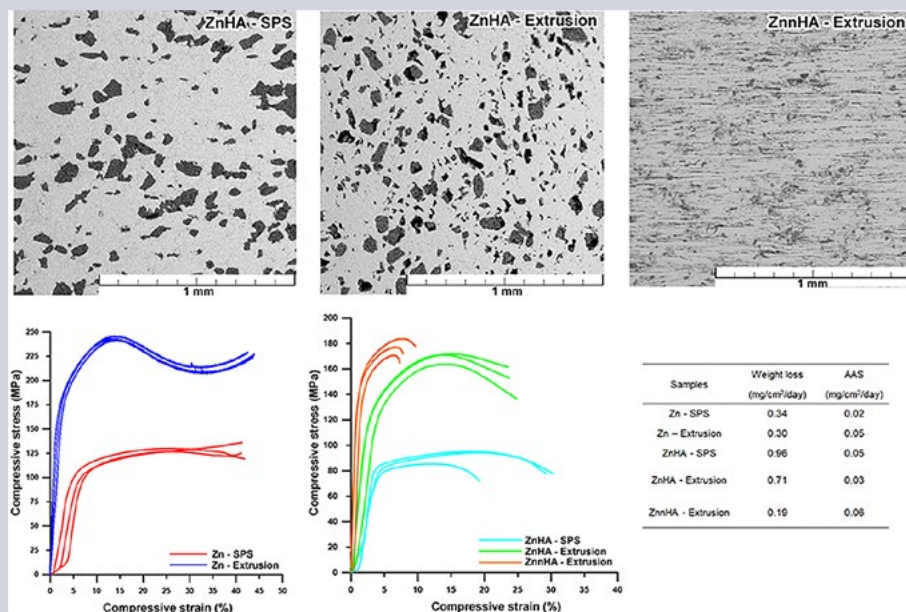
Vlastnosti biodegradabilních slitin na bázi zinku

Biodegradabilní kovové materiály jsou primárně zamýšleny pro využití v medicíně jako fixace zlomenin, či pro výrobu stentů, které se v průběhu času v těle rozpustí, čímž se vyloučí jinak nutná reoperace pro jejich vyjmutí. Velmi slibným materiálem pro tyto aplikace jsou kovové materiály na bázi zinku. Zaměřili jsme se na výzkum slitin zinku s hořčíkem a vápníkem, či stronciem, které by měly mít vhodné mechanické a korozní (rozpuštěcí) vlastnosti. U slitiny zinku s 0,8 % hořčíku a 0,2 % vápníku, či stroncia jsme kompletně popsali mikrostrukturu a mechanické vlastnosti po extruzi, či procesu zvaném ECAP. Ukázali jsme, že extruze při zvýšených teplotách vede k výraznému zjemnění struktury a mechanické vlastnosti takového materiálu (modul pružnosti 75–130 GPa) jsou příhodné pro implantologii [7]. Výsledky ukázaly, že slitina vykazuje anizotropii mechanických vlastností, což se projevuje zejména u materiálu připraveného extruzí [7]. Dalším krokem při výzkumu těchto materiálů je studium kompozitů tvořených zinkem, či zinkovou slitinou a hyd-

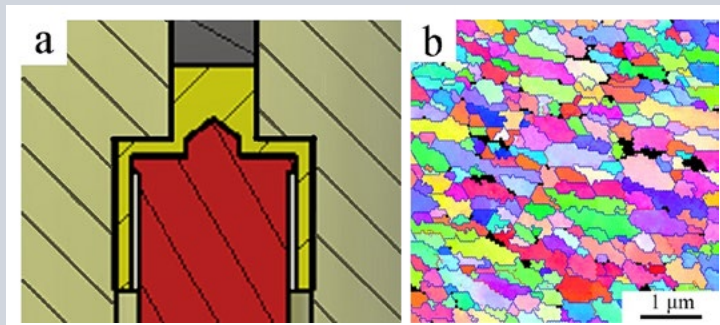
roxyapatitem. Hydroxyapatit je svým složením velmi blízký kostnímu minerálu a jeho přítomnost v materiálu by tak měla zvýšit jeho biokompatibilitu. Poprvé jsme takový kompozitní materiál připravili extruzí. Jiným způsobem přípravy takových kompozitů je spékání v jiskrovém plazmatu (spark plasma sintering). I v tomto případě jsme připravili materiál s vlastnostmi slibnými pro medicínské aplikace [8] (obr. 22).

Vývoj ultrajemnozrných materiálů pomocí kombinované intenzivní plastické deformace

Pro produkci materiálů s ultrajemnozrnou (nanokrystalickou) strukturou jsme navrhli metodu komplexní intenzivní plastické deformace. Kombinací extruze, ECAPu a rotačního tření, tzv. CSET metodou (obr. 23a), jsme z kompaktní tyčky slitiny Al-Cu-Mn (A3003) připravili v jednostupňovém procesu silnostěnnou trubku se strukturou, charakterizovanou velikostí zrn v nanometrické oblasti (obr. 23b). Přitom se např. tvrdost materiálu zvýší trojnásobně [8].



Obr. 22: Mikrostruktury kompozitů zinek – hydroxyapatit připraveného metodou SPS nebo extruzí, s různou velikostí keramických částic (mikro vs nano). Vedle mikrostruktur jednotlivých materiálů, jsou vidět také mechanické a korozní vlastnosti připravených kompozitů spolu s hodnotami pro čistý zinek (referenční materiál) [8].



Obr. 23: (a) Schéma procesu CSET. Tyčka (zde označena žlutě) je tlačena na rotující trn (červený) a po extruzi je protlačována do rozšiřujícího se kanálu. Výsledkem je silnostěnná trubka. (b) mikrostruktura vzorku slitiny A3003 po procesu CSET. Barevné odstíny jednotlivých zrn jsou generovány softwarem pro vyhodnocení dat naměřených metodou EBSD ve skenovacím elektronovém mikroskopu a odrážejí krystalografickou orientaci.

2.2.5 CVD diamantové vrstvy

Elektricky vodivé a opticky transparentní borem dopované diamantové elektrody

Práce Dr. P. Ashcheulova, Ph.D., a kol. [10] představila možnost výroby elektricky vodivých a opticky transparentních borem dopovaných diamantových elektrod při nízké teplotě a na velké ploše. Tato práce přináší nové perspektivy pro použití vodivých diamantových povlaků na teplotně citlivých materiálech, jako je křemíkový solární článek nebo sklo, které se široce používá ve fotovoltaických zařízeních (obr. 24).

Epitaxní borem dopované diamantové vrstvy pro aplikace ve vysokém elektrickém poli

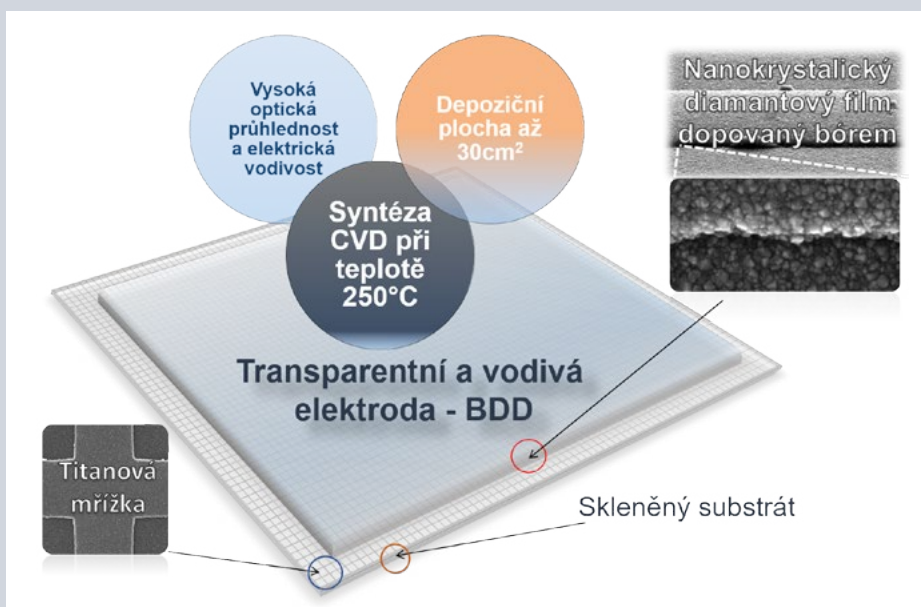
Ph.D. student Ing. N. Lambert [11] publikoval originální a novou experimentální a teoretickou práci týkající se elektrických vlastností epitaxních borem dopovaných diamantových vrstev ve vysokém elektrickém poli. Pozorovaná superexponenciální variace vodivosti byla prokázána jako kombinace dopadu nečistot ionizace a samoohřívacího efektu [11].

Nový přístup k analýze Ramanovských spekter borem dopovaného diamantu

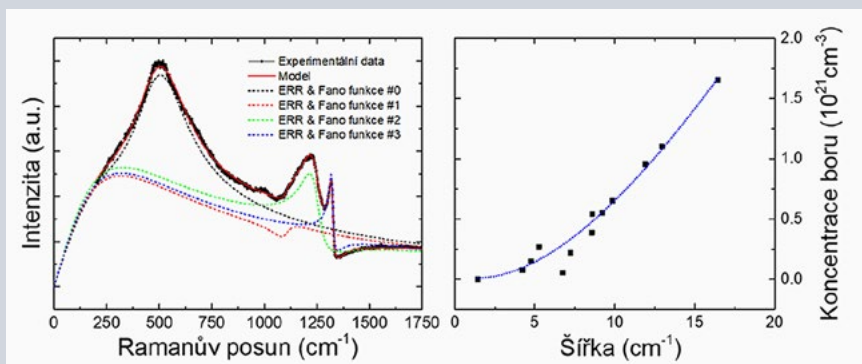
Dr. V. Mortet a kol. představili nový přístup k analýze Ramanova spektra borem dopovaného diamantu v širokém rozsahu dopování bórem a při zvyšování teploty měření na základě interakce mezi phononovými a elektronovými Ramanovskými rozptylovými jevy [12]. Předložená analýza demonstruje značný přínos elektronického Ramanovského rozptylu pro Ramanovo spektrum a otevírá praktickou cestu k určení dalších vlastností borem dopovaných diamantů, jako je koncentrace nosiče a mobilita nosiče (obr. 25).

LITERATURA

- [1] A Jury, X Balandraud, L Heller, P Šittner, M Karlik, Reconstruction of heat sources induced in superelastically loaded Ni-Ti wire by localized deformation processes, *Experimental Mechanics* **61**, (2021) 349–366, 2021 doi.org/10.1007/s11340-020-00648-8
- [2] E Alarcon, L Heller, Deformation infrared calorimetry for materials characterization



Obr. 24 Schéma kompozitní elektrody borem dopovaný diamant / Ti-mřížka syntetizované při teplotě 250 °C. Implementace Ti mřížky umožňuje dosažení optimálních optoelektrických charakteristik elektrody.



Obr. 25 (vlevo) Experimentální a modelová funkce a její různé složky integrující elektronický Ramanovský rozptyl (ERR) a Fano funkce čtyř hlavních pozorovaných píků; (vpravo) Experimentální korelace mezi koncentrací boru v diamantu a nerušenou šířkou posunutého Ramanova píku diamantu umístěného na ca. 1332 cm⁻¹.

- applied to study cyclic superelasticity in NiTi wires, *Materials & Design* **199** (2021) 109406.
doi.org/10.1016/j.matdes.2020.109406
- [3] J. Racek and P. Sittner, Environmental fatigue of superelastic NiTi wire with two surface finishes, *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials* **111** (2020) 104028.
doi.org/10.1016/j.jmbbm.2020.104028
- [4] S. Samothrakitis, M. Raventós, J. Čapek, C. Larsen, C. Grünzweig, M. Tovar, M. Garcia-Gonzalez, J. Kopeček, S. Schmidt and M. Strobl, Grain morphology reconstruction of crystalline materials from Laue three-dimensional neutron diffraction tomography, *Scientific Reports* **10** (2020) 3724.
doi.org/10.1038/s41598-020-60330-w
- [5] S. Samothrakitis, C. Larsen, R. Woracek, L. Heller, J. Kopeček, G. Gerstein, H.J. Maier, M. Rameš, M. Tovar, P. Šittner, S. Schmidt, M. Strobl, A multiscale study of hot-extruded CoNiGa ferromagnetic shape-memory alloys, *Materials & Design* **195** (2020) 109118.
doi.org/10.1016/j.matdes.2020.109118
- [6] I. Stachiv, L. Gan, Ch. Kuo, P. Šittner, O. Ševeček, Mass Spectrometry of Heavy Analytes and Large Biological Aggregates by Monitoring Changes in the Quality Factor of Nanomechanical Resonators in Air, *ACS Sensors* **5** (2020) 2128–2135.
doi.org/10.1021/acssensors.0c00756
- [7] J. Čapek, J. Kubásek, J. Pinc, J. Drahoukoupil, M. Čavojský, D. Vojtěch: Extrusion of the biodegradable ZnMg_{0.8}Ca_{0.2} alloy, The influence of extrusion parameters on microstructure and mechanical characteristics, *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials* **108** (2020) 103796(1)–103796(16).
doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.03.053
- [8] J. Pinc, J. Čapek, J. Kubásek, F. Průša, V. Hybášek, P. Veřtát, I. Sedlářová, D. Vojtěch, Characterization of a Zn-Ca₅(PO₄)₃(OH) Composite with a High Content of the Hydroxyapatite Particles Prepared by the Spark Plasma Sintering Process, *Metals* **10** (2020) 372 (1)–372 (18).
doi.org/10.3390/met10030372
- [9] O. Molnářová, S. Habr, P. Málek, P. Lejček, Complex shearing of extruded tube (CSET) method for production of tubes with ultra-fine-grained structure, *Materials Letters* **278** (2020) 128341(1)–128341(4).
doi.org/10.1016/j.matlet.2020.128341
- [10] P. Ashcheulov, A. Taylor, Z. Vlckova Zivcova, P. Hubik, J. Honolka, M. Vondracek, M. Remzova, J. Kopecek, L. Klimsa, J. Lorincik, M. Davydova, Z. Remes, M. Kohout, A.M. Beltran, V. Mortet: Low temperature synthesis of transparent conductive boron doped diamond films for optoelectronic applications: Role of hydrogen on the electrical properties, *Applied Materials Today* **19** (2020) 100633 (10).
doi.org/10.1016/j.apmt.2020.100633
- [11] N. Lambert, A. Taylor, P. Hubik, J. Bulir, J. More-Chevalier, H. Karaca, C. Fleury, J. Voves, Z. Soban, D. Pogany, V. Mortet: Modeling current transport in boron-doped diamond at high electric fields including self-heating effect, *Diamond and Related Materials* **109** (2020) 108003 (11).
doi.org/10.1016/j.diamond.2020.108003
- [12] V. Mortet, I. Gregora, A. Taylor, N. Lambert, P. Ashcheulov, Z. Gedeonova, P. Hubik: New perspectives for heavily boron-doped diamond Raman spectrum analysis, *Carbon* **168** (2020) 319–327.
doi.org/10.1016/j.carbon.2020.06.075

2.2.6 Teorie kondenzovaného stavu

Fázové diagramy slitin přechodových kovů

Na základě výpočtů elektronové struktury z prvních principů jsme studovali stabilitu a chemické uspořádání 15 binárních substitučních slitin s kubickou objemově centrovanou strukturou složených z V, Nb, Ta, Cr, Mo a W [1]. Tyto slitiny se vyznačují vysokou pevností i za vysokých teplot, a proto jsou užitečné mimo jiné pro kosmické a jaderné technologie. Naše studie vznikla ve spolupráci s kolegy z Lawrence Livermore National Laboratory v USA. Konfigurační uspořádání bylo popsáno pomocí zobecněné poruchové metody, která poskytuje hodnoty efektivních interakcí mezi atomy. V rámci zobecněné metody středního pole byly vypočteny termodynamické vlastnosti, fázové diagramy a typy krátkodosahového uspořádání. Příklad zjištěného fázového diagramu je uveden na obrázku 26. Naše výsledky vhodně doplňují dosud známé údaje o struktuře a stabilitě těchto slitin.

Anomální Hallův jev ve slitině $\text{Fe}_{60}\text{Al}_{40}$

Strukturu i magnetický stav slitiny železa a hliníku $\text{Fe}_{60}\text{Al}_{40}$ lze reverzibilně měnit ozářením iontovými svazky či laserovými pulzy. Uspořádaná slitina $\text{Fe}_{60}\text{Al}_{40}$ má strukturu CsCl a je paramagnetická, kdežto neuspořádaná slitina má prostorově centrovanou kubickou strukturu a je feromagnetická. Změny magnetického stavu jsou doprovázeny změnou intenzity anomálního Hallova jevu, což je vznik příčné složky elektrického proudu vyvolaný přítomností magnetických momentů ve feromagnetické látce. Protože uspořádaná slitina $\text{Fe}_{60}\text{Al}_{40}$ je paramagnetická, k anomálnímu Hallovu jevu v ní nedochází.

Rozsáhlými kvantově mechanickými výpočty z prvních principů jsme ukázali, že při změně geometrické struktury dochází v důsledku změny krystalové mřížky v okolí jednotlivých atomů ke změně uspořádání jejich magnetických momentů [2]. Naše výsledky na mikroskopické úrovni objasňují experimentální data, s kterými jsou ve velmi dobré shodě. Naším teoretickým rozбором jsme potvrdili, že tenké vrstvy slitiny $\text{Fe}_{60}\text{Al}_{40}$ jsou slibným materiálem pro využití ve spintronice.

Magnetismus na nanometrové škále

Již delší dobu se zabýváme magnetismem jednotlivých atomů a malých shluků atomů adsorbovaných na nemagnetických površích krystalů, které představují jednu z cest k dalšímu zvyšování kapacity magnetických médií pro ukládání dat. Naše nejaktuálnější studie na toto téma se zabývá detailním rozбором chování atomu dysprosia (Dy) adsorbovaného na povrchu mědi pokrytého monovrstvou grafenu [3]. Pro tento systém jsme vypočítali velikost spinové a orbitální složky magnetického momentu a vyhodnotili vztah obsazení 4f slupky elektronového obalu a magnetické anizotropie adsorbovaného atomu. Přitom jsme ukázali, že pro

realistické obsazení 4f slupky deseti elektrony je magnetický moment orientován kolmo k povrchu, tedy v souladu s experimentálními daty získanými pomocí rentgenovské spektroskopie (XMCD).

Teoretická interpretace mikroskopie atomárních sil

Krystal fluoridu vápenatého (CaF_2) patří díky silnému a asymetrickému elektrostatickému poli iontů na jeho povrchu mezi ideální testovací systémy pro mikroskopii atomárních sil (AFM). V roce 2020 jsme se podíleli na teoretické interpretaci experimentů provedených na Univerzitě v Řezně, při nichž byl povrch krystalu CaF_2 skenován hrotem AFM mikroskopu zakončeným molekulou oxidu uhelnatého. Přitom byly studovány změny kontrastu mezi režimem dalekodosahových elektrostatických sil a krátkodosahových Pauliho odpudivých sil, které mají původ v překryvu elektronových oblaků. Dobrá shoda experimentálně naměřených a teoreticky vypočtených obrázků (obr. 27) potvrdila správnost našich simulačních modelů a umožnila nám odhadnout efektivní poloměry elektronových oblaků přítomných iontů. Naše práce demonstruje možnost využití mikroskopie atomárních sil k parametrizaci empirických potenciálů [4].

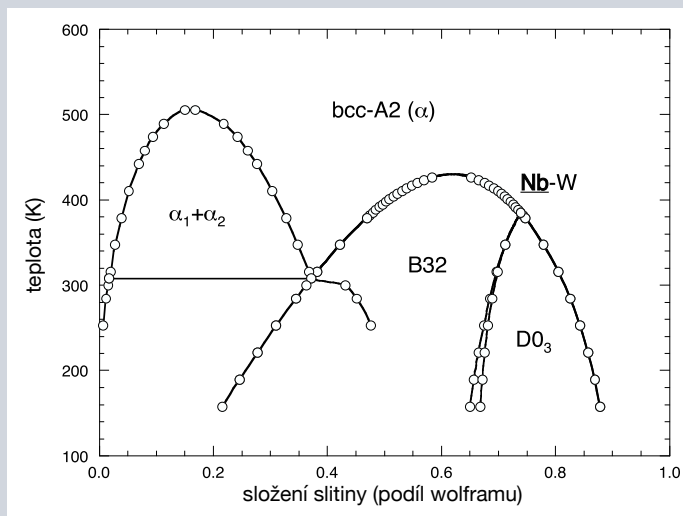
Proudění koloidních roztoků v kapilárách

Pohyb koloidních částic mikronové a submikronové velikosti v úzkých pórech má řadu technických aplikací, například separace nanočástic podle velikosti či mikrofluidické „laboratoře na čipu“ (Lab on a Chip). Vzájemná interakce koloidních částic v kombinaci s netriviální geometrií póru představuje značný teoretický problém, který jsme řešili v rámci stochastického modelu v diskretizované geometrii. Základní otázka, kterou jsme si kladli, byla, zda a za jakých podmínek se dá v úzkém póru dosáhnout separace částic podle jejich velikosti. Uvažovali jsme hustý systém koloidních částic o dvou velikostech, na něž působí střídavé elektrické pole s nízkou frekvencí a způsobuje jejich usměrněný pohyb. Podařilo se nám zjistit, v jaké oblasti hustot dochází k úplné separaci, tedy kdy částice jedné velikosti proudí pórem na opačnou stranu než částice druhé velikosti. Problém jsme řešili jak numerickými simulacemi, tak přibližnými analytickými výpočty [5]. Jak ukazuje obrázek 28, přibližné výpočty velmi dobře souhlasí s přesnými simulacemi. Zajímavým výsledkem je, že oblast úplné separace tvoří poměrně široký pruh v diagonálním směru. To naznačuje možnost, že při správně zvoleném průběhu separačního procesu, kdy se hustoty obou typů částic v čase mění, se můžeme trvale pohybovat v režimu plné separace, a proces tedy může mít až sto procentní účinnost.

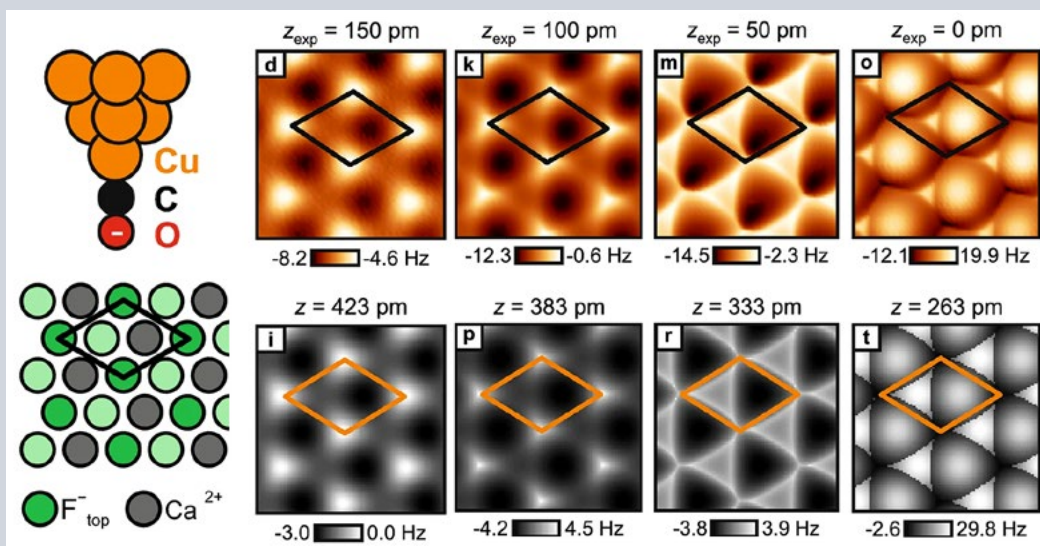
Optická odezva polovodičových nanostruktur

Optické nelinearity v polovodičích jsou dobře prozkoumány ve viditelné a infračervené oblasti spektra, v oblasti mikrovln (GHz) a terahertzů (THz) ale tak detailní porozumění zatím chybí. Polovodičové super-

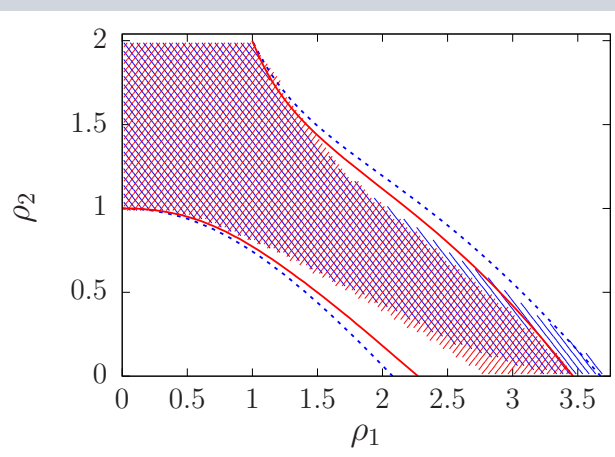




Obr. 26 Vypočtený fázový diagram slitiny niobu (Nb) a wolframu (W). Na vodorovné ose je uvedena koncentrace wolframu – levá strana grafu odpovídá čistému niobu, pravá strana čistému wolframu. Linie ohraničují oblasti stability různých uspořádání atomů v krystalové mřížce.



Obr. 27: Porovnání atomové struktury krystalu CaF_2 (vlevo), experimentálních (nahore) a teoreticky simulovaných (dole) obrázků z mikroskopu atomárních sil při použití hrotu zakončeného molekulou oxidu uhelnatého (CO). Simulace reprodukuje jak kvalitativní vývoj kontrastu (formování ostrých hran, inverzi kontrastu), tak kvantitativní variace tuhosti systému, která se projevuje změnou frekvence oscilací raménka mikroskopu (proto je výsledek v Hertzech). Efekty zaostření hran jsou způsobeny vychylováním molekuly CO směrem od záporně nabitých iontů fluoru. Efekt, který naše simulace nedokázala popsat, je zmenšování bílého trojúhelníku v těsném kontaktu – ten může být způsoben vychylováním iontů substrátu, zatímco v naší simulaci byly polohy iontů zafixovány.

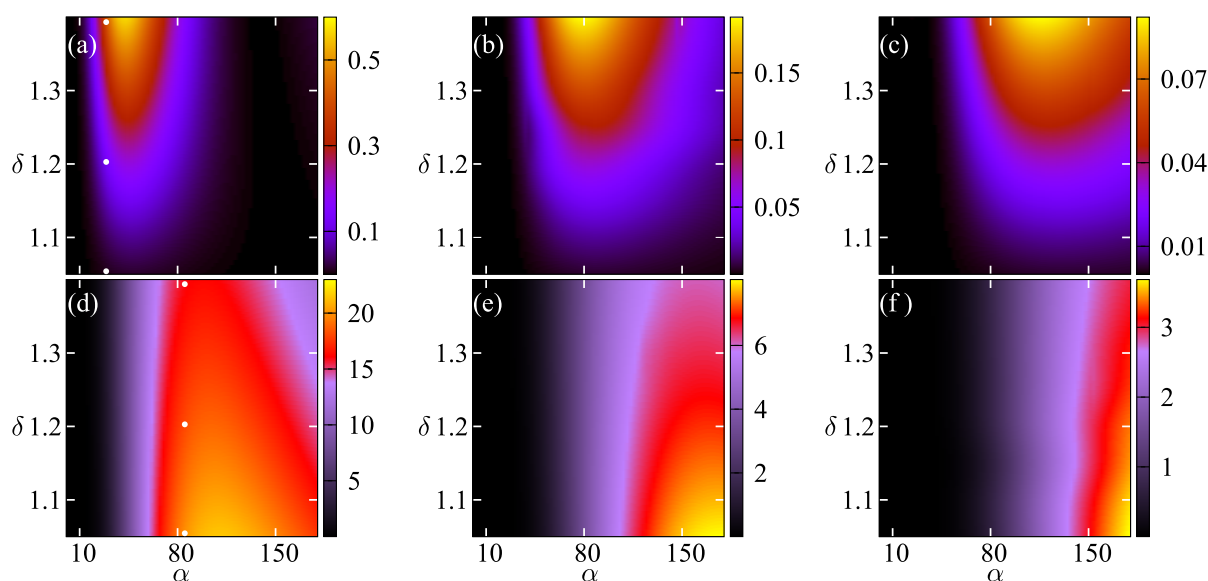


Obr. 28: Fázový diagram procesu separace koloidních částic. Hustota menších částic je označena jako ρ_1 , hustota větších částic jako ρ_2 . Zobrazena je oblast takových kombinací hustot, kde je možná úplná separace. Šrafované je vyznačen výsledek simulací, křivky ohraničují oblast úplné separace, jak ji určuje přibližný analytický výpočet. Modrá a červená barva odpovídají dvěma různým geometriím póru.

mřížky jsou uměle vytvořené struktury, v nichž se střídají vrstvy různých polovodičových materiálů a které mohou být navrženy tak, aby účinně násobily frekvenci terahertzového záření. S použitím nerovnovážných Greenových funkcí jsme demonstrovali, jak je intenzita generovaných harmonických frekvencí ovlivněna rozptylem na rozhraních mezi jednotlivými vrstvami supermřížky [6]. Vypočtené výstupní intenzity vyšších harmonických frekvencí v závislosti na vstupní intenzitě záření a na kvalitě rozhraní v supermřížce se střídajícími se vrstvami GaAs a AlAs jsou ilustrovány na obr. 29.

LITERATURA

- [1] P. E. A. Turchi, V. Drchal, J. Kudrnovský, and A. Perron: Ab initio study of stability, local order, and phase diagram for a series of bcc-based transition metal alloys, *J. Phase Equilib. Diffus.* **41** (2020) 737–755.
doi.org/10.1007/s11669-020-00846-w
- [2] J. Kudrnovský, V. Drchal, F. Máca, I. Turek, and S. Khmelevskiy, Large anomalous Hall angle in $\text{Fe}_{60}\text{Al}_{40}$ alloy induced by substitutional atomic disorder, *Phys. Rev. B* **101** (2020) 054437.
doi.org/10.1103/PhysRevB.101.054437
- [3] A. B. Shick, J. Kolorenč, A. Yu. Denisov, D. S. Shapiro, Magnetic anisotropy of a Dy atom on a graphene/Cu(111) surface, *Phys. Rev. B* **102** (2020) 064402.
doi.org/10.1103/PhysRevB.102.064402
- [4] A. Liebig, P. Hapala, A. J. Weymouth, F. J. Giessibl, Quantifying the evolution of atomic interaction of a complex surface with a functionalized atomic force microscopy tip, *Sci. Rep.* **10** (2020) 14104.
doi.org/10.1038/s41598-020-71077-9
- [5] Y. Humenyuk, M. Kotrla, K. Netočný, F. Slanina, Separation of dense colloidal suspensions in narrow channels: A stochastic model, *Phys. Rev. E* **101** (2020) 032608.
doi.org/10.1103/PhysRevE.101.032608
- [6] A. Apostolakis, M. F. Pereira, Superlattice nonlinearities for Gigahertz-Terahertz generation in harmonic multipliers, *Nanophotonics* **9** (2020) 3941–3952.
doi.org/10.1515/nanoph-2020-0155



Obr. 29: Intenzita generovaných vyšších harmonických frekvencí jako funkce vstupní intenzity (α) a parametru charakterizujícího kvalitu rozhraní v supermřížce (δ). V horní řadě grafů jsou zobrazeny intenzity sudých harmonických frekvencí (druhé, čtvrté a šesté), ve spodní řadě pak intenzity lichých harmonických frekvencí (třetí, páté a sedmé).



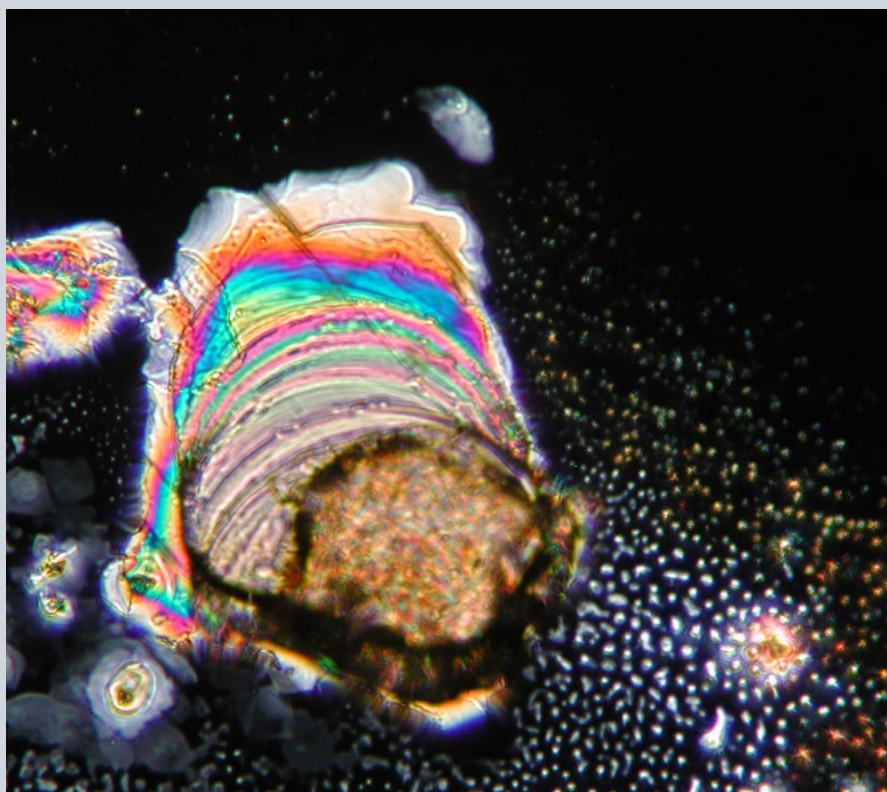
2.2.7 Výzkum a služby v Oddělení chemie

Oddělení chemie využívá odborné znalosti ze všech oblastí chemie a podporuje práci výzkumných týmů z celého ústavu. V oddělení jsou umístěny dvě technologické skupiny, zabývající se přípravou materiálů, a laboratoř analytické chemie, provádějící rozbor materiálu.

V oblasti organických materiálů připravujeme vysoce čisté samouspořádávající se materiály, které reagují nejen na elektrické pole, ale i na světlo. Ve spolupráci s oddělením dielektrik se zaměřujeme na modifikace jejich struktur, díky kterým můžeme ovlivňovat jejich kapalně krystalické vlastnosti. S oddělením dielektrik rovněž spolupracujeme na vývoji magneto-elektrické kapaliny, založené na magnetických nanodiscích pokrytých ligandy z organických molekul a při přípravě hybridních systémů kombinujících vlastnosti nanočástic a samouspořádávajících se materiálů.

V oboru anorganické chemie se zabýváme ve spolupráci s oddělením optických krystalů přípravou monokrystalů a práškových materiálů aplikovatelných jako luminofovy, scintilátory a detektory ionizujícího záření. Pozornost je věnována práškovým sulfidům, oxidům a vícesložkovým oxidům obsahujícím kromě alkalických kovů také prvky vzácných zemin. Cílem je ve spolupráci s oddělením optických materiálů ladit složení materiálů tak, aby bylo dosaženo požadovaných optických charakteristik materiálů.

Laboratoř analytické chemie vyvíjí podle požadavků jednotlivých výzkumných skupin metody stanovení obsahů jednotlivých prvků v málo běžných a atypických anorganických materiálech. K určení přesné struktury složitých organických látek využíváme NMR spektroskopii. Pro účely kontroly enantiomerní čistoty, která je zvláště důležitá u chirálních kapalně krystalických materiálů, jsme vypracovali moderní metodu vysoce účinné kapalinové chromatografie založenou na využití chirálních stacionárních fází.



Obr. 30 Tání kapalně-krystalického materiálu pozorované v polarizačním mikroskopu. Autor: Alexej Bubnov

2.3. Sekce fyziky pevných látek v roce 2020



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 nanokrystalů s vizí aplikace elektronové difrakční tomografie na oblast charakterizace nestabilních materiálů.

Výzkum sekce je organizačně a tématicky rozdělený do sedmi oddělení (od 1. 11. 2020 osmi), která se zabývají studiem nízkodimenzionálních molekulárních struktur, fyzikou polovodičů, spintronicou a nanoelektronikou, strukturní analýzou, magnetikami a supravodiči, tenkými vrstvami a nanostrukturami a optickými materiály. Činnost jednotlivých odděle-

ní v roce 2020 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 2020 jsme ve spolupráci s vědci z Univerzity Karlovy představili přelomový experiment, ve kterém se podařilo zápis informace do antiiferomagnetu pomocí záblesků z femtosekundového laseru. Další náš úspěch v oblasti spintroniky mění představy o antiiferomagnetech, neboť jsme objevili, že Hallův jev může vznikat i v tomto typu látek. V oblasti fotoniky jsme poprvé vyrobili fotonický rezonátor pro kvantové zdroje fotonů založené na poruchách křemík-vakance v tenké vrstvě cenově dostupného polykrystalického diamantu, a tím našli cestu, jak ve fotonice nahradit dosud používané monokrystalické diamanty. V oblasti fotoelektronové spektroskopie jsme s pomocí elektronové paramagnetické rezonance prokázali, že v práškových i keramických vzorcích $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}:\text{Eu}$ dochází ke stabilizaci Eu^{2+} iontů na pozici Y^{3+} . Keramický luminofor tohoto typu je perspektivní materiál pro pevnolátkové zdroje světla. V oblasti strukturní analýzy bylo hlavní letošní událostí dokončení dlouho očekávaného programu Jana2020 pro pokročilou strukturní analýzu. Tyto i jiné výsledky jsou podrobně popsány v následujících kapitolách.

2.3.1 Oddělení povrchů a molekulárních struktur

Oddělení povrchů a molekulárních struktur bylo ustanoveno v roce 2020 a je tvořeno třemi výzkumnými skupinami. Vědecká činnost oddělení se zaměřuje na studium fyzikálních a chemických procesů v molekulárních nanostrukturách na površích pevných látek nebo v molekulárních kontaktech. Hlavním téžistěm výzkumu oddělení je studium fyzikálních a chemických vlastností molekulárních systémů, s perspektivou hledat nové koncepty a aktivní prvky na bázi molekulární elektroniky. Vědecké skupiny těží ze silného provázání experimentálních a teoretických aktivit, které umožňují hlubší pochopení studovaných procesů. Experimentální činnost oddělení je zaměřena zejména na využití a další vývoj pokročilých technik rastrovací mikroskopie v ultra vysokém vakuu.

Rozšiřování experimentálních aktivit oddělení na fotofyzikální jevy v submolekulárním měřítku se děje v nově ustanovené skupině M. Švece. Jeho mladý výzkumný tým se věnuje elektro a fotoluminiscenci jednomolekulárních fotonových emitorů v nanokavitě rastrovacího mikroskopu, což je momentálně velmi rychle se vyvíjející vědní obor. Výzkum vybuzených stavů molekul, tzv. excitonů, nabízí vzhled do jejich energetiky a dynamiky, důležitých vlastností pro potenciální využití v nanoelektrofotonických aplikacích jako jsou jednofotonové zdroje, optoelektronické spínací prvky, hradla pro kvantové počítače (qubity), supercitlivé detektory. V uplynulém roce se týmu díky sérii vylepšení optické dráhy podařilo detekovat fluorescenci tzv. dubletového fotoemitoru, kterým je ftalocyanin mědi (CuPc), a popsat detailní mechanismus, kterým v této molekule na povrchu NaCl dochází k posuvu emisního spektra (obr. 31) [1]. Rovněž jejich výzkum přinesl novou experimentální metodu pro měření dynamiky excitonů s pikosekundovým rozlišením, kterou přímo aplikovali na objasnění vzniku nabitého excitonu (tzv. trionu) z excitonu neutrálního v molekule ZnPc [2]. Výzkumný tým se momentálně věnuje molekulárním agregátům a jejich optickým vlastnostem a rozšiřování metodiky o hrotově asistovanou fotoluminiscenci.

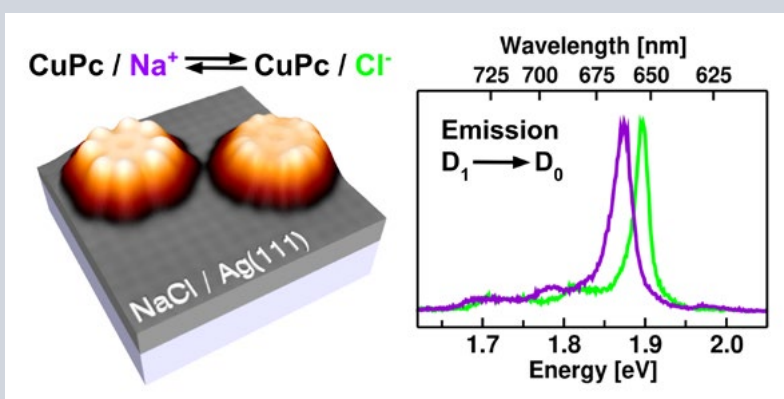
Skupina Héctora Vázqueze charakterizovala elektronovou strukturu nové třídy molekul, tzv. karbenů (obr. 32a), která otevírá cestu k vytvoření stabilních molekulárních filmů. Karbeny jsou třída nedávno izolovaných molekul, jejichž samouspořádané vrstvy jsou na povrchu zlata stabilnější než tradiční thioly. Skupina ve spolupráci s kolegy ze zahraničí poprvé zkoumala nejmenší cyklické karbeny adsorbované na substrátu Au (111). Studium prokazatelně zjistilo, že cyklické karbeny se vážou ještě silněji [3]. Teoretické modelování provedené skupinou H. Vázqueze na bázi metody DFT přineslo detailní vzhled do elektronických a atomárních vlastností rozhraní molekulárních vrstev a kovu. Zejména se ukázalo, že cyklické karbeny se váží na Au (111) v nakloněné geometrii (obr. 32b), v souladu s experimentálními nálezy. Důležité je, že adsorpce těchto karbenů nezměnila povrchovou strukturu. Navíc teoretické výpočty ukazují možnost vytvo-

řit silnější a méně omezenou vazbu na Au, experimentálně odvozenou na základě molekulární elektronické struktury. Tato práce otevírá novou cestu v rychle se měnícím oboru samostatně uspořádaných monovrstev karbenu na površích.

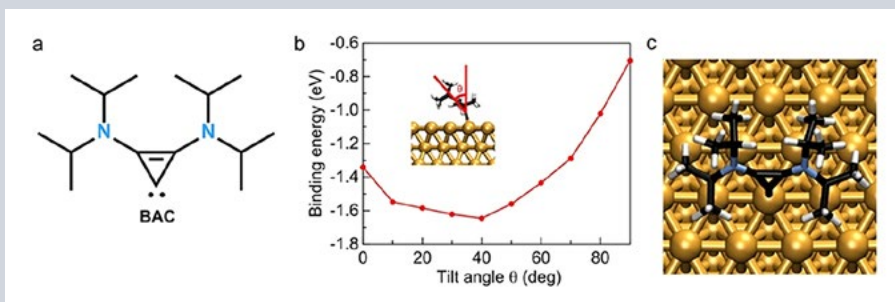
Skupina Nanosurf ve spolupráci se zahraničními kolegy představila novou strategii pro syntézu nové třídy vnitřně kvazikovových jednorozměrných π -konjugovaných polymerů s topologicky netriviálními kvantovými stavy [4]. Tento objev představuje radikální pokrok při hledání organických polymerů s kovovým charakterem. Navíc se nám podařilo objevit základní vztah mezi topologickým popisem pevných látek a π -konjugací polymerů. Tato práce tedy spojuje dva odlišné světy, kterými je teorie topologické pásové struktury (fyzika kondenzovaných látek) a π -konjugace uhlíkových polymerů (fyzikální chemie). Důležitost tohoto objevu potvrzuje skutečnost, že práce byla zveřejněna na titulní stránce dubnového čísla *Nature Nanotechnology* a byla jí věnována samostatná recenze *News & Views* ve stejném čísle.

Dále jsme představili syntetický protokol založený na hledání konkrétních vibračních módů prostřednictvím vhodného přizpůsobení π -konjugace prekurzorů, abychom zvýšili frekvenci pokusů o chemickou reakci [5]. Nejprve jsme syntetizovali 1D π -konjugovaný polymer na Au (111), který je tvořen bisanthenovými monomery spojených kumulenovými můstky, které vhodně ladí konkrétní vibrační mód. Ve druhém kroku, při dalším teplotním žíhání, dochází k aktivaci daného vibračního módu inicializujícího cyklizační reakci mezi sousedními bisanthenovými skupinami (obr. 33). To má za následek syntézu dlouhých konjugovaných polymerů žebříčkového charakteru. Mikroskopie atomových sil s vysokým rozlišením nám navíc umožňuje identifikovat rezonanční formu polymeru, čímž jsme potvrdili platnost tzv. Glidewellových a Lloydových pravidel pro aromaticnost. Práce ukazuje na zásadní význam vibračních stavů na průběh chemických reakcí na površích a může inicializovat novou třídu reakčních cest, které nejsou možné v tradiční organické chemii v roztocích.

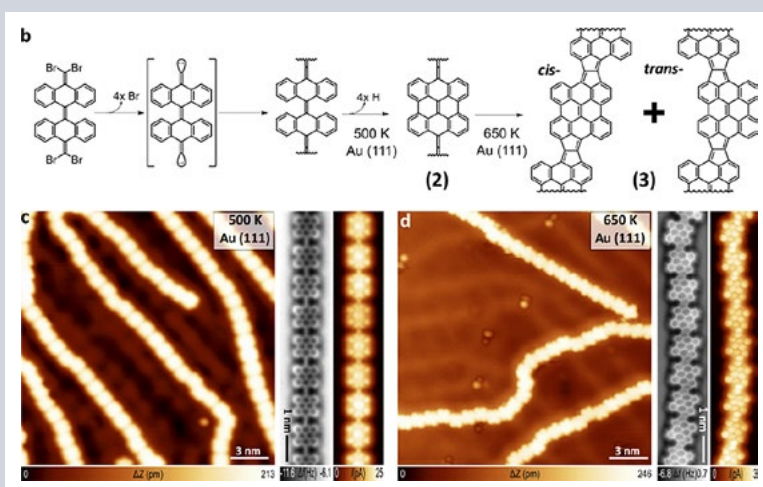
Skupina také významně přispěla k pokroku v oblasti povrchové syntézy a charakterizace magnetických molekulárních struktur na bázi uhlíku. Možnost syntézy polycyklických aromatických uhlovodíkových sloučenin (PAH), včetně nanografenových struktur s magnetickým uspořádáním, se stala velmi aktivní oblastí výzkumu. V roce 2020 jsme syntetizovali a charakterizovali různé molekulární PAH struktury s novými magnetickými vlastnostmi [6], [7]. K identifikaci chemické struktury jsme použili pokročilé rastrovací mikroskopie se submolekulárním rozlišením. Dále jsme použili neelastickou elektronovou tunelovou spektroskopii ke zkoumání excitace magnetického základního stavu do excitovaných stavů představujících přechod mezi různými spinovými konfiguracemi. Experimentální data byla potvrzena teoretickými výpočty s použitím výpočtů DFT a mnohačasticových DMRG výpočtů.



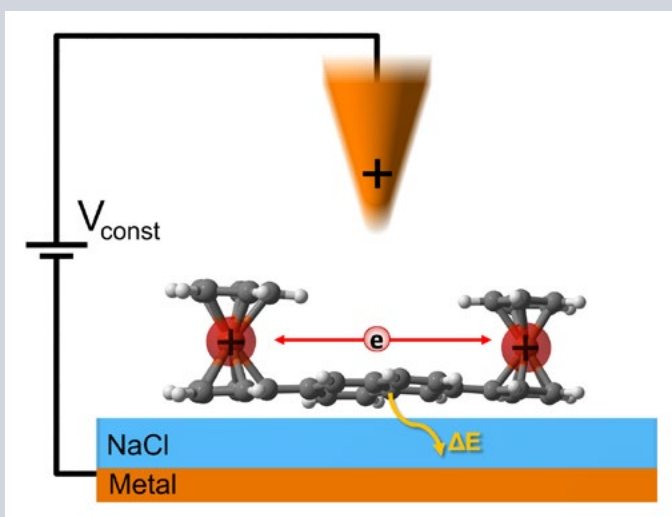
Obr. 31: Spektrální posuv elektroluminiscence molekul CuPc vlivem změny adsorpční konfigurace na povrchu krystalu soli.



Obr. 32: a) Chemická struktura nové třídy molekul karbenů. b) Vypočtená vazební energie molekul jako funkce jejich úhlu naklonění. c) Optimalizovaná geometrie na povrchu Au(111) získaná pomocí kvantových výpočtů.



Obr. 33: Nahoře je schéma dvoustupňové chemické reakce, která umožňuje syntézu žebříčkového polymeru (model vpravo). Dole je obrázek pořízený rastrovacím mikroskopem s vysokým rozlišením ukazující chemickou strukturu meziproductu (vlevo) a konečného žebříčkového polymeru (vpravo).



Obr. 34: Přenos elektronu, který se odehrává mezi dvěma ferrocenovými jednotkami izolované molekuly, je řízený oscilujícím hrotem mikroskopu atomárních sil. V průběhu tohoto procesu se uvolní určité množství energie ΔE do okolí molekuly.

Poprvé jsme demonstrovali řízený přenos jednoho elektronu v rámci jedné molekuly [8]. Zároveň se nám podařilo změřit množství energie, která se během procesu uvolní do okolí (obr. 34). Tato měření, podpořená teoretickým modelem, přináší hlubší vhled do kvantové mechanických procesů přenosu náboje a přeměny energie na atomární úrovni. Důležitým faktorem pro úspěšný nástup kvantových technologií je nutnost detailně pochopit a umět řídit přenos elektronu a spojenou přeměnu energie na atomové úrovni. Přenos elektronů v molekulách hraje také významnou roli v mnoha biologických a chemických procesech, jako je například fotosyntéza, koroze či enzymatické reakce. Přes velký význam těchto procesů a vyvinuté úsilí pochopit tyto procesy jsou naše současné možnosti studia a řízení přenosu elektronu na úrovni jednotlivých atomů či molekuly stále značně omezené. Ve studii jsme použili molekulární komplexy na bázi molekul ferrocenů, které umožňují lokalizaci jednotlivých elektronů, tzv. redoxní centra. Tyto sloučeniny byly umístěny na povrch kuchyňské soli v podmínkách ultra vysokého vakua. Pro řízený přenos elektronu mezi jednotlivými ferrocenovými centry použili vědci mikroskop atomárních sil, který zároveň umožňuje detekovat energii, která se během přenosu nenávratně uvolnila do okolí. Následná teoretická analýza ukázala, že opakovaný přenos elektronů vyvolaný oscilující sondou mikroskopu atomárních sil dostává elektron z jeho termální rovnováhy, což způsobuje slabou teplotní závislost rychlosti přepínání elektronu mezi ferrocenovými molekulami. Jedná se o první pozorování přenosu elektronu v rámci jedné molekuly.

LITERATURA

- [1] J. Doležal, P. Mutombo, D. Nachtigallova, P. Jelínek, P. Merino and M. Švec MechanoOptical Switching of a Single Molecule with Doublet Emission, *ACS Nano* **14**, (2020) 8931–8938.
doi.org/10.1021/acsnano.0c03730
- [2] J. Doležal, S. Canola, P. Merino and M. Švec, Exciton-trion dynamics of a single molecule in a radio-frequency cavity, arXiv:2011.14093.
arxiv.org/abs/2011.14093
- [3] E.A. Doud, R.L. Starr, G. Kladnik, A. Voevodin, E. Montes, N.P. Arasu, Y. Zang, P. Zahl, A. Morgante, L. Venkataraman, H. Vázquez, D. Cvetko and X. Roy, Cyclopropenylidenes as Strong Carbene Anchoring Groups on Au Surfaces, *J. Am. Chem. Soc.* **142** (2020) 1990.
doi.org/10.1021/jacs.0c10743
- [4] B. Cirera, A. Sánchez-Grande, B. de la Torre, J. Santos, Sh. Edalatmanesh, E. Rodríguez-Sánchez, K. Lauwaet, B. Mallada, R. Zbořil, R. Miranda, O. Gröning, P. Jelínek, N. Martín, D. Eciija, Tailoring topological order and π -conjugation to engineer quasi-metallic polymers, *Nature Nanotech.* **15** (2020) 437–443.
doi.org/10.1038/s41565-020-0668-7
- [5] B. de la Torre, A. Matěj, A. Sánchez-Grande, B. Cirera, B. Mallada, E. Rodríguez-Sánchez, J. Santos, J. I. Mendieta-Moreno, Sh. Edalatmanesh, K. Lauwaet, M. Otyepka, M. Medved', Á. Buendía, R. Miranda, N. Martín, P. Jelínek, D. Eciija, Tailoring π -conjugation and vibrational modes to steer on-surface synthesis of pentalene-bridged ladder polymers, *Nat. Commun.* **11** (2020) 4567(1) – 4567(8).
doi.org/10.1038/s41467-020-18371-2
- [6] Ch. Wäckerlin, A. Gallardo, A. Mairena, M. Baljozovic, A. Cahlik, A. Antalík, J. Brabec, L. Veis, D. Nachtigallova, P. Jelinek, K.-H. Ernst On-Surface Hydrogenation of Buckybowls: From Curved Aromatic Molecules to Planar Non-Kekulé Aromatic Hydrocarbons, *ACS Nano* **14** (2020) 16735–16742.
doi.org/10.1021/acsnano.0c04488
- [7] A. Sánchez-Grande, J.I. Urgel, A. Cahlik, J. Santos, Sh. Edalatmanesh, E. Rodríguez-Sánchez, K. Lauwaet, P. Mutombo, D. Nachtigallova, R. Nieman, H. Lischka, B. de la Torre, R. Miranda, O. Gröning, N. Martín, P. Jelínek, D. Eciija Diradical organic one dimensional polymers synthesized on a metallic surface, *Angew. Chem. Int. Ed.* **59** (2020) 17594–17599.
doi.org/10.1002/anie.202006276
- [8] J. Berger, M. Ondráček, O. Stetsovych, P. Malý, P. Holý, J. Rybáček, M. Švec, I.G. Stará, T. Mančal, I. Starý, P. Jelínek Quantum dissipation driven by electron transfer within a single molecule investigated with atomic force microscopy, *Nat. Commun.* **11** (2020) 1337-1 – 1337-10.
doi.org/10.1038/s41467-020-15054-w

2.3.2 Fyzika polovodičů

Hlavním předmětem výzkumu v oddělení polovodičů byly v roce 2020, stejně jako v několika posledních letech, polovodiče se širokým zakázaným pásem, zejména nitridové polovodiče; kromě nich byla věnována pozornost ZnO. Polovodiče se širokým zakázaným pásem jsou v současnosti celosvětově v centru zájmu polovodičového průmyslu, jsou ovšem velice atraktivní také z hlediska základního výzkumu. Z tohoto důvodu se nitridové polovodičové heterostrukтуры připravované v našem oddělení metodou organokovové epitaxe MOVPE (Metal Organic Vapour Phase Epitaxy) staly základem široce koncipovaného výzkumu, kde v rámci společných projektů spolupracujeme jak s našimi a zahraničními vědeckými pracovišti (MFF UK – Praha, ZČU NTC – Plzeň, Unipress PAN – Polsko, University of Lyon – Francie, CERN – Švýcarsko, NIT Meghalaya – Indie, Uppsala University – Švédsko, HZ Dresden – Německo), tak s tuzemskými průmyslovými partnery (Crytur spol. s r.o., OnSemiconductor Czech Republic).

V návaznosti na dobíhající projekt MŠMT ASTRA-NIT jsme se v minulém roce věnovali technologické optimalizaci heterostruktur s mnohonásobnými kvantovými jamami (MQWs) na bázi InGaN/GaN, nadějných kandidátů pro super-rychlé scintilátory s vysokým aplikačním potenciálem. Současně s tím jsme začali ve větší míře připravovat i nitridové polovodičové heterostrukтуры určené pro transistory typu HEMT (High Electron Mobility Transistor), zamýšlené pro využití ve zvláště náročných provozních podmínkách, jaké jsou např. v kosmickém prostoru. Pro úspěšný vývoj a optimalizaci těchto elektronických struktur je rozhodující, vedle systematické charakterizace pomocí luminiscenční a Ramanovy spektroskopie, využívat zejména širokou škálu transportních testovacích metod. Nasazení právě těchto charakterizačních technik se ovšem ukázalo, kvůli specifickým vlastnostem nitridových polovodičů se širokým zakázaným pásem, značně netriviální. Vysoká povrchová citlivost těchto materiálů, přítomnost vnitřních piezoelektrických polí, výrazné hranové stavy a nesnadná příprava ohmických kontaktů, to vše si vyžádalo přehodnotit některé zavedené postupy. V této souvislosti se jako velmi prospěšné ukázalo pořízení měřicí stanice *Probe Station Janis Research ST-500* (obr. 35), která nám umožňuje provádět v definované atmosféře základní magnetotransportní měření a studium vlastností kontaktů v teplotním rozsahu 5–500 K. Předností této aparatury je zvláště možnost spolehlivého a rychlého připojení se i ke kontaktům miniaturních rozměrů bez toho, že by tyto kontakty byly ovlivněny např. nereprodukovatelným pájením nebo bodováním.

V minulém roce bylo úsilí našeho týmu zaměřeno především na dokončení prací na čtyřech končících projektech a na splnění všech podmínek a monitorovaných ukazatelů jednotlivých projektů. Vedle tradiční spolupráce s průmyslem se nám mimo jiné otevřela i nová možnost studovat ve spolupráci s MFF UK (prof. J. Čížek) vakance prvků třetí skupiny v nitr-

dových polovodičích metodou pozitronové anihilační spektroskopie (PAS). Získali jsme tak unikátní možnost studovat souvislosti mezi těmito defekty a luminiscenčními a transportními vlastnostmi heterostruktur a pochopit i podmínky jejich vzniku. Porozumění tomuto problému je totiž zcela zásadní pro prodloužení životnosti součástek z nitridových polovodičů a jejich další zkvalitnění. První nové poznatky získané za pomoci metody PAS jsme publikovali ve dvou pracích [1, 2], (obr. 36).

V rámci spolupráce s našimi průmyslovými partnery pokračoval vývoj heterostruktur pro luminiscenční aplikace s mnohonásobnými kvantovými jamami, pěstovanými na rovných a strukturovaných površích (obr. 37). V této oblasti výzkumu hodláme nadále pokračovat i v rámci nově uděleného projektu TAČR FW03010298 *Průlomové optoelektronické materiály pro přístrojovou techniku (BROMI)*.

Část našich výzkumných kapacit byla využita v rámci spolupráce s pracovníky jiných oddělení FZÚ, popřípadě i s dalšími externími subjekty. Jako příklad uveďme studii [3], kde jsou porovnávány teoretické výpočty energie tvorby defektů při zabudování trojmocných iontů erbia do různých pozic ve wurtzitové struktuře ZnO, s experimentálními výsledky implantace iontů erbia do různých krystalografických orientací monokrystalu ZnO. Experimentálně se ukázalo se, že intenzita luminiscence je nejvyšší, když implantované Er atomy nahradily atomy Zn a struktura ZnO v okolí Er iontů byla dobře uspořádána. Podíleli jsme se též na experimentálním studiu amorfních polovodičů na bázi ZnO připravených reaktivním naprašováním, kde se podařilo nalézt a uspokojivě vysvětlit korelace mezi jejich magnetotransportními vlastnostmi a poměry koncentrací plynů v pracovní plazmě, příp. poměry atomárních koncentrací kovů v připravených vrstvách [4]. Členové našeho týmu přispěli dále v rámci vnitroústavní spolupráce měřením elektrického transportu podstatnou měrou k objasnění oxidačních procesů na povrchu nitridu skandia (ScN), nového perspektivního polovodičového materiálu se zajímavými termoelektrickými vlastnostmi, vystaveného vlivu okolní atmosféry [5].

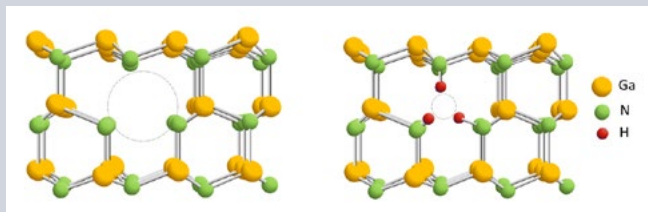
V oblasti teorie transportu jsme se v minulém roce zabývali ve formalizmu nerovnovážných Greenových funkcí komplikovaným vztahem mezi nemarkovovskými a markovovskými transportními rovnicemi a též možnou rolí extracelulární tkáně při transferu a zpracování informace v biologických neuronových sítích. Výsledky těchto studií byly odeslány k publikaci.

LITERATURA

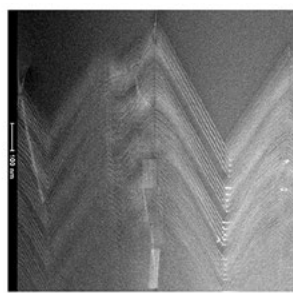
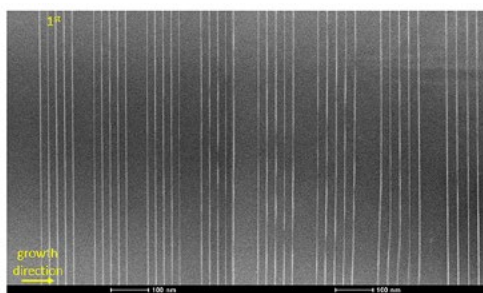
- [1] T. Hubáček, A. Hospodková, K. Kuldová, M. Slavická Zíková, J. Pangráč, J. Čížek, M. O. Liedke, M. Butterling, A. Wagner, P. Hubík, and E. Hulicius, Improvement of luminescence properties of n-GaN using TEGa precursor, *Journal of Crystal Growth* **531** (2020) 125383.
doi.org/10.1016/j.jcrysgro.2019.125383



Obr. 35: Měřicí stanice *Probe Station Janis Research ST-500* pro transportní měření v definované atmosféře, zakoupená za investiční podpory AV ČR.



Obr. 36: Modely vakance Ga v GaN krystalové mříži (vlevo) a vakance obsazené třemi intersticiálními atomy vodíku (vpravo). Podkladová data byla získána metodou PAS.



Obr. 37: Snímky heterostruktur s mnohonásobnými kvantovými jámy získané pomocí skenovacího tunelovacího mikroskopu. Kvantové jámy byly pěstovány buď na rovném (vlevo), nebo na strukturovaném povrchu (vpravo).

- [2] A. Hospodková, F. Hájek, J. Pangrác, M. Slavická Zíková, T. Hubáček, K. Kuldová, J. Oswald, T. Vaněk, A. Vetushka, J. Čížek, M. O. Liedke, M. Butterling, and A. Wagner, A secret luminescence killer in deepest QWs of InGaN/GaN multiple quantum well structures, *Journal of Crystal Growth* **536** (2020) 125579. doi.org/10.1016/j.jcrysgro.2020.125579
- [3] P. Nekvindová, J. Cajzl, A. Macková, P. Malinský, J. Oswald, R. Böttger, and R. Yatskiv, Er implantation into various cuts of ZnO – experimental study and DFT modelling, *Journal of Alloys and Compounds* **816** (2020) 152455. doi.org/10.1016/j.jallcom.2019.152455
- [4] L. Prušáková, P. Hubík, A. Aijaz, T. Nyberg, and T. Kubart, Room Temperature Reactive Deposition of InGaZnO and ZnSnO Amorphous Oxide Semiconductors for Flexible Electronics, *Coatings* **10** (2020) 2. doi.org/10.3390/coatings10010002
- [5] J. More Chevalier, S. Cichoň, L. Horák, J. Bulíř, P. Hubík, Z. Gedeonová, L. Fekete, M. Poupon, and J. Lančok, Correlation between crystallization and oxidation process of ScN films exposed to air, *Applied Surface Science* **515** (2020) 145968. doi.org/10.1016/j.apsusc.2020.145968

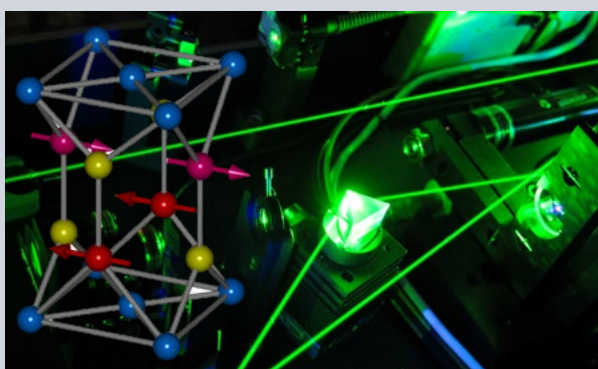
2.3.3 Spintronika a nanoelektronika

Hlavní těžiště výzkumu skupiny je v současné době v oblasti spintroniky založené na materiálech s komplexním magnetickým uspořádáním včetně antiferomagnetů. Z řady výsledků dosažených v roce 2020 si přiblížíme práci o antiferromagnetických umělých neuronech reagujících na femtosekundové laserové záblesky [1] (obr. 38) a práci o anomálním Hallově jevu v antiferomagnetu [2] (obr. 39).

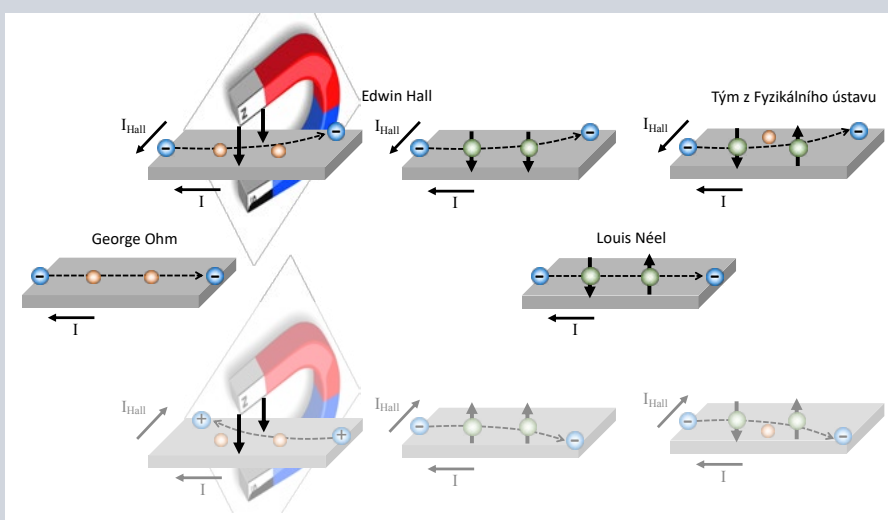
V článku v časopise Nature Electronics [1] popisují vědci z Fyzikálního ústavu a Univerzity Karlovy svůj nový experiment, ve kterém se jim podařil zápis informace do antiferomagnetu pomocí záblesků z femtosekundového laseru. Pro laika to jsou těžko představitelné škály. Pro srovnání – femtosekunda dělí od sekundy patnáct řádů a podobný počet řádů je mezi sekundou a stářím vesmíru. Jejich antiferomagnet se navíc chová spíše jako součástky, které máme v mozku – neurony – než jako ty klasické, které umí jen nuly a jedničky. Otevírá se tak možnost zkonstruovat bleskurychlý umělý mozek?

Práce, na které dále spolupracovaly laboratoře z Univerzity v Nottinghamu, z ETH Curych a z Univerzity v Řezně, navazuje na experiment publikovaný týmem v roce 2016 v časopise Science. Ten poprvé ukázal možnost využití antiferomagnetů pro ukládání dat v mikroelektronických součástkách. Vědci tehdy dokázali zapsat informaci do antiferomagnetu pomocí elektrických pulzů o délce 100 milisekund. V současné práci zkrátili dobu zápisu bilionkrát a zároveň překonali o mnoho řádů limity dnešních polovodičových nebo feromagnetických pamětí.

Feromagnet je běžně známý typ magnetu, který se používá v počítačových pevných discích nebo magnetických paměťových čipech a mnohým z nás visí na ledničce. Antiferomagnety jsou na první pohled kuriózní, protože mají krystalovou mřížku uspořádanou tak, že nano-magnet jednoho atomu míří jedním směrem, zatímco sousedního atomu míří přesně opačně. Navenek je tak jejich magnetismus neviditelný – na ledničce tedy nedrží. Magnetické látky se ale překvapivě mnohem častěji uspořádávají takto antiferomagneticky než feromagneticky. Tím, že se lidé posledních



Obr. 38: Zápis do antiferomagnetu optickým pulzem z femtosekundového laseru.



Obr. 39: Horní řádek: Nalevo – Hallův jev ve vnějším magnetickém poli působícím na krystal obsahující nemagnetické atomy. Uprostřed – Hallův jev ve feromagnetu, modrý symbol znázorňuje rušivé magnetické pole feromagnetu. Napravo – antiferomagnetický Hallův jev v krystalu obsahujícím antiferomagnetické a nemagnetické atomy. Střední řádek: Nalevo – Běžný proud v krystalu obsahujícím pouze

nemagnetické atomy. Napravo – Stejně jako nalevo v krystalu obsahujícím pouze antiferomagnetické atomy. Spodní řádek demonstruje unikátní funkcionality tří Hallových jevů vysvětlených v prvním řádku: Nalevo – děrové(+) nosiče proudu se vychylují opačným směrem než elektrony (-). Uprostřed – otočení magnetizace vychyluje elektrony v opačném směru. Napravo – redistribuce nemagnetických atomů vychyluje elektrony v opačném směru.

3000 let soustředili téměř výlučně na feromagnety, tak vlastně ignorovali většinu možností, které obor magnetizmu ukrývá.

A jednou z takových možností by mohlo být vyřešení základního omezení současných počítačů, které souvisí s tím, že mají oddělenou paměť od části, kde se informace zpracovává. V mozku máme naopak tyto funkce integrované v husté síti neuronových paměťo-procesorů. Antiferomagnetické součástky umí podobně jako neurony nejen informaci uložit, ale také spočítat, kolik zapisovacích pulzů do neuronu přišlo, případně v jakých časových intervalech. To naznačuje, že by mělo být v budoucnu skutečně možné vytvořit bleskurychlý umělý mozek.

Jeden háček to ale má. Vytvořit umělý neuron, který je o nějakých dvanáct řádů rychlejší než ten v našem mozku, je nyní skutečně možné. Na druhé straně asi ještě hodně dlouho nebudeme schopni zkonstruovat hustě propojenou síť sta miliard takových neuronů. Ono neuronové bludiště, které dává lidskému mozku zatím nenapodobitelnou schopnost – vědomí.

V článku publikovaném v časopise *Science Advances* [2] pak přináší tým s kolegy z Univerzity v Mohuči zprávu o svém objevu Hallova jevu v antiferomagnetech. Pro pochopení přelomové myšlenky objevu si nejprve krátce připomeňme fyzikální základy z 19. a 20. století zděděné po Ohmovi, Hallovi a Néelovi. Elektrický proud v běžných vodičích, jako je měď, je orientovaný podél směru aplikovaného napětí v souladu s Ohmovým zákonem. V přiloženém magnetickém poli se ovšem proud odklání a získává tak příčnou, tzv. Hallovskou složku. Díky tomu, že znaménko příčného Hallova proudu závisí na znaménku náboje nositelů proudu, mohly být objeveny n-typové a p-typové polovodiče se záporně nabitými elektrony a kladnými dírami, které jsou základem moderní CMOS mikroelektroniky.

Hall ve svých měřeních z konce 19. století také pozoroval, že příčný proud lze vygenerovat i pomocí vnitřní magnetizace feromagnetického vodiče, jako je například železo. A obdobně jako u magnetického pole převrácení severního a jižního pólu vnitřní magnetizace obrátí znaménko Hallova proudu. Díky tomu se stal Hallův jev jedním ze základních pilířů magnetoelektroniky s aplikacemi zahrnujícími senzory nebo paměťové technologie.

Feromagnetismus ovšem není jediný druh magnetismu v přírodě. Louis Néel objevil na počátku 20. století druhou rodinu tzv. antiferomagnetů – krystalů, ve kterých se severní a jižní póly magnetických atomů periodicky střídají mezi sousedními atomy. Výzkum Louise Néela nám na antiferomagnety zanechal smíšený pohled. Jejich kladnou stránkou je, že jsou v přírodě mnohem hojnější než feromagnety. Bohužel se ale Néelovi a fyzikům po něm zdálo nevyhnutelné, že opačně orientované atomové magnety ruší efekty pozorovatelné u feromagnetů včetně Hallova proudu. Řídily by se tak jen běžným Ohmovým zákonem, čímž by byly nerozeznatelné od běžných nemagnetických vodičů a nepoužitelné pro magnetoelektroniku.

Objev týmu z Fyzikálního ústavu porušuje tyto vžitě vědecké představy. Pro svou práci si zvolil krystal se vzájemně se kompenzujícími opačnými atomovými magnety, které by skutečně samy o sobě negenerovaly Hallův proud ve shodě s Néelem. Krystal dále obsahuje nemagnetické atomy, které by samotné také umožňovaly jen obyčejný Ohmův proud. Studie ovšem překvapivě ukazuje, že zvláštní kombinace těchto antiferomagnetických a nemagnetických atomů v krystalu zapříčiní vznik Hallova jevu. Je to výmluvný příklad starověkého: „celek je větší než součet jeho částí“, neboli v moderní terminologii synergie. Je pozoruhodné, že krystaly s vhodnou konfigurací antiferomagnetických a nemagnetických atomů nejsou pouhým teoretickým konstruktem ani kuriozitou v přírodě. Naopak sám Néel vytvořil své klíčové práce na antiferomagnetech s rutilovou strukturou, které mají požadovaný typ krystalové struktury a jsou velmi běžné.

Objev má zvláštní místo v rychle se rozvíjejícím novém oboru antiferomagnetické magnetoelektroniky (spintroniky), k jehož zformování přispěli vědci z Fyzikálního ústavu průkopnickými pracemi. Ty zkoumají a využívají zejména necitlivost antiferomagnetů na rušivá magnetická pole, extrémně rychlou odezvu na elektrické a optické podněty nebo multidoménové stavy atraktivní pro součástky modelující funkce neuronových sítí. Antiferomagnetický Hallův jev pak přidává perspektivu nanoelektroniky s nízkými ztrátami energie. To je obzvláště významné v kontextu současného znepokojivého trendu, kdy se informační technologie stávají nejvýznamnějším spotřebitelem elektrické energie. Práce má také potenciál zvrátit rostoucí poptávku v konvenční magnetoelektronice po vzácných těžkých prvcích a místo toho nasměrovat výzkum a aplikace k běžně dostupným materiálům.

LITERATURA

- [1] Z. Kašpar, M. Surýnek, J. Zubáč, F. Křížek, V. Novák, R. P. Champion, M. S. Wörnle, P. Gambardella, X. Martí, P. Němec, K. W. Edmonds, S. Reimers, O. J. Amin, F. Maccheronzi, S. S. Dhesi, P. Wadley, J. Wunderlich, T. Jungwirth: Quenching of an antiferromagnet into high resistivity states using electrical or ultrashort optical pulses. *Nature Electronics* 4 (2021) 30–37. doi.org/10.1038/s41928-020-00506-4
- [2] L. Šmejkal, Rafael González-Hernández, T. Jungwirth, J. Sinova: Crystal time-reversal symmetry breaking and spontaneous Hall effect in collinear antiferromagnets. *Science Advances* 6 (2020) eaaz8809(1)–eaaz8809(9). doi.org/10.1126/sciadv.aaz8809

2.3.4 Strukturní analýza

Oddělení strukturní analýzy se zabývá stanovením atomární a magnetické struktury krystalických látek a vývojem souvisejících výpočetních a experimentálních metod. Experimenty jsou založeny na datech z rentgenové, elektronové a neutronové difrakce pořízených na monokrystalech a práškových vzorcích. 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 některých oblastech, zejména v oboru elektronové difrakce a analýzy aperiodických struktur, patří naše pracoviště ke světovým lídrům oboru.

Během roku 2020 jsme získávali první systematické zkušenosti se dvěma novými přístroji pořízenými v roce 2019. **Elektronový mikroanalýzátor JXA-8230** od firmy JEOL, který nahradil dosluhující mikrosonda v celoustavní Laboratoři elektronové mikroanalýzy, slouží pro kvalitativní a kvantitativní prvkovou analýzu pevných látek. První rok provozu ukazuje, že přístroj lze díky univerzálnímu vybavení a stabilitě elektronového svazku použít jak pro kvalitativní analýzu vzorků s nerovným povrchem, tak pro přesnou kvantitativní analýzu. V prvním případě se jednalo zejména o stanovení složení či ověření přítomnosti některých prvků v práškových materiálech, které byly dále studovány elektronovou či RTG difrakcí, dále pak o mapování povrchu vzorků pro získání informace o distribuci prvků. V druhém případě pak šlo zejména o ověření homogenního složení či přítomnosti dopantů v **experimentálních** materiálech různého typu. **Elektronový mikroskop FEI Tecnai G2 20** pro strukturní analýzu metodou elektronové difrakční tomografie již plně soužije ke sběru dat pro strukturní analýzu. Díky pokročilejším možnostem kontroly mikroskopu pomocí skriptování ve srovnání s předchozím přístrojem bylo možné významně zrychlit sběr dat a také zavést nové metody sběru dat, jako je například sekvenčně kontinuální rotační metoda.

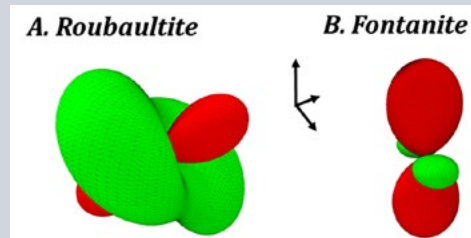
V oblasti **elektronové difrakce** jsme se v letošním roce soustředili na aplikaci našich dříve vyvinutých metod na problémy z oblasti strukturní charakterizace zeolitů a minerálů. Za zmínku stojí především analýza absorpce CO_2 do struktury zeolitu chabazitu [1]. Zeolity jsou významné materiály využívané mj. k selektivní absorpci CO_2 . V tomto výzkumu připravili vědci z francouzského CNRS novým způsobem zeolit, který vykazuje velmi dobrou selektivitu i absorpci. Díky využití pokročilých postupů sběru a analýzy difrakčních dat se nám podařilo přesně zjistit, kde se absorbované molekuly CO_2 ve struktuře nacházejí. Tento výsledek zlepšil porozumění mechanismu absorpce a umožnil určit horní hranici absorpční kapacity pro CO_2 v **tomto typu materiálů**.

Dalším výsledkem je práce na zeolitických materiálech RUB-5 a RUB-6 [2], které dále pokračovaly významným výsledkem – určením struktury minerálu magadiitu, jehož strukturu se nedařilo vyřešit několik

desetiletí (tato práce je aktuálně v recenzním řízení). Metoda dynamického upřesnění vyvíjená v naší laboratoři byla také využita při objasnění neobvyklé struktury zinkosilikátu lithia MZS-1 [3]. Z řady výsledků vzešlých ze spolupráce se skupinou mineralogické krystalografie vybíráme popis struktury minerálu kaatialaitu [4], která obsahuje částečně neuspořádané molekuly vody. Identifikace částečně obsazených atomů vodíku ve struktuře s těžkým atomem jako je As je dalším důkazem vysoké přesnosti a citlivosti našich metod.

V oblasti vývoje metod elektronové difrakce jsme pokročili ve sběru difrakčních dat bez použití precesní elektronové difrakce, zlepšení přesnosti určení mřížkových parametrů z elektronových difrakčních dat a také upřesňování krystalových struktur z elektronových difrakčních dat bez použití precese. Tyto výsledky budou publikovány v nejbližší době. Výzkum v této oblasti bude pokračovat v rámci nově uděleného projektu GAČR EXPRO 21–05926X, který získal Lukáš Palatinus.

V oblasti **mineralogické krystalografie** pokračoval v minulém roce strukturní výzkum minerálů obsahujících uran, a to zejména jeho šestimocnou formu. Mezi důležité dosažené výsledky patří komplexní experimentálně-teoretická studie zabývající se vybranými zástupci karbonátů uranuly, publikovaná v prestižním *Inorganic Chemistry Frontiers* [5]. V práci byla studována také stlačitelnost těchto minerálů (obr. 40). Mezi dalšími se jedná o prvopopis nového minerálu z Jáchymova, chemicky i strukturně komplexního hydratovaného uranyl-oxid-hydroxidu nesoucího jméno kroupait [6]. Popis se opírá o výsledky studia monokrystalu a podstatně rozšiřuje naše znalosti o této skupině minerálů i syntetických látek. Další, neméně významný, výsledek navazuje na vývoj algoritmu TORQUE, který byl publikován v roce 2018. Naše publikace [7] ukazuje použití uvedeného algoritmu při upřesnění poloh atomů vodíku v krystalové struktuře minerálu phurcalitu, který obsahuje 14 atomů vodíku v nezávislé části základní buňky krystalové struktury. Jedná se tedy o strukturu, jejíž vlastnosti se výrazně odvíjejí od stability vodíkových vazeb. Studie nejen objasňuje, jak geometrie tohoto vazebného systému vypadá, ale přináší také podstatné metodologické poznatky, vyplývající z komplikací způ-



Obr. 40: Stlačitelnost uranyl karbonátů roubaultitu a fontanitu [5] jako funkce orientovaného tlaku získaná pomocí DFT výpočtů. Pozitivní a negativní hodnoty stlačitelnosti jsou vyznačeny zelenou, respektive červenou, barvou. Maxima stlačitelnosti pro roubaultit a fontanit činí 45.88 a 62.60 TPa^{-1} .



sobených korelacemi ve výpočtech zahrnujících velký počet nezávislých molekul H_2O .

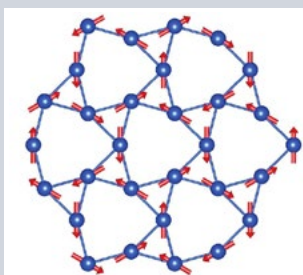
V rámci končícího projektu GA ČR, reg. číslo 18-10504S, nazvaném „Krystalografie21 – nová generace univerzálních nástrojů strukturní analýzy z difrakčních dat“ byla dokončena **první verze programu Jana2020**. Jedná se o dlouho očekávanou modernizovanou verzi široce využívaného programu Jana2006 se zcela novým způsobem ovládání, která je nyní dostupná na stránce <http://jana.fzu.cz>. Program byl zatím popsán v konferenčním sborníku [8], komplexní publikace se připravuje na základě žádosti z časopisu Zeitschrift für Kristallographie, kde tyto práce tradičně publikujeme. V prosinci 2020 jsme pořádali první workshop o programu Jana2020, vzhledem k situaci online formou, s mimořádně velkou účastí přes 50 posluchačů (<http://jana.fzu.cz/w039.html>). Možnosti programu Jana, včetně předešlé verze, jsme v uplynulém roce prezentovali i na jiných workshopech a školách, kterých se celkem zúčastnilo téměř 350 účastníků.

V oblasti **řešení magnetických struktur** se znovu potvrdilo, že zavedení možnosti současného výpočtu magnetických a aperiodických struktur byla mimořádně úspěšná a vědecky produktivní idea. V letošním roce jsme participovali na dvou výjimečných výsledcích v této oblasti. Práce publikovaná v březnu 2020 v časopisu Science [9] se zabývá možnostmi uspořádání magnetických momentů ve struktuře intermetalického krystalu HoAgGe (obr. 41), který svou strukturou splňuje požadavky na planární frustrované uspořádání magnetických momentů v tzv. kagomé **mřížce atomů Holmia**. **Modely magnetického uspořádání měřené při různých teplotách a různé síle magnetického vnějšího pole byly získány reprezentační analýzou a upřesňováním magnetické struktury programem Jana2006.**

Práce publikovaná v časopise Inorganic Chemistry [10] popisuje první případ koexistence nesouměřitelné magnetické a nukleární struktury v téže krystalické fázi. Jde o organokovovou látku perovskitového typu, $[\text{CH}_3\text{NH}_3][\text{Ni}(\text{COOH})_3]$, připravenou a charakterizovanou vědci z institutu Laue Langevin ve Francii, s nukleární a magnetickou strukturou spočítanou ve Fyzikálním ústavu programem Jana (obr. 42). Program byl vzhledem ke své obecné koncepci na existenci podobné látky připraven, ale toto byla první příležitost připravené nástroje na praktickém příkladu otestovat a zdokonalit.

V oblasti magnetismu jsme dále studovali, jak může modifikování určitých materiálů ovlivnit jejich magnetotransportní vlastnosti. Pochopit tyto souvislosti je důležité z fundamentálních i technologických důvodů. Jedním z významných způsobů, jak vyladit vlastnosti materiálů požadovaným směrem, je dopování materiálů příměsí. Dosud byla v tomto směru věnována pozornost především čistým kovům. V práci [11] se **O. Šipr** se spolupracovníky zabývá otázkou, do jaké míry lze koncepty používané pro dopované čisté kovy použít na dopované slitiny. Výpočty ukazují, že chování slitin se v tomto ohledu od chování čistých kovů významně liší. Jelikož slitin lze připravit velké množství s velmi rozmanitými vlastnostmi, ukazuje tento výsledek další možné směry v materiálovém výzkumu.

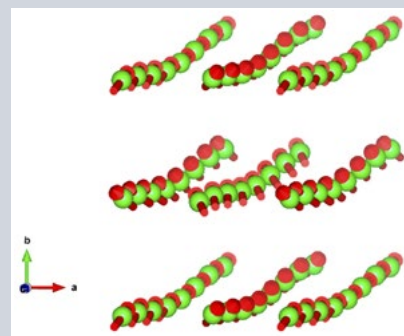
Prášková difrakce je další metodou, kterou v Oddělení strukturní analýzy využíváme a jejímuž vývoji se věnujeme. Vzhledem k omezeným možnostem řešit z práškových dat složitější struktury *ab initio*, důležitou roli hraje studium podobnosti mezi zkoumanými krystalickými látkami, kde na základě porovnání několika podobných látek lze odhadnout konformaci studované molekuly. Nejpráhovější použití je pak fixace výchozího modelu pouze na známé konformace studované látky. Vyvinuli jsme vylepšení programu pro rychlé a automatické srovnání krystalové struktury molekulárních sloučenin s názvem CrystalCMP [12].



Obr. 41: Hexagonální uspořádání spinu po a proti směru hodinových ručiček v magnetické struktuře HoAgGe změřené při teplotě 4 K (převzato z publikace [9]).

$$\text{crystallographical} (Z, M, A) = \overbrace{\text{chemical} (Z) + \text{combinatorial} (M)}^{\text{compositional} (Z, M)} + \underbrace{\text{coordination} (A)}_{\text{configurational} (M, A)}$$

Obr. 43: Dekompozice krystalografické komplexity na jednotlivé příspěvky



Obr. 42: Současná modulace polohy atomu Ni (vyznačena kuličkou) a jeho magnetického momentu (vyznačen šipkou) ve struktuře $[\text{CH}_3\text{NH}_3][\text{Ni}(\text{COOH})_3]$ z práce [10].



V oblasti **matematické krystalografie** jsme dále pokračovali v naší snaze pochopit a popsat rozdíly mezi krystalovými strukturami. Shannon, průkopník teorie komunikace, navrhl [13], že „složitost“ lze kvantitativně popsat na základě konceptu entropie. Na tomto základě Krivovichev koncipoval strukturní deskriptor [14] formulovaný jako kombinatorickou komplexitu Wyckoffových multipllicit, který sice prokázal vysokou schopnost předpovídat a rozlišovat krystalové struktury, ale nebral v úvahu geometrické stupně volnosti krystalové struktury. V práci [15] jsme tento chybějící příspěvek ke kvantitativnímu deskriptoru krystalové struktury doplnili a rozšířili jsme předchozí Krivovichevovo dílo tak, že nyní dokážeme popsat na základě jednotného principu chemickou, kompoziční i krystalografickou komplexitu (obr. 43).

V roce 2020 jsme zahájili **výzkum tzv. krystalových hub (crystal sponges)** v rámci juniorského projektu GA ČR 20-14770Y s názvem „Využití pokročilých metal organických sítí ve strukturních studiích aktivních farmaceutických substancí“. V principu jde o to, že obtížně krystalující molekula je umístěna do dutin větší krystalové struktury, tzv. krystalové houby. Tím, že se molekuly rozmístí v periodicky se opakujících dutinách, získá i obtížně krystalující molekula charakter krystalu a její struktura může být společně s maticí stanovena difrakčními metodami. Projekt ve svém počátku vyžaduje zvládnutí experimentálních metod. Za uplynulý rok se nám podařilo osvojit si proces aktivace krystalových hub, našli jsme způsob, jak získat monokrystalové látky MOF-520, neboť použití publikované metody nevedlo k očekávaným výsledkům, a na modelových případech jsme ověřili funkčnost procesu infuze molekuly do substrátu a jeho monitorování. Stanovili jsme struktury pěti infuzovaných molekul aryl-methyl bromidů a popsali jsme nový polymorf látky Znltpt.

LITERATURA

- [1] M. Debost, P. B. Klar, N. Barrier, E. B. Clatworthy, J. Grand, F. Laine, P. Brazda, L. Palatinus, N. Nesterenko, P. Boullay, S. Mintova (2020). Synthesis of Discrete CHA Zeolite Nanocrystals without Organic Templates for Selective CO₂ Capture. *Angew. Chem. Int. Ed.* **59**, 23491–23495. doi.org/10.1002/anie.202009397
- [2] Y. Krysiak, B. Marler, B. Barton, S. Plana-Ruiz, H. Gies, R. B. Neder, U. Kolb (2020). New zeolite-like RUB-5 and its related hydrous layer silicate RUB-6 structurally characterized by electron microscopy. *IUCrJ* **7**, 522–534. doi.org/10.1107/S2052252520003991
- [3] G. Steciuk, O. Schäf, L. Tortet, H. Pizzala, W. Hornfeck, L. Palatinus, J.L. Paillaud (2021). A new lithium-rich zeolitic 10-MR zinelithosilicate MZS-1 hydrothermally synthesized under high pressure and characterized by 3D electron diffraction. *Eur. J. Inorg. Chem.* doi.org/10.1002/ejic.202000939 (early access)
- [4] G. Steciuk, J. Majzlan, J. Plášil (2021). Hydrogen disorder in kaatialaite Fe[AsO₂(OH)₂]·5H₂O from Jáchymov, Czech Republic: determination from low-temperature 3D electron diffraction. *IUCrJ* **8**, 116–123. doi.org/10.1107/S2052252520015626
- [5] Colmenero, F., Plášil, J., Sejkora, J.: The crystal structures and mechanical properties of the uranyl carbonate minerals roubaultite, fontanite, sharpite, widenmannite, grimselite and čejkaite. *Inorganic Chemistry Frontiers* **7** (2020), 4197–4221. doi.org/10.1039/d0qi00933d
- [6] Plášil, J., Kampf, A. R., Olds, T.A., Sejkora, J., Škoda, R., Burns, P. C., Čejka, J.: The new K, Pb-bearing uranyl-oxide mineral kroupaite: crystal-chemical implications for the structures of uranyl-oxide hydroxy-hydrates. *American Mineralogist* **105** (2020), 561–568. doi.org/10.2138/am-2020-7133
- [7] Plášil, J., Kiefer, B., Ghazisaeed, S., Philippo, S.: Hydrogen bonding in the crystal structure of phurcalite, Ca₂[(UO₂)₃O₂(PO₄)₂]·7H₂O: single-crystal X-ray study and TORQUE calculations. *Acta Crystallogr. B* **76** (2020), 502–509. doi.org/10.1107/S2052520620005739
- [8] M. Dušek & V. Petříček, Jana2020, a New Version of the Crystallographic Computing System, *Mater. Struct.* **27**(2) (2020) 85–86.
- [9] K. Zhao, H. Deng, H. Chen, K.A. Ross, V. Petříček, G. Günther, M. Russina, V. Hutanu, P. Gegenwart, Realization of the kagome spin ice state in a frustrated intermetallic compound, *Science* **367** (2020) 1218–1223. doi.org/10.1126/science.aaw1666
- [10] L. Cañadillas-Delgado, L. Mazzuca, O. Fabelo, J. Rodríguez-Carvajal, V. Petříček, Experimental Evidence of the Coexistence of Proper Magnetic and Structural Incommensurability on the [CH₃NH₃][Ni(COOH)₃] Compound, *Inorg. Chem.* **59** (2020) 17896–17905. dx.doi.org/10.1021/acs.inorgchem.0c01722
- [11] O. Šipr, S. Wimmer, S. Mankovsky, and H. Ebert: Transport properties of doped permalloy via ab initio calculations: Effect of host disorder. *Physical Review B*, Vol. **101**, 085109 (2020). doi.org/10.1103/PhysRevB.101.085109
- [12] J. Rohlíček & E. Škořepová, CrystalCMP: automatic comparison of molecular structures, *J. Appl. Crystallogr.* **53** (2020) 841–847. doi.org/10.1107/S1600576720003787
- [13] a) Shannon, C. E. (1948). *Bell Syst. Tech. J.* **27**, 379–423; b) Shannon, C. E. (1948). *Bell Syst. Tech. J.* **27**, 623–656.
- [14] b) Krivovichev, S. V. (2012). *Acta Cryst.* **A68**, 393–398; b) Krivovichev, S. V. (2014). *Angew. Chem. Int. Ed.* **53**, 654–661.
- [15] W. Hornfeck, On an extension of Krivovichev's complexity measures, *Acta Crystallogr. A* **76** (2020) 534–548. doi.org/10.1107/S2053273320006634

2.3.5 Magnetika a supravodiče

Pro náš výzkum, orientovaný na široké spektrum materiálů a látek, je magnetismus společným jmenovatelem. V rozličných skupinách námi zkoumaných materiálů a fázově i morfologicky bohatých uskupení je totiž hlubší pochopení jejich vlastností jednoznačně svázáno s jejich magnetickými vlastnostmi přesto, že magnetismus zůstává často zamaskován jinými projevy a charakteristikami, které jsou pro tyto studované látky a systémy zásadní při jejich optimalizaci a modifikaci směřující buď k cílené aplikaci či k pochopení jejich základních vlastností. Kromě nově připravovaných intermetalických sloučenin, oxidových a chalcogenidových materiálů, které jsou připravovány ve zcela odlišných morfologiích od nanočástic až po objemové keramiky (příprava probíhá v naší Laboratoři syntetických nanomateriálů a na spolupracujících pracovištích), jsou nově rozvíjeným tématem molekulární magnetické systémy, a dlouhodobě se též zabýváme aplikacemi v oblasti termoelektrické konverse tepelné v elektrickou energii.

Zásadní pro naši práci jsou věrohodná experimentální data získávaná od ultranízkých teplot, za vysokých tlaků a magnetických polí, dále termomagnetická měření ultranízkých DC napětí a možnost lokální magnetické charakterizace prostřednictvím Mössbauerovy spektroskopie (úzká spolupráce s MFF UK). Výpočty elektronových struktur jsou klíčové při interpretaci a v rámci mezinárodní spolupráce rozšiřují naše převážně experimentální portfolio. Náš týmový výzkum je strukturován do několika oblastí, což umožňuje detailnější vzhled do zkoumané problematiky.

Termoelektrické materiály, z nichž jsme nejvíce pozornosti věnovali antiferomagnetickému minerálu chalkopyritu CuFeS_2 s jednou z absolutně nejvyšších teplot antiferomagnetického uspořádání $T_N \sim 830\text{K}$, jsme studovali s ohledem jak na základní, tak i aplikovaný výzkum. Na syntetických vzorcích jsme ukázali, jak jsou různé defekty ve spojitosti s přenosem náboje zodpovědné za neobvyklé transportní a magnetické vlastnosti [1]. Tyto defekty dokáží v jinak antiferomagnetickém chalkopyritu vyvolat slabý feromagnetismus a zvýšit mobilitu volných nosičů náboje (obr. 44). Z aplikačního hlediska jsme demonstrovali, jak je možné využít vysokoenergetického kulového mletí a přírodního chalkopyritu k přípravě vzorků s příznivými termoelektrickými vlastnostmi, zejména pak se silně potlačenou tepelnou vodivostí [2]. Spolupracovali jsme na přípravě černého fosforu ve větším množství, kdy jsme charakterizovali a popsali transportní vlastnosti takto získaného materiálu v širokém rozsahu teplot [3].

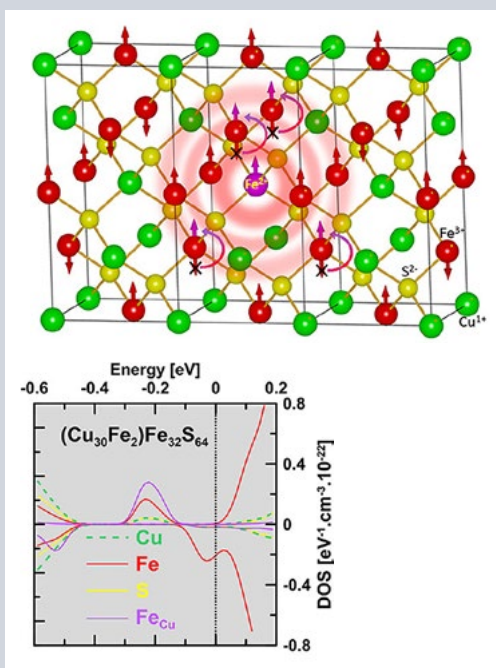
V rámci výzkumu příčných termoelektrických jevů jsme se zaměřili na anomální Nernstův jev (ANE) v materiálech s různou mikrostrukturou (kompaktní a nanogranulární keramika, nanogranulární tenká vrstva) perovskitu $\text{La}_{0,7}\text{Sr}_{0,3}\text{CoO}_3$. Zatímco podélné transportní vlastnosti (resistivita, Seebeck, tepelná vodivost) silně závisí na mikrostruktuře, především na velikosti částic, velikost ANE se prakticky nemění.

Materiál složený z menších částic vykazuje naopak větší koercitivní pole, jak ukazuje obr. 45, což je důležité pro možné aplikace [4]. Podrobné studium greigitu Fe_3S_4 se spinelovou strukturou (analog magnetitu Fe_3O_4) pomocí magnetizačních měření a Mössbauerovy spektroskopie prokázalo změnu orientace snadné osy při teplotě 100 K ze směru 110 do směru 111 a vyloučilo přítomnost přechodu Verweyova typu, typického pro magnetit Fe_3O_4 [5].

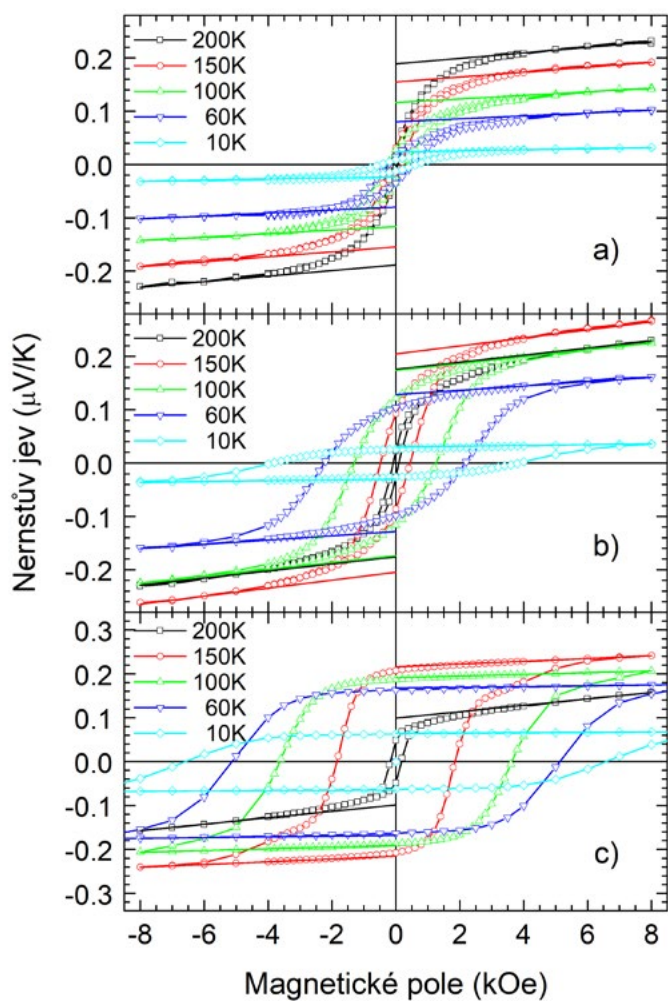
V souvislosti s vývojem nových kontrastních látek pro zobrazování magnetickou rezonancí (MRI) byla řešena tematika transversální relaxivity magnetických nanočástic, která určuje jejich kontrastní efekt v T_2 -vážených obrazech. Pozoruhodné výsledky byly získány na exotických magnetických částicích $\varepsilon\text{-Al}_{0,23}\text{Fe}_{1,77}\text{O}_3$ s velikostí $\approx 20\text{ nm}$, které nejsou superparamagnetické (koercivita $\approx 1.5\text{ T}$ za pokojové teploty) a vykazují vyšší magnetizaci (21 emu g^{-1}) než nedopovaná fáze $\varepsilon\text{-Fe}_2\text{O}_3$ [6]. Tyto částice byly obaleny vrstvou amorfního oxidu křemičitého o čtyřech různých tloušťkách a jejich transversální relaxivita byla změřena v závislosti na teplotě a intenzitě magnetické pole. Polní závislost ukázala atypické efekty spojené s přítomností klastrů několika magneticky blokovaných krystalitů vázaných společným obalem (obr. 46) a účinnost této nové kontrastní látky v MRI byla navíc demonstrována prostřednictvím in vivo studie na myším modelu (obr. 46). V podobně orientované práci využívající speciální nanočástice se složením $\text{Co}_x\text{Zn}_y\text{Fe}_{3-x-y}\text{O}_4$ s velikostí $\approx 10\text{ nm}$ byla na třech optimalizovaných složeních studována teplotní závislost transversální relaxivity, která zajišťovala rozdílné magnetické chování: blokovaný stav, superparamagnetický režim a blízkost přechodu do paramagnetického stavu [7]. Kvantitativní analýza teplotních závislostí odhalila kombinaci různých režimů transversální relaxace systému vodíkových spinů a zásadní roli autodifuse molekul vody.

V rámci studia intermetalických sloučenin na bázi Ni_2MnSn , které vykazují neobvyklé magnetické a strukturní přechody, jsme při vhodně zvoleném poměru Mn a Sn pozorovali při pokojových teplotách silné provázání magnetických a strukturních vlastností včetně jevů, které by v budoucnu mohly mít aplikační potenciál (změna elektrického odporu, roztažnost, magnetické výměnné pole, ...). Experimentální a teoretické studium těchto materiálů ukázalo na možnost záměny jednotlivých atomů na jejich krystalografických pozicích a silnou provázanost atomových vzdáleností s vlastnostmi. Díky studiu za extrémního tlaku se nám podařilo ukázat důležitost záměny atomů na velikost výsledného magnetického momentu a díky působení hydrostatického tlaku popsat závislost na meziatomových vzdálenostech [8].

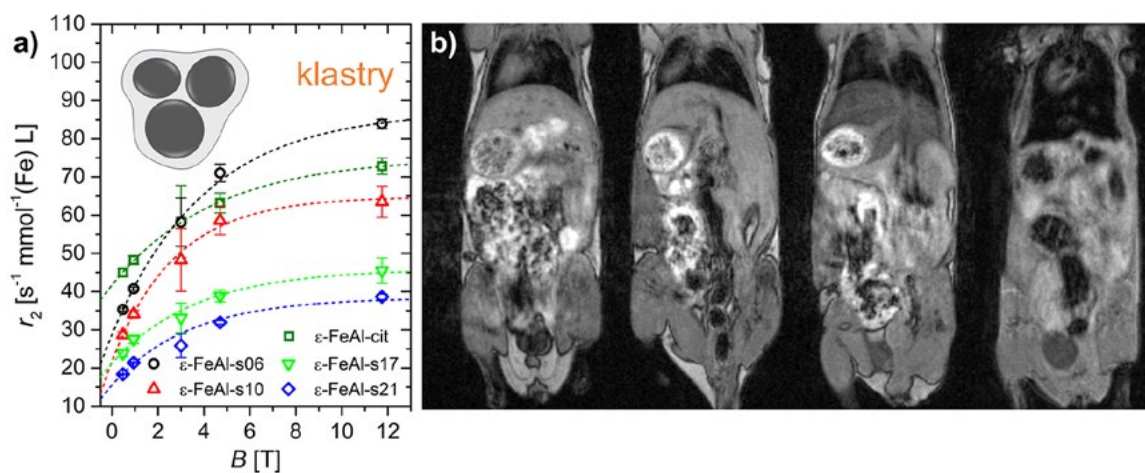
Soupeření různých typů kolektivních jevů je důležitým tématem fyziky pevných látek s důsledky pro řadu dalších problémů, například silně korelované elektronové systémy a vysokoteplotní supravodivost. Zatímco vznik supravodivého stavu při potlačení vln nábojové hustoty (charge density wave, dále CDW) je pozorován často, jejich koexistence byla zatím prokázána jen v několika málo materiálech. Zde jsme demonstrovali,



Obr. 44: Bodový defekt indukuje v jinak antiferomagnetickém CuFeS_2 feromagnetismus a stavy s vysokou mobilitou.



Obr. 45: Nernstův jev pro (a) kompaktní keramiku, (b) nanogranulární keramiku, (c) a tenký film $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{CoO}_3$ pro vybrané teploty.



Obr. 46. Kontrastní látky na bázi magnetických nanočástic $\epsilon\text{-Al}_{0.23}\text{Fe}_{1.77}\text{O}_3$ obalených vrstvou oxidu křemičitého o čtyřech různých tloušťkách v intervalu 6–21 nm (vzorky $\epsilon\text{-FeAl-s06}$ až $\epsilon\text{-FeAl-s21}$). (a) Závislost transverzální relaxivity na magnetickém poli, kterou výrazně ovlivňuje přítomnost klastrů magneticky blokovanych částic. (b) Ve směru zleva doprava MRI snímky myši před a po intravenózním podání 100 μL suspence nanočástic $\epsilon\text{-FeAl-s17}$ o koncentraci 5, 10 a 20 $\text{mmol}(\text{Fe}) \text{L}^{-1}$.

že oba kooperativní elektronové jevy spolu koexistují v klastrové sloučenině $K_2Mo_{15}Se_{19}$. Byl pozorován nástup CDW uspořádání při teplotě $T \sim 114$ K, doprovázený souměřitelnou periodickou modulací krystalové mřížky podél krystalografické c-osy, viditelné pomocí elektronové difrakce. Při dalším chlazení je pozorován výskyt objemové supravodivosti II typu při teplotě $T_C \sim 2,8$ K. Přítomnost podobných signatur CDW uspořádání byla také ukázána na dalších materiálech obdobné kompozice $A_2Mo_{15}Se_{19}$, umožňujících další systematický výzkum současného výskytu CDW a supravodivosti. [9].

V laboratoři infračervené laserové spektroskopie jsme studovali hmotnost kvantovaného víru v tenké vrstvě vysokoteplotního supravodiče $YBa_2Cu_3O_{7-d}$. Jedná se o velmi kontroverzní téma s minimem experimentálních příspěvků a množstvím rozdílných teorií, které se liší až o několik řádů s ohledem na hmotnost kvantového víru. Na základě porovnání propustnosti v závislosti na teplotě a magnetickém poli pro levo- a pravotočivou kruhovou polarizaci jsme dospěli k výraznému průlomů v interpretaci našich dat, a to umožnilo rozšíření Kopnin-Kravtsovy teorie pro infračervenou frekvenční oblast (obr. 47). To umožnilo popsat výsledky měření bez jediného fitovacího parametru (viz obrázek, všechny parametry určeny v nezávislých měřeních). Určili jsme hmotu víru jako $2,7 \times 10^8$ hmoty elektronu na centimetr délky víru v limitě nulové frekvence při 45 K a pozorovali jsme redukci efektivní Magnusovy síly o 85 % [10].

Pomocí výpočtů DFT (Density Functional Theory) jsme studovali magnetické interakce v $e-Fe_2O_3$. Výpočty výměnných integrálů potvrdily antiferomagnetické (AFM) interakce mezi 4 magnetickými Fe podmřížkami a feromagnetické (FM) interakce uvnitř těchto podmřížek a výsledný základní AFM stav. Frustrace mezi AFM a FM interakcemi vede k náklonu směru magnetických momentů na jednotlivých atomech Fe (kvantování) a rozdílné závislosti velikosti a náklonu těchto momentů na teplotě. Výsledkem je ferimagnetické chování při vyšší teplotě s nenulovým celkovým magnetickým momentem [11]. Významné výsledky ve spolupráci se skupinou prof. Tsuchiury (univ. Aobe, Japonsko) přineslo teoretické studium tvrdých magnetů na bázi železa a samaria [12,13]. Pokračování dlouholeté spolupráce s polsko-českou skupinou při studiu magnetitu vedlo k výsledkům obsaženým v práci [14].

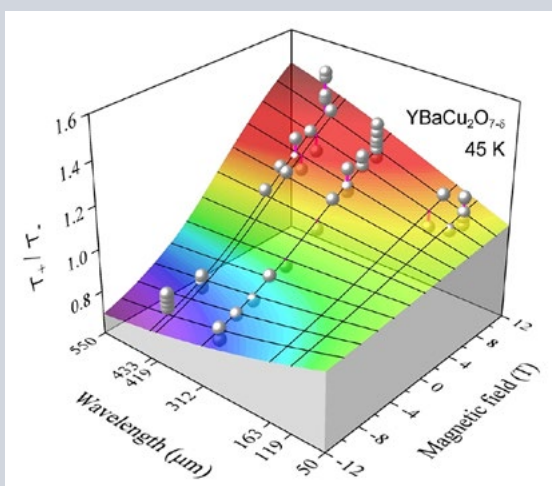
V souvislosti s aplikovaným výzkumem jsme rozpracovali možnost vylepšení energetické bilance samostatného topení využívaného v hromadných dopravních prostředcích, případně docílení jeho úplné autonomie. Navrhli jsme různé možnosti umístění termoelektrických modulů na základě modelové simulace tepelných toků a měření potřebných parametrů na zkonstruované testovací lavici. S upraveným topením vybaveným termoelektrickými moduly jsme pak provedli vlastní zkušební jízdy autobusu ve spolupráci s firmou KŽC Doprava, s.r.o. Na obr. 48 dokládáme obrázek umístění termoelektrických modulů v nezávislém topení.

LITERATURA

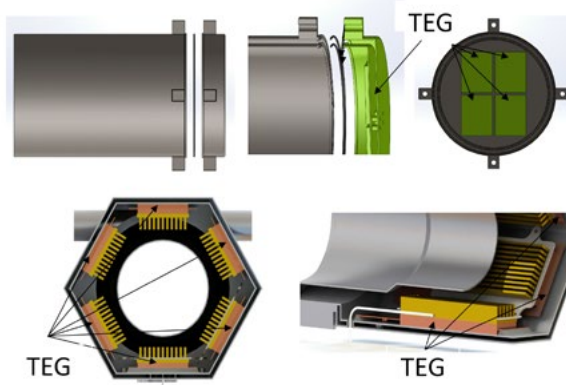
- [1] J. Navrátil, P. Levinský, J. Hejtmánek, M. Pashchenko, K. Knížek, L. Kubíčková, T. Kmječ, Č. Drašar, Peculiar Magnetic and Transport Properties of $CuFeS_2$: Defects Play a Key Role, *Journal of Physical Chemistry C* **124** (2020) 20773–20783.
doi.org/10.1021/acs.jpcc.0c06490
- [2] P. Baláž, E. Dutková, P. Levinský, N. Daneu, L. Kubíčková, K. Knížek, M. Baláž, J. Navrátil, J. Kašparová, V. Ksenofontov, A. Möller, J. Hejtmánek, Enhanced thermoelectric performance of chalcopyrite nanocomposite via co-milling of synthetic and natural minerals, *Materials Letters* **275** (2020) 128107(1)–128107(4).
doi.org/10.1016/j.matlet.2020.128107
- [3] N. Antonatos, D. Bouša, E. Kovalska, D. Sedmidubský, K. Růžicka, P. Vrbka, M. Veselý, J. Hejtmánek, Z. Sofer, Large-Scale Production of Nanocrystalline Black Phosphorus Ceramics, *ACS Applied Materials and Interfaces* **12** (2020) 7381–7391.
doi.org/10.1021/acsami.9b13362
- [4] M. Soroka, K. Knížek, Z. Jiráček, P. Levinský, M. Jarošová, J. Buršík, J. Hejtmánek, Anomalous Nernst effect in the ceramic and thin layer samples of $La_{0.7}Sr_{0.3}CoO_3$ perovskite, *Phys. Rev. Materials* **5** (2021) 035401(1)–035401(10).
doi.org/10.1103/PhysRevMaterials.5.035401
- [5] M. Pashchenko, P. Veverka, T. Kmječ, O. Kaman, L. Kubíčková, J. Kohout, M. Klementová, O. Kravchuk, A. Vakula, S. Tarapov, J. Hejtmánek, K. Knížek, Magnetic, FMR and Mössbauer studies of greigite nanoparticles, *J. Alloy. Compd.* **857**, (2021) 157569(1)–157569(10).
doi.org/10.1016/j.jallcom.2020.157569
- [6] L. Kubíčková, O. Kaman, P. Veverka, V. Herynek, P. Brázda, M. Vosmanská, T. Kmječ, P. Dvořák, D. Kubániová, J. Kohout, The $\epsilon-Al_xFe_{2-x}O_3$ nanomagnets as MRI contrast agents: Factors influencing transverse relaxivity, *Colloids and Surfaces A-Physicochemical and Engineering Aspects*, **589** (2020) 124423(1)–124423(11).
doi.org/10.1016/j.colsurfa.2020.124423
- [7] P. Veverka, L. Kubíčková, Z. Jiráček, V. Herynek, M. Veverka, O. Kaman, Temperature and field dependences of transverse relaxivity of Co–Zn ferrite nanoparticles coated with silica: The role of magnetic properties and different regimes, *Materials Chemistry and Physics*, **260** (2021) 124178(1)–124178(8).
doi.org/10.1016/j.matchemphys.2020.124178
- [8] Martin Friák et al., *Materials* **14** (2021) 523(1)–523(16).
doi.org/10.3390/ma14030523
- [9] C. Candolfi, M. Míšek, P. Gougeon, R. Al Rahal Al Orabi, P. Gall, R. Gautier, S. Migot, J. Ghanbaja, J. Kaštil, P. Levinský, J. Hejtmánek,



- A. Dauscher, B. Malaman, and B. Lenoir, Coexistence of a charge density wave and superconductivity in the cluster compound $K_2Mo_{15}Se_{19}$, *Phys. Rev. B* **101** (2020) 134521(1)–134521(11).
doi.org/10.1103/PhysRevB.101.134521
- [10] R. Tesař, M. Šindler, C. Kadlec, L. Skrbek, P. Lipavský, and J. Koláček, Mass of one bit for fluxonics – Abrikosov vortex – in high- T_C YBaCuO superconductor, arxiv:1911.12050.
- [11] K. Knížek, P. Novák, Z. Jiráček, Exchange interactions in epsilon- Fe_2O_3 : GGA+U calculations, *J. Phys.-Condens. Mat.*, accepted (2021).
doi.org/10.1088/1361-648X/abdb13
- [12] S. Yamashita, D. Suzuki, T. Yoshioka, H. Tsuchiura, and P. Novák, Finite-temperature magnetic properties of $Sm_2Fe_{17}N_x$ using an ab initio effective spin model, *Phys. Rev. B* **102** (2020) 214439(1)–214439(7).
doi.org/10.1103/PhysRevB.102.214439
- [13] T. Yoshioka, H. Tsuchiura, and P. Novák, Statistical and analytical approaches to finite-temperature magnetic properties of the compound $SmFe_{12}$, *Phys. Rev. B* **102** (2020) 184410(1)–184410(14).
doi.org/10.1103/PhysRevB.102.184410
- [14] T. Kołodziej et al. Magnetic field induced structural changes in magnetite observed by resonant x-ray diffraction and Mössbauer spectroscopy, *Phys. Rev. B* **102** (2020) 075126(1)–075126(15).
doi.org/10.1103/PhysRevB.102.075126



Obr. 47: Podíl transmitancí pro levo- a pravotočivé kruhově polarizované světlo skrze YBaCuO vrstvu pro laserové čáry 119, 163, 312, 419 a 433 μm v závislosti na magnetickém poli. Teoretická předpověď (barevná plocha) je v dobrém souladu s experimentálními výsledky (šedé body).



Umístění termoelektrických modulů v čele spalovací komory.

Umístění termoelektrických modulů v plášti spalovací komory.



Reálné rozmístění termoelektrických modulů a upravené víko topení.

Obr. 48: Nákrasy dvou navržených možností a reálné umístění termoelektrických modulů v nezávislém topení.

2.3.6 Tenké vrstvy a nanostruktury

Oddělení tenkých vrstev a nanostruktur se věnuje výzkumu nanočástic, nanodráťů a tenkých vrstev, a to především těch které jsou odvozeny od křemíku nebo uhlíkatých materiálů, např. nanodiamantů nebo grafenu. Oddělení zkoumá nejen základní jevy, ale i aplikace v nanoelektronice, fotonice a v přeměnách energie (např. pro fotovoltaiku nebo baterie).

Oddělení po letech postupného nárůstu pracovníků i tematik prošlo v roce 2020 reorganizací, kdy nejprve koncem března 2020 vzniklo nové oddělení povrchů a molekulárních struktur složené z dosavadní skupiny Nanosurf (vedoucí P. Jelínek), skupiny transportu v molekulách (H. Vázquez) a skupiny skenovací luminescenční mikroskopie (M. Švec). Ke konci roku pak 2020 vzniklo ve FZÚ nové oddělení diamantových a příbuzných materiálů, do kterého přešla také skupina vedená Štěpánem Stehlíkem. Rok 2020 je také počátkem fungování nové skupiny vedené Lukášem Ondičem, nositelem prémie Lumina Quaeruntur, zaměřené na kvantovou fotoniku diamantových nanostruktur.

Výsledky dosažené v průběhu roku 2020 v jednotlivých skupinách jsou ilustrovány následujícími příklady.

V létě 2020 Evropská komise uzavřela hodnocení projektu H2020 NextBase, jehož se účastnila skupina tenkých vrstev vedená Martinem Ledinským. Tříletý výzkum projektového týmu NextBase složený ze 14 partnerů z osmi zemí vyvinul prototypy fotovoltaických článků s vysokou účinností a potenciálem pro nízké náklady. Evropská unie projekt zařadila mezi své Success Stories [1]. Ve stejném období firma Meyer Burger, která byla jedním z klíčových průmyslových partnerů projektu, oznámila záměr spustit novou výrobu těchto článků v Evropě s cílem zprovoznit do dvou let výrobní kapacitu přes 1 GW špičkového výkonu ročně. Další průmyslový partner v projektu, italský Enel Green Power, již spustil prototypovou výrobu na Sicílii. Projekt NextBase tak přinesl konkurenční výhodu, která umožňuje obnovit v Evropě výrobu fotovoltaických panelů s vysokou účinností. Příspěvkem týmu FZÚ je rychlá diagnostická technika kontaktovacích struktur, která je využitelná při výrobní kontrole a která je předmětem patentové přihlášky podané v průběhu roku 2020.

Další výzkum skupiny tenkých vrstev je orientován na fotofyziku metalorganických halidových perovskitů, dalších intenzivně studovaných materiálů pro sluneční články. Jejich výjimečné optoelektronické vlastnosti jsou dané především velmi malou hustotou rekombinačních aktivních defektů. Již dříve jsme popsali velmi strmou hranu zakázaného pásu, popsanou tzv. Urbachovou energií E_U , která dovozuje dosahovat velký rozdíl kvazi-Fermiho hladin a v důsledku i vysoké napětí fotovoltaických článků. V uplynulém roce jsme zkoumali vztah mezi fundamentálními vlastnostmi různých perovskitů a ztrátou V_{OC} napětí slunečních článků, označované jako W_{OC} , tedy rozdílu V_{OC} od ideální hodnoty plynoucí z velikosti zakázaného pásu

[2]. Tento vztah byl dosud především empirický a jeho fyzikální příčina nebyla zřejmá. Náš výzkum provázal ztráty vzniklé nezářivou rekombinací přímo s hodnotou Urbachovy energie. Urbachova energie proto přímo určuje fundamentální limity daného absorberu ve fotovoltaických článcích nad rámec S-Q omezení.

Stabilita perovskitů je klíčovou otázkou pro využití těchto nových a intenzivně zkoumaných materiálů, které dosahují vysokých účinností při (v budoucnosti) nízkých nákladech. Ve spolupráci s King Abdullah University of Science and Technology v Saúdské Arábii jsme studovali vliv přebytků jodidu olovnatého (PbI_2) na vznik defektních stavů v zakázaném pásu vedoucích k rekombinačním ztrátám [3]. Měření časově rozlišené fotoluminiscence (TRPL) v kombinaci se spektrální odezvou článků ukázala, že ke ztrátám dochází především na površích, tedy na rozhraní spiro-OMeTAD/perovskit, nikoliv v objemu perovskitové vrstvy. Tato pozorování pomohou při návrhu solárních článků se zlepšenou stabilitou a tedy i výkonem.

Poslední z trojice systémů studovaných pro použití ve fotovoltaice jsou křemíkové nanodráty, pro které se nám podařilo objasnit mechanismus tvorby křemíkových nanodráťů z jednotlivých katalytických nanočástic kovu v silanovém plazmatu [4] In a Au. Ukázali jsme, že nanočástice kovu (Sn, In nebo Au) aktivně katalyzují růst nanodráťů pouze pro průměr 10–20 nm, zatímco větší částice jsou překryty vrstvou křemíku dříve, než dosáhnou potřebného přesycení pro vznik nanodráty.

Zatímco křemíkové nanodráty jsou připravovány na podložkách heterogenní katalýzou, při použití silanového plazmatu v průtokovém uspořádání reaktoru je možné připravit křemíkové nanočástice s ještě menšími rozměry, typicky v řádu jednotek nanometrů. Cílenou manipulací elektronických vlastností křemíkových nanočástic se zabývá skupina laserové spektroskopie nanomateriálů na bázi křemíku. Ačkoliv křemík v objemové podobě má kvůli nepřímému zakázanému pásu slabou fotoluminiscenci, ve formě nanočástic může být mnohem lepším luminoforem, a navíc je možno vlastnosti luminescence značně ovlivňovat pomocí povrchové terminace ligandy.

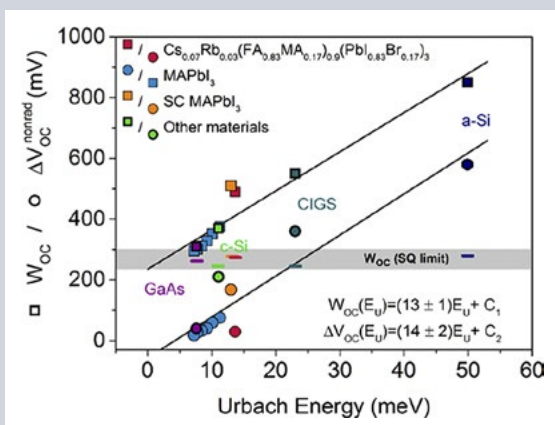
V minulosti jsme prokázali, že při použití vhodných povrchových ligandů je možno u křemíkových nanočástic dosáhnout přímého zakázaného pásu, a tedy i rychlých zářivých přechodů. Pro hlubší porozumění těmto výsledkům jsme ve spolupráci s Oddělením teorie kondenzovaných látek a s Univerzitou v Amsterdamu pomocí teoretických výpočtů na základě metod funkcionálu hustoty DFT srovnali vliv různých mechanismů (mechanické pnutí, elektronegativita ligandů, prostorová lokalizace vlnové funkce, teplotní obsazení stavů) na zářivé přechody v křemíkových nanočásticích [5]. Dále z experimentálního hlediska byla zvládnuta metoda přípravy křemíkových nanočástic v plazmatu na úrovni miligramových množství vzorku z jedné depozice, což dovozuje výzkum i v dalších směrech, např. pro využití v lithiových bateriích, kde teoretická kapacita baterie s křemíkovou anodou je až 10× větší než v současných bateriích s uhlíkovými anodami. Tomuto

tématu bude věnován nový projekt GAČR ve spolupráci s Ústavem fyzikální chemie J. Heyrovského a Vysoké školy chemicko technologické v Praze.

Povrchová terminace křemíkových nanočástic je možná také pomocí plazmatem aktivovaného vodného prostředí, tedy nově objevenou metodou, pro kterou byla podána přihláška mezinárodního patentu [6].

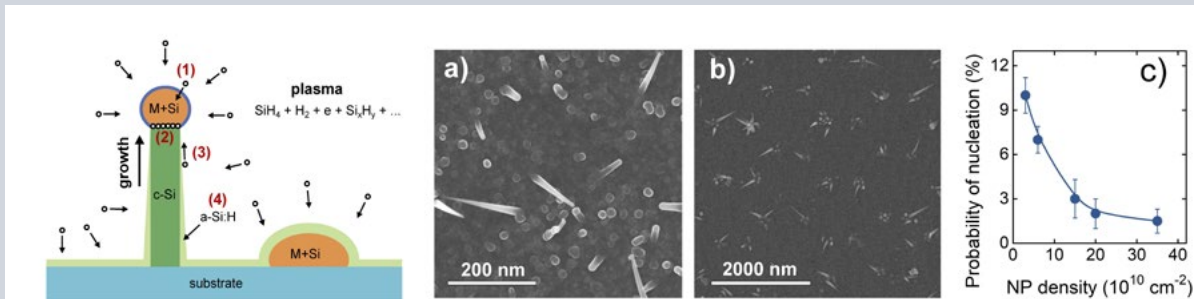
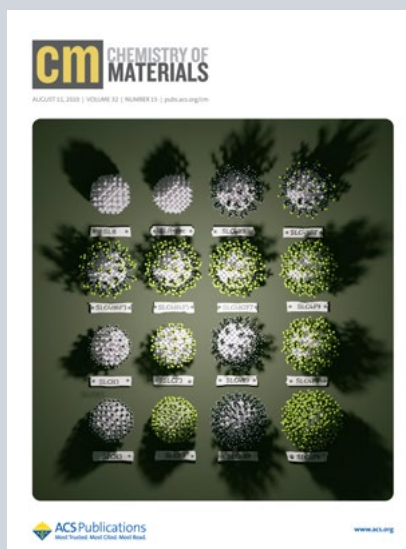
Jinou výzkumnou aktivitou v oblasti fotoniky je výzkum záporně nabitých křemíkových vakancí (SiV^-) v diamantu pro jednofotonové zdroje v kvantové fotonice. Pro tento systém je ale obtížné dosáhnout pře-

kryvu optických módů fotonické struktury a emise SiV^- center. Pomocí elektronové litografie jsme připravili fotonickou dutinu ve vrstvě polykrystalického diamantu a podařilo se nám dosáhnout $2,5\times$ násobného zvýšení intenzity SiV^- nul-fononové emisní čáry [7]. Obdobné výsledky byly dosud dosaženy jen pomocí vzorků monokrystalického diamantu a použití fotonických struktur z polykrystalických vrstev diamantu připravených v mikrovlnném plazmatu ve spolupráci s oddělením optických materiálů tak otevírá daleko širší možnosti aplikací.

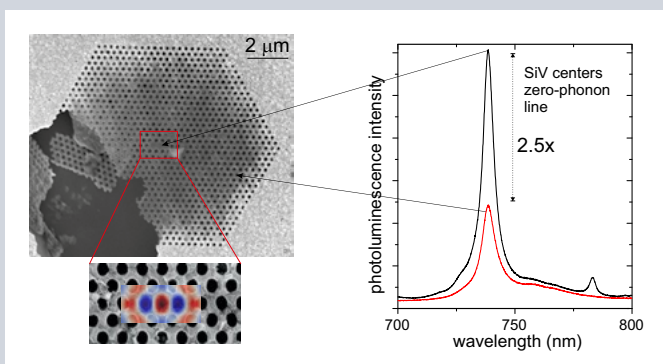


Obr. 49: Porovnání ztrát napětí naprázdno (WOC) a ztráty nezářivou rekombinací $\Delta V_{OC}(\text{nonrad})$ pro různé halidové perovskity a další absorbéry používané ve fotovoltaických článcích.

Obr. 51: Příklady struktur vypočtených křemíkových nanočástic s různými povrchovými ligandy, u nichž byly pomocí metody DFT zkoumány zářivé přechody. Obrázek vyšel na přebalu časopisu Chemistry of Materials.

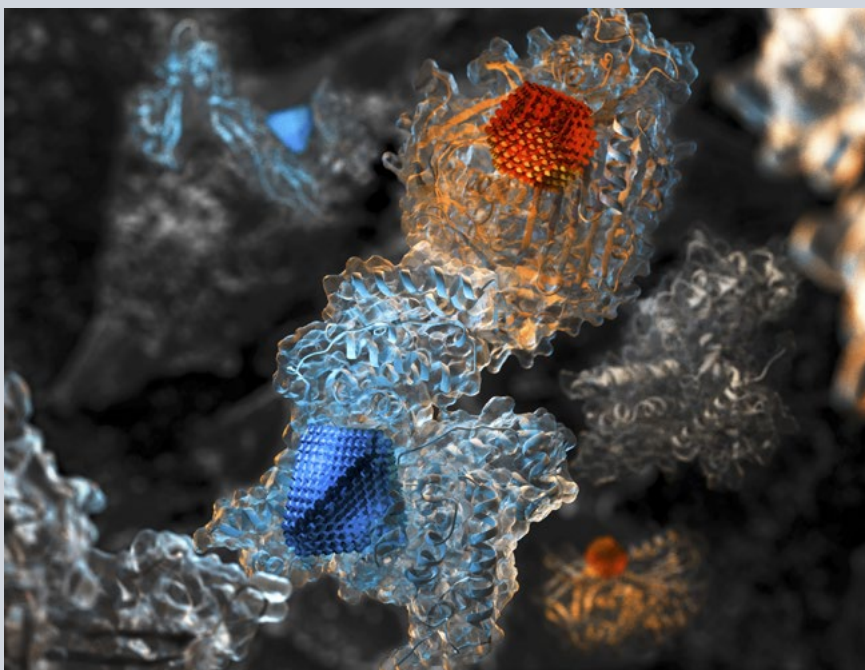


Obr. 50: Schéma heterogenní katalýzy křemíkových nanodrátů v silanovém plazmatu (vlevo) a závislost pravděpodobnosti nukleace (a) ilustrovaná snímky z elektronového mikroskopu (b) a (c) pro různou hustotu kovových zárodků.



Obr. 52: Fotonická nanostruktura vytvořená ve vrstvě polykrystalického diamantu včetně simulovaného rozložení optických módů a fotoluminiscenčních spekter.



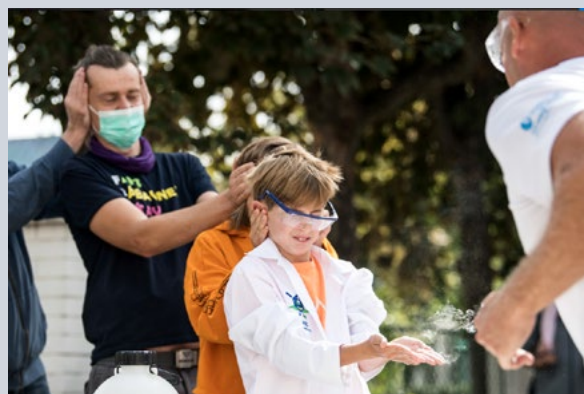


Obr. 53: Schematické zobrazení, jak ultramalé oxidované (červené) a hydrogenované (modré) nanodiamanty ovlivňují tvorbu proteinové korony. Struktury proteinů v modré barvě jsou znázorněny ve specifické interakci s hydrogenovanými nanodiamanty, struktury proteinů v červené barvě jsou uvedeny ve specifické interakci s oxidovanými nanodiamanty. Obrázek vyšel na přebalu časopisu Carbon.

76



Obr. 54: Aparatura pro Atomic Layer Deposition PICOSUN Advanced



Obr. 56: Pokus s raketovým palivem, který předvádí Michael Londesborough z Ústavu anorganické chemie AV ČR spolu s Martinem Ledinským v rámci akce Zažít město jinak



Syngas
(H_2+CO)

+

vitrified
lava

Obr. 55: Aparatura Golem pro plazmové zplyňování odpadu vyvíjené ve spolupráci s Ústavem fyziky plazmatu a firmou HVM Plasma, s.r.o., včetně možných zpracovávaných odpadů RDF (refuse derived fuel), tj. zbytkového směsného odpadu po vícestupňovém procesu třídění nebo nebezpečného bioodpadu.



V oblasti nanodiamantů jsme provedli systematický výzkum základních biochemických interakcí ultramalých (cca 2 nm) hydrogenovaných a oxidovaných detonálních nanodiamantů (DND) s proteiny a lidskými buňkami [8]. Velmi malé nanočástice o velikosti menší nebo srovnatelné s póry buněčné membrány (1–5 nm) mají významný potenciál v oblasti biomedicíny. Zjistili jsme, že interakce proteinů s DND souvisí spíše s jejich povrchovou chemií (zakončení H / O) než s velikostí. Bioinformatická charakterizace identifikovaných proteinů ukázala na silný vliv elektrostatické interakce mezi proteiny a DND v závislosti na jejich zakončení povrchu. Tato specifická interakce vedla k tvorbě různých proteinových koron na hydrogenovaných nebo oxidovaných 2nm DND, které ovlivňovaly také jejich interakci s buňkami včetně různé úrovně cytotoxicity. Práce byla provedena společně týmy z Univerzity Karlovy, Akademie věd ČR a Českého vysokého učení technického v Praze.

Uvedené aktivity navazují na projekt Solid 21, ve kterém je oddělení zapojeno hned do 3 různých výzkumných programů. Díky projektu se podařilo v rámci oddělení vybudovat a zprovoznit metodu ALD (Atomic Layer Deposition), která dovoluje připravovat především pasivací oxidové vrstvy s atomární přesností.

Jednotlivým prvkem přípravy vzorků v oddělení je využití plazmatu pro depozice vrstev či nanočástic. Získané zkušenosti vedly ještě k dalšímu, aplikačně orientovanému výzkumu, a to pro zplyňování odpadu. Toto téma je řešeno jako jedna z úloh Národního centra kompetence MATCA (<https://matca.cz/technologie/plazmaticke-technologie/>).

Oddělení je také od roku 2020 zapojeno do velké výzkumné infrastruktury CzechNanoLab, která poskytuje otevřený přístup k technologickému vybavení a službám v oblasti nanotechnologií a materiálových věd. CzechNanoLab se skládá ze dvou pracovišť, a to brněnské laboratoře CEITEC Nano a pražské Laboratoře nanostruktur a nanomateriálů LNSM. Tato dvě pracoviště umožňují rychlý a snadný přístup ke špičkovým přístrojům pro fabrikaci a analýzu nanostruktur, nanomateriálů a nanosoučástek. Na těchto pracovištích mohou působit výzkumní a vývojoví pracovníci, a to jak z akademického, tak z průmyslového prostředí z celé ČR i ze zahraničí.

Ačkoliv v době covidové pandemie nebylo setkávání s veřejností většinou možné, oddělení se věnuje i vzdělávání a popularizaci, např. demonstračními pokusy pro veřejnost v rámci akce Zažít město jinak konané v září 2020 v Cukrovarnické, do které se zapojili M. Ledinský a A. Fejfar a řada mladších členů týmu. V tomto období byla připravována mezinárodní letní škola Physics at Nanoscale, podporovaná International Union of Vacuum Science and Techniques (IUVSTA) a pořádaná tradičně ve spolupráci s VUT v Brně, nicméně, vzhledem k pandemické situaci byl původní termín červen 2020 odsunut na rok 2021. Škola je určena pro doktorandy a mladé vědecké pracovníky a obvykle má okolo 100 účastníků. V listopadu 2020 proběhla také online účast na Noci vědců, kde M. Ledinský odpoví-

dal na dotazy týkající se práce fyzika a fyziky obecně v rámci akce nazvané Zeptej se fyzika (<https://www.nocvedcu.cz>).

LITERATURA:

- [1] NextBase has been selected as “Success Story” by the EC!, NextBase. (2020). <https://nextbase-project.eu/nextbase-has-been-selected-as-success-story-by-the-ec/> (accessed March 1, 2021).
- [2] M. Ledinský, A. Vlk, T. Schönfelddová, J. Holovský, E. Aydin, H.X. Dang, Z. Hájková, L. Landová, J. Valenta, A. Fejfar, S. De Wolf, Impact of Cation Multiplicity on Halide Perovskite Defect Densities and Solar Cell Voltages, *J. Phys. Chem. C* **124** (2020) 27333–27339. doi.org/10.1021/acs.jpcc.0c08193
- [3] E. Ugur, E. Alarousu, J.I. Khan, A. Vlk, E. Aydin, M. De Bastiani, A.H. Balawi, S.P. Gonzalez Lopez, M. Ledinský, S. De Wolf, F. Laquai, How Humidity and Light Exposure Change the Photophysics of Metal Halide Perovskite Solar Cells, *Sol. RRL*. (2020) 2000382. doi.org/10.1002/solr.202000382
- [4] M. Hývl, M. Müller, T.-H. Stuchlíková, J. Stuchlík, M. Šilhavík, J. Kočka, A. Fejfar, J. Červenka, Nucleation and growth of metal-catalyzed silicon nanowires under plasma, *Nanotechnology*. **31** (2020) 225601. doi.org/10.1088/1361-6528/ab76ef
- [5] K. Dohnalová, P. Hapala, K. Kůsová, I. Infante, Electronic Structure Engineering Achieved via Organic Ligands in Silicon Nanocrystals, *Chem. Mater.* **32** (2020) 6326–6337. doi.org/10.1021/acs.chemmater.0c00443
- [6] Pavel Galář, Kateřina Kůsová, Anna Fučíková, Josef Khun, A method for surface modification of semiconductor nanoparticles using non-thermal plasma activated water and product thereof, PV 2019–600, n.d.
- [7] L. Ondič, M. Varga, J. Fait, K. Hruška, V. Jurka, A. Kromka, J. Maňák, P. Kapusta, J. Nováková, Photonic crystal cavity-enhanced emission from silicon vacancy centers in polycrystalline diamond achieved without postfabrication fine-tuning, *Nanoscale*. **12** (2020) 13055–13063. doi.org/10.1039/C9NR10580H
- [8] I. Machova, M. Hubalek, T. Belinova, A. Fucikova, S. Stehlik, B. Rezek, M.H. Kalbacova, The bio-chemically selective interaction of hydrogenated and oxidized ultra-small nanodiamonds with proteins and cells, *Carbon*. **162** (2020) 650–661. doi.org/10.1016/j.carbon.2020.02.061

2.3.7 Optické materiály

Výzkumné aktivity oddělení v roce 2020 byly zaměřeny na studium bodových defektů ve struktuře látek, jejich 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 4 mezinárodní a 10 domácích projektů) v několika skupinách převážně optických materiálů.

Ve skupině luminiscenčních a scintilačních materiálů pokračoval výzkum multifunkčních optických materiálů pro různé aplikace, zejména můžeme zmínit scintilační materiály, a to jak ve formě objemových krystalů, tak i ve formě tenkých vrstev, mikrokrystallických prášků nebo nanokompozitních materiálů, dále pak materiály vhodné pro konstrukci laditelných zdrojů bílého světla na bázi LED, a v neposlední řadě materiálů použitelných pro fungování pevnolátkových laserů. Jako první můžeme zmínit přehledový článek [1] vzniklý ve spolupráci s Fyzikálním ústavem Univerzity v Tartu (Estonsko), a dále s Fyzikálním ústavem Polské akademie věd ve Varšavě a Polytechnickou univerzitou ve Lvově, ve kterém se studují sloučeniny dopované ionty bismutu. Ty se v nedávné době staly předmětem intenzivního výzkumu, a to zejména díky jejich možné aplikaci na poli scintilačních a fosforových materiálů. Oxidové materiály dvojité dopované ionty Bi^{3+} a třímocnými ionty vzácných zemin byly navrženy jako perspektivní materiály pro bílé zdroje světla na bázi LED a jako materiály pro pokročilé solární články na bázi křemíku. V přehledové práci je demonstrováno, že luminiscenční charakteristiky různých látek dopovaných ionty Bi^{3+} jsou velmi různorodé a mohou pocházet z rozličných elektronických přechodů z excitovaných stavů iontu Bi^{3+} do základního stavu, dále z přechodů s přenosem náboje, dimerů iontů Bi^{3+} nebo dokonce clusterů. Přehledový článek dále porovnává příslušné luminiscenční charakteristiky v různých sloučeninách, diskutuje možný původ daných center a studuje dynamiku excitovaných stavů iontů Bi^{3+} pomocí fenomenologických modelů.

Dále jsme ve spolupráci s několika špičkovými týmy z Číny (Key Laboratory of Transparent Opto-functional Inorganic Materials at Shanghai Institute of Ceramics, Center of Materials Science and Optoelectronics Engineering at University of Chinese Academy of Sciences, Department of Physics, Shanghai Normal University) studovali nejmodernější postupy při přípravě transparentní keramiky na bázi $\text{Lu}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ dopovaného ionty Pr^{3+} [2]. Z minulých prací na keramických vzorcích se ví, že dodatečné přidávání sintračních činidel (*sintering aids*) při přípravě keramiky může velmi negativně ovlivnit její luminiscenční vlastnosti, a to zejména, má-li být používána jako scintilační materiál. V práci [2] se tedy popisuje způsob přípravy keramiky z nano-prášků získaných ko-precipitací, a to bez použití výše zmíněných sintračních činidel. Při této metodě je důle-

žitě pečlivě hlídat molární poměr hydrogen uhličitanu amonného v ko-precipitačním roztoku a třímocných iontů příslušných kovů (Lu^{3+} , Al^{3+}). Tento poměr totiž velmi silně ovlivňuje složení roztoku a disperzitu vznikajících prášků. Pro tento poměr s hodnotou 3,2 mají práškové vzorky nejlepší disperzitu a příslušné keramické vzorky mají transmitanci ve viditelné oblasti 72 %. Nicméně, přidáním většího množství lutecia do roztoku se dá lépe kontrolovat případná nestechiometrie, v důsledku čehož se může zvýšit transmitance ve viditelné oblasti až na 80 %, což je plně srovnatelné s keramikou připravenou se sintračními činidly. Pro nejlepší keramické vzorky připravené touto metodou dostáváme světelný výtěžek 7086 fot/MeV s energetickým rozlišením 16,9 %. Tyto relativně nízké hodnoty jsou dány dvojmocnými nečistotami vedoucími ke zvýšení koncentrace center Pr^{4+} , které negativně ovlivňují světelný výtěžek. Je tedy nezbytné do budoucna do procesu přípravy takovéto keramiky zařadit čištění výchozích materiálů, které by mělo vést k vyšším výtěžkům dovolujícím použití takovéto keramiky v moderních aplikacích jako je např. pozitronová emisní tomografie.

Opět ve spolupráci s čínskými kolegy (Shanghai Institute of Ceramics of Chinese Academy of Sciences, School of Materials Science and Engineering, University of Shanghai for Science and Technology) jsme nedávno začali studovat nízkodimensionální halogenidové perovskity s velmi slibnými luminiscenčními vlastnostmi, díky čemuž získaly pozornost na poli optoelektroniky a radiačních detektorů. Konkrétně jsme charakterizovali krystaly na bázi nízkodimensionálního perovskitu vzorce $\text{Cs}_3\text{Cu}_2\text{I}_5$, který lze poměrně snadno vypěstovat z taveniny takzvanou Bridgmanovou metodou [3]. Jedná se o nehygroskopickou látku krystalizující v ortorombickém systému (prostorová grupa $Pnma$). Jeho strukturu můžeme vidět na obr. 57. Díky velkému Stokesovu posunu (120 nm), který pramení z emisního mechanismu (radiační přechod autolokalizovaného excitonu do základního stavu), je zajištěno, že v krystalech nedochází k významné reabsorpci, která by snižovala celkovou scintilační účinnost. Emisní centrum tedy emituje při 440 nm s charakteristickou dobou života 967 ns. Nejlepší krystaly $\text{Cs}_3\text{Cu}_2\text{I}_5$ vykazují velmi vysoký světelný výtěžek kolem 30,000 fot/MeV, extrémně nízké afterglow (0,03 % po 10 ms od vypnutí budicího zdroje), ale také excelentní energetické rozlišení 3,4 % při 662 keV (gama záření z izotopu ^{137}Cs). Tyto výše zmíněné vlastnosti předurčují krystaly $\text{Cs}_3\text{Cu}_2\text{I}_5$ k využití při detekci rentgenového záření a záření gama v moderních aplikacích.

Na poli scintilátorů ve formě nano-kompozitních materiálů lze určitě zmínit velmi úspěšnou spolupráci s kolegy z Fyzikálního ústavu z oddělení polovodičů a s firmou Crytur, s.r.o. [4]. V oddělení polovodičů se metodou epitaxe připravují tenké vrstvy polovodiče GaN. Výhodami vrstev GaN jsou rychlý dosvit (pod 1 ns) a vysoká radiační odolnost. Nevýhoda tenkých epitaxních vrstev GaN však byla nízká účinnost a světelný výtěžek, protože se jedná o tenké vrstvy, navíc pěstované heteroepitaxním růstem. Jedna z možnos-

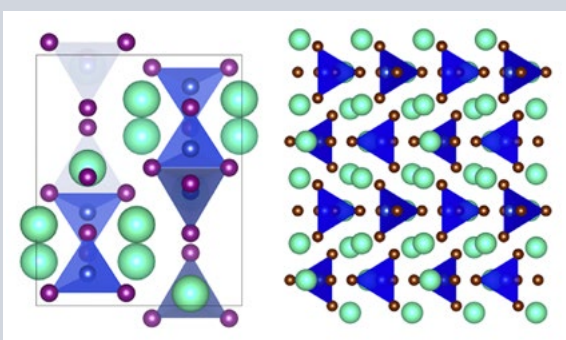


tí, jak zvýšit scintilační účinnost, je nahradit epitaxní vrstvu GaN strukturou mnohonásobných kvantových jam tvořených vrstvami InGaN/GaN, podobně jako v diodách LED. Podobně jako emisní diody se také tyto scintilační heterostruktury připravují plynou epitaxí z organokovových sloučenin (*Metal Organic Vapor Phase Epitaxy* – MOVPE). V práci [4] se poprvé v literatuře porovnávají optické vlastnosti těchto vrstev InGaN/GaN rostlých na různých substrátech, a to na safíru a na GaN. Obrázky pořízené elektronovou skenovací mikroskopií ukázaly, že povrch vzorků rostlých na safíru obsahuje o hodně více defektů (takzvaných V-pitů, o koncentraci 10^9 na cm^2) než povrch vzorků rostlých na GaN (10^6 cm^{-2}). Měření fotoluminiscenčních spekter odkrývá přítomnost dvou pásů, přičemž pás při vyšších energiích (398–443 nm) přísluší excitonové emisi a široký pás při nižších energiích je pak defektního původu. Měření fotoluminiscenční doby života excitonové emise ukazuje na to, že vzorky rostlé na substrátu GaN vykazují ultra-rychlou luminiscenci v řádu 100–200 ps, zatímco vzorky rostlé na safíru dobu života v řádu 500–1300 ps. Pozorované zrychlení může být vysvětleno lepším překryvem elektronové a děrové vlnové funkce. Díky těmto vlastnostem tyto materiály mohou najít uplatnění v aplikacích požadujících velmi rychlé časování, jakou je např. pozitronová emisní tomografie s dobou letu.

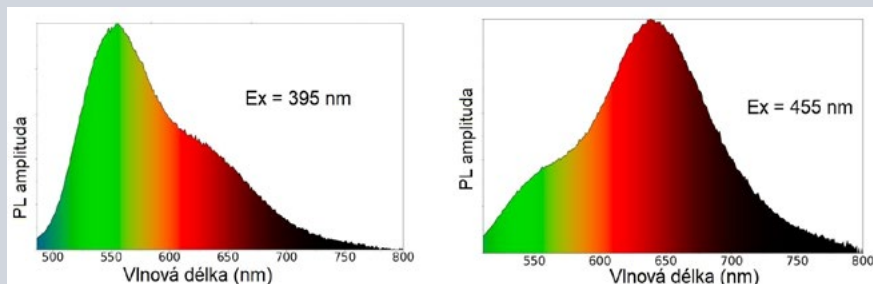
Konečně, co se týče aplikací fosforů pro zdroje bílého světla na bázi LED, můžeme zmínit pokračující výzkum sulfidických matric obecného vzorce ALnS_2 dopovaných ionty Eu^{2+} . Tento výzkum je navíc podpořen trvající spoluprací se skupinou profesora Dujardina na Univerzitě Lyon 1. V práci [5] pak v obecném vzorci ALnS_2 označuje A libovolnou kombinaci iontů K^+ , Na^+ , Rb^+ , a Ln libovolnou kombinaci iontů La^{3+} ,

Gd^{3+} , Lu^{3+} , Y^{3+} . Měření fotoluminiscenčních emisních spekter ukázalo, že široká emise daná přechodem $5d \rightarrow 4f$ iontů Eu^{2+} pokrývá velmi širokou spektrální oblast od 550 nm ($\text{KLa}_{0,14}\text{Y}_{0,86}\text{S}_2$ pro excitaci 395 nm) až po 688 nm ($\text{K}_{0,88}\text{Na}_{0,12}\text{GdS}_2$ pro excitaci 455 nm). Laditelnost celkového emisního spektra můžeme demonstrovat na příkladu směsného $\text{K}(\text{La};\text{Y})\text{S}_2$ sulfidu, kdy ionty Eu^{2+} z matrice KYS_2 svítí při 532 nm, z matrice $\text{KLa}_{0,14}\text{Y}_{0,86}\text{S}_2$ při 547 nm, a konečně z matrice KLaS_2 při 608 nm. Z naměřených spekter se dále vypočítaly praktické parametry charakterizující kvalitu osvětlení, zejména barevná teplota a index podání barev. Pomocí těchto fosforů lze pokrýt široký interval barevných teplot od 1870 K pro $\text{K}_{0,95}\text{Na}_{0,05}\text{GdS}_2$ (pro excitaci 455 nm) až po 5570 K pro $\text{KLa}_{0,14}\text{Y}_{0,86}\text{S}_2$ (pro excitaci 455 nm). Pro určitá složení, např. $\text{K}_{0,92}\text{Na}_{0,08}\text{Lu}_{0,39}\text{Y}_{0,61}\text{S}_2$, index podání barev přesahuje hodnotu 90. Pro laditelné zdroje bílého světla je pak stěžejní možnost měnit celkové vyzářené spektrum změnou poměru dvou budících diod, z nichž jedna je v blízké oblasti UV (typicky kolem 395 nm) a druhá v oblasti modré (typicky kolem 455 nm). Ukázka spekter pro excitaci 395 nm a 455 nm pro jeden jediný fosfor, $\text{K}_{0,92}\text{Na}_{0,08}\text{Lu}_{0,39}\text{Y}_{0,61}\text{S}_2$, dopovaný ionty Eu^{2+} , je pak k vidění na obr. 58.

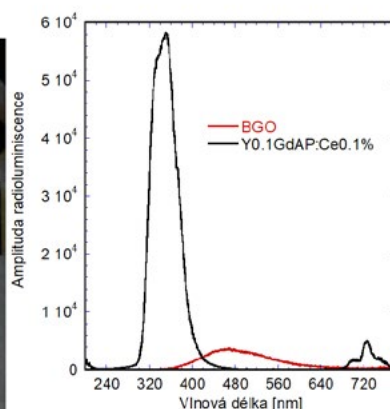
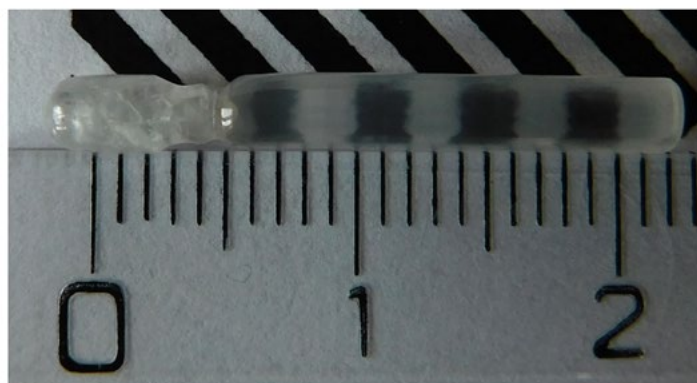
Ve skupině přípravy optických materiálů a termické analýzy byly ve spolupráci s Matematicko-fyzikální fakultou Univerzity Karlovy studovány krystaly na bázi monokrystalů vícesložkových hlinitých perovskitů. Dřívější výzkumy ukázaly, že hlinité perovskity vykazují některé zajímavé scintilační vlastnosti, zejména velmi dobrou proporcionalitu odezvy na energii dopadajícího záření, což může být přínosné pro různé důležité aplikace, jako například medicínské zobrazování nebo monitoring životního prostředí. Kvůli poměrně



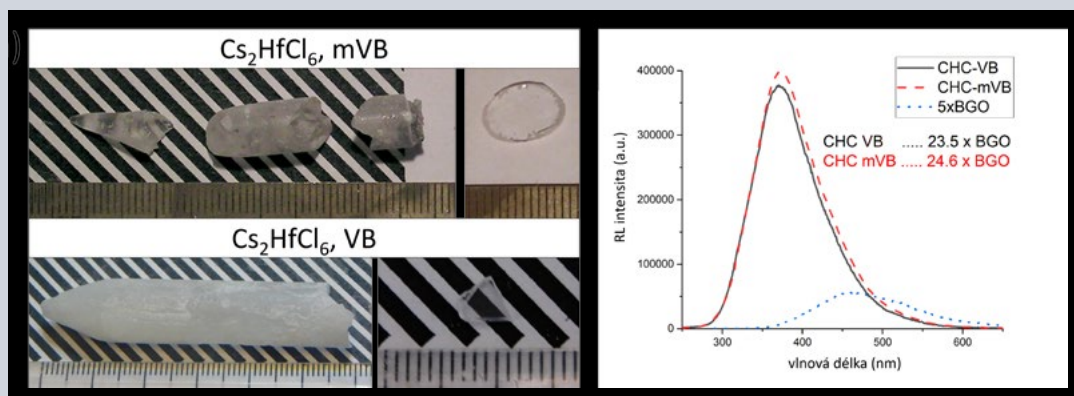
Obr. 57: Pohled podél osy a (vlevo) a osy c (vpravo) krystalové struktury $\text{Cs}_3\text{Cu}_2\text{I}_5$, kde modré mnohostěny reprezentují molekulární dimery $[\text{Cu}_2\text{I}_5]^3-$ a zelené, modré a fialové sféry pak reprezentují atomy Cs, Cu a I, v tomto pořadí [3].



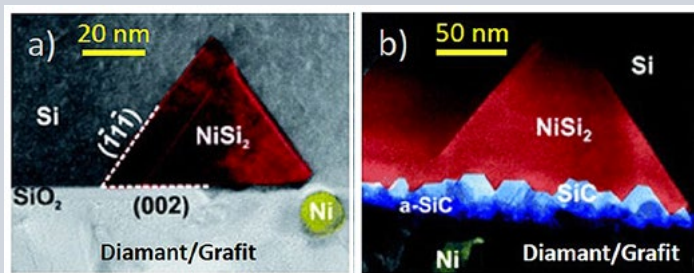
Obr. 58: Fotoluminiscenční emisní spektra fosforu $\text{K}_{0,92}\text{Na}_{0,08}\text{Lu}_{0,39}\text{Y}_{0,61}\text{S}_2$, dopovaného ionty Eu^{2+} pro excitaci 395 nm (vlevo) a 455 nm (vpravo). Barevná teplota spojená s emisním spektrem vlevo činí 4125 K, vpravo pak 2068 K, a index kvality podání barev spektra vlevo pak dosahuje hodnot 57, vpravo pak 92.



Obr. 59: Monokrystal $(Y_{0.1}Gd_{0.9})AlO_3:Ce$ 0.1% (vlevo) a jeho radioluminiscenční spektrum ve srovnání se standardem $Bi_4Ge_3O_{12}$ (BGO).



Obr. 60: Monokrystaly Cs_2HfCl_6 připravené metodami mVB a VB společně s jejich vzorky (a) a radioluminiscenční spektra obou krystalů porovnaná se standardem $Bi_4Ge_3O_{12}$ (BGO) (b).



Obr. 61: Transmisní elektronová mikroskopie vzorků po katalytickém působení Ni s diamantovou vrstvou: a) Detail pyramidálního $NiSi_2$ krystalu zformovaného v oblasti poškozené SiO_2 vrstvy a přiléhajícího k diamant/grafitové vrstvě. b) Detail zobrazující oblast diamant-grafit a Si podložku, přítomnost Ni nanočástic a $NiSi_2$ pyramid, a SiC rozhraní.

obtížnému růstu monokrystalů perovskitů byly dříve studovány jen některé z nich, jejichž vlastnosti ale nejsou ideální, a proto je snaha hledat nová složení s lepšími vlastnostmi. Velký potenciál mají směsné perovskity. Byl studován gadolinito-yttritohlinitý perovskit dopovaný ionty ceru $(Gd,Y)AlO_3:Ce$ ($GdYAP:Ce$) a vliv koncentrace Gd na luminiscenční a scintilační vlastnosti. Krystaly byly připraveny jednak jako monokrystaly metodou micro-pulling-down (obr. 59) a jako tenké vrstvy metodou epitaxy z kapalně fáze (liquid phase epitaxy, LPE). Byla zjištěna vysoká celková scintilační účinnost tohoto materiálového systému několikanásobně převyšující scintilační účinnost standardního scintilátoru $Bi_4Ge_3O_{12}$ (BGO). Podrobnější analýzy

provedené na vzorcích pěstovaných metodou LPE ukázaly přenos energie z podměřičky Gd na ionty Ce a výskyt pomalých složek ve scintilační odezvě při nižších koncentracích Gd. Zvyšování koncentrace Gd vedlo ke zrychlení scintilační odezvy, ale k významnému snížení scintilační účinnosti [6].

Dále se pokračovalo ve studiu halogenidových materiálů ze skupiny A_2MX_6 , kde $A = K, Rb, Cs$; $M = Hf, Zr$; a $X = Cl, Br, I$; především na bázi chloridu cesno-hafničitého (Cs_2HfCl_6) a přípravě jeho krystalů tzv. miniaturizovanou vertikální Bridgmanovou metodou (mVB). Tato metoda vychází ze standardní vertikální Bridgmanovy metody (VB), ale používá aparaturu micro-pulling-down, která byla k tomuto účelu upravena.



Metodou mVB byly připraveny krystaly Cs_2HfCl_6 o dostatečné kvalitě, viz obr. 60a. Měřením radioluminiscenčních (obr. 60), fotoluminiscenčních a absorpčních spekter byla potvrzená vhodná optická kvalita srovnatelná s krystaly připravenými VB metodou [7].

V rámci naší skupiny pokračovala spolupráce s laboratoří prof. A. Yoshikawy, Univerzita Tohoku, Sendai, Japonsko tematicky související se studiem materiálů ze skupiny A_2MX_6 . Krystal směsného chloridu bromidu cesno-hafničitého ($\text{Cs}_2\text{HfCl}_3\text{Br}_3$) byl připraven VB metodou. Výsledné složení krystalu analyzované spektroskopickými metodami se odlišovalo od výchozí stechiometrie a bylo $\text{Cs}_2\text{Hf}(\text{Cl}_{0.58}\text{Br}_{0.42})_6$. Substituce chlorového aniontu bromovým v mřížce $\text{Cs}_2\text{HfCl}_3\text{Br}_3$ vedla k posunu hlavního emisního pásu (při maximu 415 nm pro Cs_2HfCl_6) k delším vlnovým délkám 450 nm ($\text{Cs}_2\text{HfCl}_3\text{Br}_3$) a také ke zrychlení fotoluminiscenčního dosvitu [8]. Dále byl připraven krystal jodidu rubidno-hafničitého (Rb_2HfI_6) VB metodou pro scintilátory s emisí v červené oblasti. Tento krystal vykazoval širokou emisi při 725 nm a vysoký světelný výtěžek. Rb_2HfI_6 krystal byl úspěšně testován při detekci gama záření za použití 20 m dlouhého optického vlákna [9], vhodného pro radiační měření na větší vzdálenost, např. kvůli zdraví škodlivému prostředí z důvodu radiační havárie.

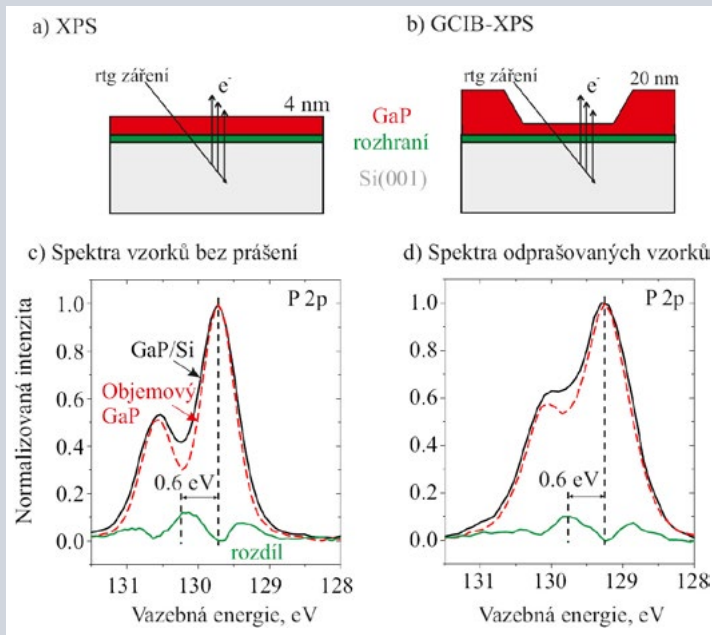
Ve skupině *diamantových vrstev a uhlíkových nanostruktur*, toho času nově pojmenované *skupina růstu diamantu* a začleněné do nového oddělení 36, jsme se intenzivně věnovali zejména: i) strukturování diamantových vrstev a nukleačních center použitím nanosférické litografie v kombinaci s reaktivním iontovým leptáním [10], ii) optimalizaci CVD technologie růstu intrinzičtím-diamantem pokrytých vodivých elektrod vhodných k efektivnější produkci ozonu [11], iii) k depozici borem dopovaných elektrod pro elektrochemickou detekci vybraných analytů [12] anebo k elektrochemickému čištění biologicky kontaminovaných vod [13], iv) pokračovali jsme ve studiu katalyticky indukované grafritizace povrchu diamantových vrstev [14], v) realizovali jsme a úspěšně demonstrovali funkčnost tranzistorů řízených elektrickým polem (FETs) biosenzorových prvků pracujících na principu buď vodíkem-ukončeného diamantového vodivostního kanálu k detekci HIV-1 Tat [15] anebo kanálu z grafénových vloček k detekci kortizolu [16], vi) využití chemicky upravených diamantových elektrod ve fotovoltaiice [17], vii) studiu ukládání elektrické energie využitím syntetických polymerních kompozitů PANI [18] anebo oxidových planárních vrstev [19], viii) k optické charakterizaci fotoluminiscence polykrystalických diamantových vrstev [20] a realizaci optických rezonančních prvků se zabudovanými SiV centry [21]. Uvedené tematicky byly řešeny v úzké spolupráci s odděleními 26 a 15 Fyzikálního ústavu a s externími pracovišti [Univerzita Perlis (Malajsie), Vídeňská univerzita (Rakousko), IMO-IMEC Hasselt (Belgie), FEI STU a centrum pro diagnostiku, Bratislava (Slovensko), Přírodovědecká fakulta UK, FEL ČVUT v Praze, a jiné]. Výsledky získané v rámci řešení uvedených tématik byly publikovány ve 12 odborných publikacích.

V rámci studia cílené transformace sp^3 hybridizované formy uhlíku (přítomné v diamantové struktuře) na sp^2 hybridizovanou formu uhlíku charakteristickou pro grafen jsme nejprve nanесли tenkou vrstvu nanokrystalického diamantu (NCD) na Si podložku pomocí mikrovlnné plazmatické depozice v plynné směsi metanu a vodíku (obr. 61). Povrch NCD vrstvy byl pokryt tenkou Ni vrstvou, která za zvýšené teploty zabezpečila katalytickou grafritizaci povrchu diamantu [14]. Bylo zjištěno, že Ni teplotně difunduje přednostně kolem hranic zrn diamantu, kde jejich povrch grafritizuje v kolmém směru růstu vůči diamantu ve vzájemném kovalentním propojení diamant-grafit. V průběhu procesu teplotní difuze došlo k průniku Ni přes SiO_2 vrstvu do objemu křemíku, kde proběhly tepelně stimulované chemické reakce vyúsťující ke zformování pyramidálních nanokrystalů NiSi_2 . V oblasti defektní SiO_2 mezivrstvy byl pozorován parazitní růst 3C-SiC struktur. Vzniklá komplexní morfologie a zformované heterostrukтуры vykazovaly specifickou teplotní závislost elektrické vodivosti kombinující více způsobů přenosu elektrického náboje s aktivačními energiemi 69 a 126 mV pro vzorky se SiO_2 anebo SiC izolační mezivrstvou. Pochopení cílené grafritizace povrchu diamantu teplotně stimulovanou katalytickou reakcí se jeví jako vysoce perspektivní technologický směr pro vytváření heterostruktur grafen-diamant vhodných k realizaci výkonových elektronických prvků, realizaci funkčních vrstev pro elektrochemii anebo (bio) senzoriku, případně je unikátní sp^3 - sp^2 uhlíkový kompozitní materiál vhodný pro studium foto-katalytických procesů.

Ve skupině *fotoelektronové spektroskopie* byla s využitím metody XPS (X-ray Photoelectron Spectroscopy) v roce 2020 charakterizována řada vzorků připravených jak v laboratořích našeho ústavu, tak i na pracovištích mimoústavních. Například ve výzkumném centru HILASE byly laserovým světlem ozařovány hliníkové slitiny, jejichž povrchy vykazovaly přechod od hydrofilních k ultra hydrofobním vlastnostem podle toho, jak se měnily parametry použitého laseru. Povrchy ozařených slitin jsme charakterizovali pomocí fotoelektronové spektroskopie. Naše výsledky částečně přispěly k sepsání článku uveřejněného v [22].

Vlastní výzkum naší skupiny se soustředil na studium povrchových vlastností materiálů spojených s přeměnou chemické, popřípadě světelné energie přímo na elektrickou energii. V článku [23] jsme publikovali výsledky, které se týkaly charakterizace anody pro palivový článek s kyselinou mravenčí. Aktivní vrstvy této anody byly připravené s pomocí magnetronového napařování.

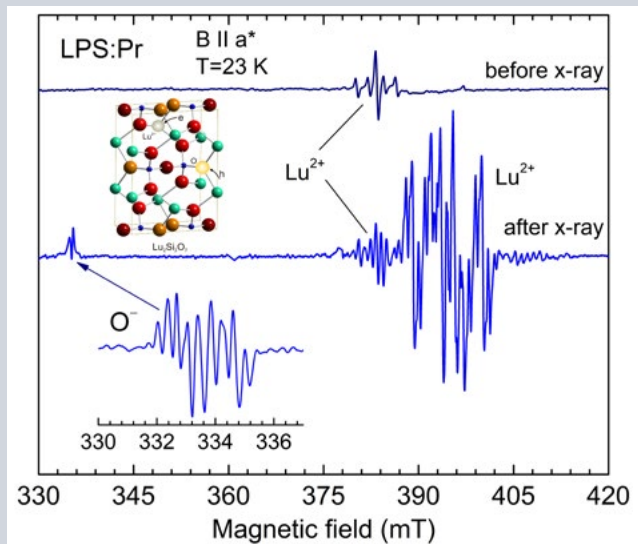
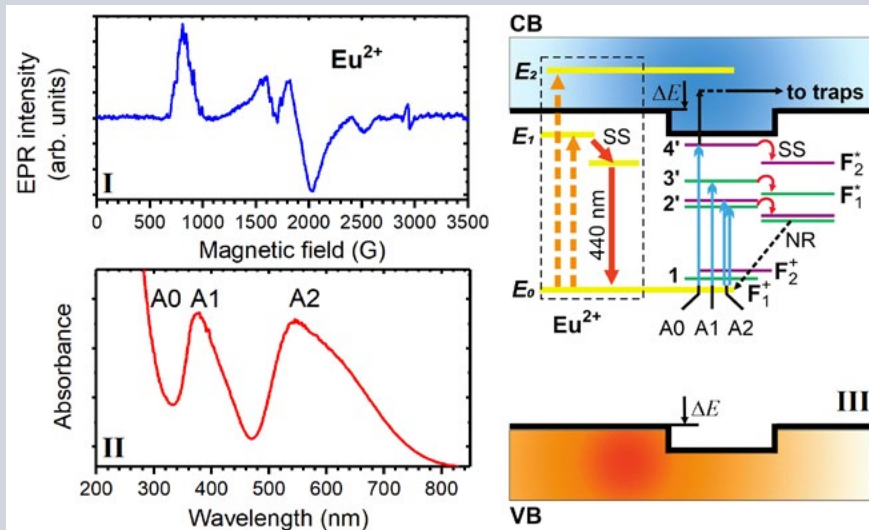
V přímé přeměně světelné energie na elektrickou s využitím solárních článků bylo v uplynulých letech dosaženo velmi dobrých výsledků. Přesto se hledají nové materiály a způsoby, jak tuto konverzi ještě více zefektivnit. Perspektivní z tohoto hlediska jsou tzv. tandemové solární články, ve kterých se integruje několik polovodičů typu III/V na křemíkový substrát. Výkonné tandemové prvky vyžadují vysoce kvalitní epitaxní vrstvy polovodičů III/V s nízkou hustotou de-



Obr. 62: Charakterizace heteropřechodu GaP/Si(001) pro a) tenkou (4 nm) a b) pro silnou (20 nm) vrstvu GaP. Pro měření silné vrstvy GaP byla použita metoda XPS spolu s odprašováním pomocí iontového svazku klastrových iontů Ar. Pro studium tenké GaP vrstvy byla aplikována pouze fotoelektronová spektroskopie. Rozdíl normalizovaných fotoelektronových spekter linií P 2p (zelená čára) heterostrukтуры (černá čára) a objemového GaP krystalu (červená čárkovaná čára) ukazuje příspěvek fotoelektronového signálu pouze od atomů fosforu tvořících rozhraní GaP/Si – c) tenká vrstva GaP, d) silná vrstva GaP. Tento příspěvek je v obou případech velmi podobný a jemu odpovídající linie je posunuta k vyšším vazebným energiím o 0,6 eV vzhledem k poloze hlavního extrému P 2p.

82

Obr. 64: Panel I – spektra elektronové paramagnetické rezonance změřená při pokojové teplotě ve vypěstované keramice $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}:\text{Eu}$ (1 at.%). Panel II – absorpční spektra měřená při pokojové teplotě ve vypěstované keramice $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}:\text{Eu}$ (1 at. %). Pozice specifických absorpčních pásů (označených jako A0, A1 a A2) produkovaných párovým centrem $\text{Eu}^{2+} - \text{F}^+$ (Vo^+). Panel III – schéma energetických úrovní páru $\text{Eu}^{2+} - \text{F}^+$ (Vo^+) včetně mechanismu absorpce s přenosem náboje (pásky A0, A1, A2) uvnitř $\text{Eu}^{2+} - \text{F}^+$ (Vo^+) ve vypěstované keramice $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}:\text{Eu}$ (1 at. %).



Obr. 63: Spektra EPR v monokrystalu $\text{Lu}_2\text{Si}_2\text{O}_7:\text{Ce}(\text{Pr})$ po rentgenovém záření.



fektů. Hustota defektů v těchto prvcích souvisí především s kvalitou připraveného rozhraní. Šířka rozhraní je ovlivněna jednak defekty vzniklými v důsledku napětí zapříčiněného různými velikostmi mřížkových konstant křemíku a III/V polovodičů a jednak rozdílnými vazbami na III-V/Si přechodu. Perspektivním polovodičem pro heteroepitaxi na Si je GaP, protože mřížkové konstanty křemíku a GaP jsou velmi podobné. Avšak navzdory velmi malého nesouladu mřížkových konstant obou materiálů, technologie přípravy ostrého, definovaného rozhraní GaP/Si není ještě plně zvládnutá, a proto vyžaduje další výzkum.

Rozhraní systému GaP/Si bylo studováno rentgenovou fotoelektronovou spektroskopií v kombinaci s odprašováním argonovými klastrovými ionty (XPS-GCIB). Samotná fotoelektronová spektroskopie byla aplikována při analýze rozhraní GaP/Si s velmi tenkou (4 nm) vrstvou GaP. Naproti tomu metoda XPS-GCIB byla použita při našem studiu heteropřechodu vzorků GaP/Si připravených se silnější (20 nm) vrstvou GaP [24]. Vrstvy GaP na Si substrátu byly připraveny v MOVPE reaktoru na spolupracujícím pracovišti v Německu. Princip měření a získané výsledky jsou ukázány na obr. 62. K dosažení rozhraní u vzorku s 20 nm vrstvou GaP byly použity ionty klastrů argonových atomů. Byly zjištěny optimální parametry iontového děla, při kterých bylo dosaženo rozhraní bez jeho zjevného porušení. Fotoelektronová spektra rozhraní GaP/odprašovaného vzorku byla srovnána s odpovídajícími referenčními spektry objemového krystalu GaP. Na základě tohoto srovnání byly odhaleny příspěvky rozhraní k intenzitě fotoelektronových linií fosforu a křemíku. Obdobné výsledky byly získány i pro vzorek s 4 nm vrstvou GaP analyzovanou pouze fotoelektronovou spektroskopií. Obdržená data ukazují, že metoda hloubkového profilování založená na kombinaci měření fotoelektronových spekter a leptání pomocí klastrových iontů s energií jednotek eV/atom má velký potenciál pro studium zabudovaných rozhraní heterostruktur včetně ohnutí pásu na heteropřechodu dvou polovodičů.

Aktivita skupiny magnetických rezonančních spektroskopii se soustředily na detailní výzkum přenosu energie a procesy zachytu náboje ve scintilačních materiálech, fyziku defektů v pevných látkách a také na studium magnetických vlastností feritů.

Záchyt elektronů a děr byl studován ve scintilačních monokrystalech $\text{Lu}_2\text{Si}_2\text{O}_7$ dopovaných cerem a praseodymem (LPS:Ce a LPS:Pr) metodou elektronové paramagnetické rezonance (EPR). Podrobná EPR měření monokrystalů LPS, ozářených Rentgenovým zářením (X-ray), odhalily, že zářením generované díry jsou zachyceny převážně na iontech kyslíkové mřížky a vytvářejí O^- centra. X-ray záření dále vytváří centra zachytu elektronu – pravděpodobně ionty Lu^{2+} v regulární mřížkové poloze, v jejichž nejbližším okolí je nějaký defekt, například kyslíková vakance, a příměsové Ir^{3+} ionty. Odpovídající EPR spektra jsou uvedena na obr. 63 [25].

Studovali jsme F^+ centra – elektrony zachycené na vakanci – v krystalech $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ (YAG) s deficitem kyslí-

ku pomocí pokročilých EPR technik, optické absorpce a dielektrické spektroskopie. EPR byla měřena v širokém rozsahu teplot 5–450 K a při frekvencích 9,4–350 GHz jak klasickou EPR na konstantní frekvenci, tak i pulzní EPR technikou. Zjistili jsme, že teplotní chování elektronu na F^+ centru v YAG je velmi podobné chování elektronu na donorovém centru v polovodiči. Naše poznatky byly podpořeny i tak zvanou Maxwell-Wagner dielektrickou relaxací s obrovskou dielektrickou konstantou na nízkých frekvencích [26].

Monokrystal PbMoO_4 jako perspektivní detektor pro experiment bezneutrinového dvojitého beta rozpadu byl pěstován Czochralského technikou z vysoce čistých surovin. Jevy zachytu náboje a přenosu energie v tomto krystalu byly studovány korelovanými experimenty EPR a tepelně stimulovanou luminiscencí (TSL). EPR odhalilo několik příměsových iontů, které se však neúčastní procesů zachytu náboje. Byla potvrzena tvorba samozáchytného (self-trapped) elektronu a $(\text{MoO}_4)^{3-}\text{-V}_{\text{Pb}}$ center zachytu elektronů pod vlivem laserového záření. Extrémní hodnota TSL při 41 K byla přičítána uvolnění samozáchytných elektronů, kdežto maximum při 53 K se vytváří procesy spojenými s opětovným zachytem již uvolněného elektronu z pastí. Byly stanoveny hloubky pastí a frekvenční faktory pro maxima při 90 K a 105 K. Tyto extrémní hodnoty byly připsány rozpadu $(\text{MoO}_4)^{3-}\text{-V}_{\text{Pb}}$ center [27].

Pomocí EPR jsme potvrdili stabilizaci iontů Eu^{2+} v práškových i keramických vzorcích $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ na pozici Y^{3+} . I když v práškovém $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ ionty Eu^{2+} intenzivně svítí, v objemové keramice je jejich emise blokována, což jsme vysvětlili tvorbou párových center $\text{Eu}^{2+} - \text{F}^+(\text{V}_{\text{O}}^+)$, na kterých dochází k nezářivé relaxaci (obr. 64). Tato centra se při použití stávajících technologií přípravy keramiky nedaří odstranit. Keramický luminofor tohoto typu je přitom perspektivní materiál pro pevnolátkové zdroje světla [28].

Studie feromagnetické rezonance (FMR) v Z-typu hexaferitu (Z-type hexaferrite) prováděné okolo 9 GHz s magnetickým polem do 10 kOe potvrdily magnetickou anomálii poblíž 500 K, kde se magnetická struktura mění z kónické na kolíneární. FMR spektra jsou laditelná pomocí externích stejnosměrných a střídavých elektrických polí (100 kHz), což nám umožnilo určit hodnotu magnetoelektrického koeficientu $\alpha_E = 390 \text{ ps/m}$ při 170 K [29].

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

V rámci spolupráce s Centrem pokročilé fotovoltaiky na Fakultě elektrotechnické ČVUT v Praze jsme ve Skupině optické spektroskopie tenkých vrstev úspěšně pokračovali ve výzkumu hybridních perovskitů pro solární články a optimalizací velikosti zrn jsme zvýšili účinnost na 18 % pro základní materiál $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ [30]. Velikost zrn tohoto materiálu byla kontrolována přidáváním chloridu methylnammonového (MACl) do vrstvy, která při následném vystavení parám metylaminu (CH_3NH_2) rekrystalizuje a vytváří přechodnou mezifázi $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3(\text{MACl}) \cdot x\text{CH}_3\text{NH}_2$ která se po vytékání

CH_3NH_2 a MACl transformuje do čistého $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$, viz obr. 65. Optimalizací množství přidaného MACl lze prodloužit dobu života fotogenerovaných nosičů měřenou fotoluminiscencí a tím i účinnost výsledného solárního článku.

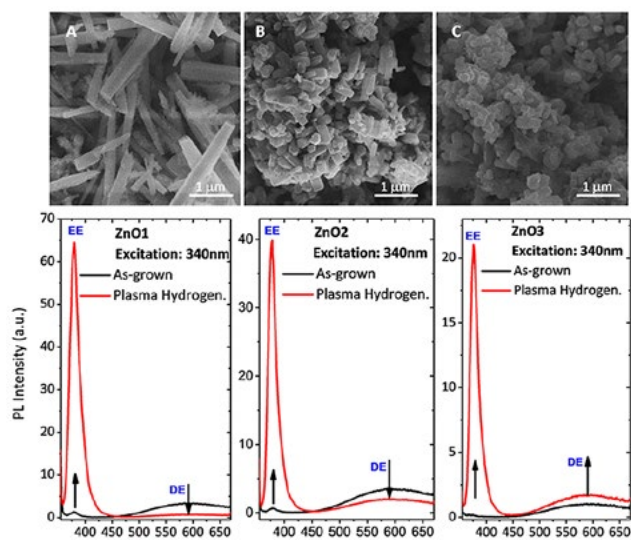
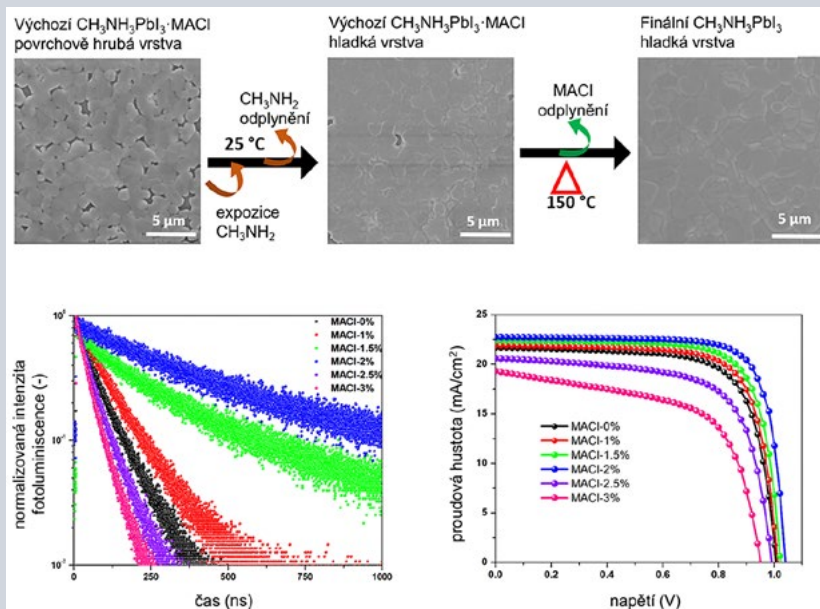
V rámci spolupráce s Fakultou elektrotechnickou ČVUT v Praze a Department of Applied Physics, National Pingtung University, Taiwan, jsme řešili druhým rokem mezinárodní projekt Grantové agentury České republiky 19-02858J (Z. Remeš, 2019–21) „Přenos náboje a mikrobiologické interakce hybridních nanostruktur oxidů kovů“ a publikovali odborné příspěvky „Vliv stáří prekursoru na poruchové stavy nanosloupků ZnO “ [31] a „Řízení optické absorpce a fotoproudu pomocí magnetického pole v nanodrátích C / ZnO s přenosem náboje“ [32]. Cílem první práce bylo objasnit vliv stáří prekursoru a post-depozici-

ho ošetření na poruchové stavy a fotoluminiscenci hexagonálně tvarovaných nanosloupků ZnO pěstovaných hydrotermálním procesem, viz obr. 66. V druhé publikaci jsme prokázali, že velké negativní a pozitivní magnetooptické absorpce (MOA) a související magneto-fotoproudové efekty (MPC) lze kontrolovat v nanodrátích $\text{a-C} / \text{ZnO}$ řízením poměru sp^2 a sp^3 vazeb v amorfním uhlíku na hranicích ZnO krystalu.

LITERATURA

- [1] A. Krasnikov, E. Mihokova, M. Nikl, S. Zazubovich, and Ya. Zhydashkevsky, Luminescence spectroscopy and origin of luminescence centers in Bi-doped materials, *Crystals* **10** (2020) 208–261.
doi.org/10.3390/cryst10030208

Obr. 65: Schematické znázornění procesu rekrytalizace materiálu $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3 \cdot (\text{MACl})$ při vystavení parám CH_3NH_2 a vzniku čistého $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$. Vliv koncentrace MACl na dobu života fotoluminiscence a na účinnost solárního článku.



Obr. 66: Fotografie ze skenovacího elektronového mikroskopu (SEM) a fotoluminiscenční (PL) spektra ZnO nanostruktur (ZnO-1,2,3) před (černá) a po plazmatické hydrogenaci (červená). Relativní intenzita PL spektra byla měřena při pokojové teplotě v závislosti na vlnové délce v nm. EE – emise excitonu, DE – emise související s defekty. Změna intenzity vyzařování je označena šipkami.



- [2] Z. Hu, X. Chen, X. Liu, X. Li, T. Xie, Y. Shi, H. Kou, Y. Pan, E. Mihóková, M. Nikl, and J. Li, Fabrication and scintillation properties of $\text{Pr:Lu}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ transparent ceramics from co-precipitated nanopowders, *J. Alloys and Compounds*, **18** (2020) 152885. doi.org/10.1016/j.jallcom.2019.152885
- [3] S. Cheng, A. Beitlerova, R. Kucerkova, M. Nikl, G. Ren, and Y. Wu, Zero-dimensional $\text{Cs}_3\text{Cu}_2\text{I}_5$ perovskite single crystal as sensitive X-ray and g-ray scintillator, *Phys. stat. sol. RRL* **14** (2020) 2000374. doi.org/10.1002/pssr.202000374
- [4] V. Jarý, A. Hospodková, T. Hubáček, F. Hájek, K. Blažek, and M. Nikl, Optical Properties of InGaN/GaN Multiple Quantum Wells Structures Grown on Different Substrates, *IEEE Trans. Nucl. Science* **67** (2020) 974–977. doi.org/10.1109/TNS.2020.2985666
- [5] V. Jary, L. Havlak, J. Barta, M. Buryi, M. Rejman, M. Pokorný, Ch. Dujardin, G. Ledoux, and M. Nikl, Variability of Eu^{2+} Emission Features in Multicomponent Alkali-Metal-Rare-Earth Sulfides, *ECS J. Solid State Sci. Technol.* **9** (2020) 016007. doi.org/10.1149/2.0112001JSS
- [6] M. Kucera, M. Rathaiah, A. Beitlerova, R. Kucerkova, and M. Nikl, Scintillation properties and energy transfer in $(\text{GdY})\text{AlO}_3:\text{Ce}^{3+}$ perovskites with high Gd content, *IEEE Trans. Nucl. Science* **67** (2020) 1049–1054. <https://doi.org/10.1109/TNS.2020.2976741>
- [7] V. Vanecek, R. Kral, J. Paterek, V. Babin, V. Jary, J. Hybler, S. Kodama, S. Kurosawa, Y. Yokota, A. Yoshikawa, and M. Nikl, Modification of micro-pulling-down apparatus for crystal growth of cesium hafnium chloride by Bridgman method, *J. Cryst. Growth* **533** (2020) 125479. doi.org/10.1016/j.jcrysgro.2020.125479
- [8] S. Kodama, S. Kurosawa, K. Fujii, T. Murakami, M. Yashima, J. Pejchal, R. Král, M. Nikl, A. Yamaji, M. Yoshino, S. Toyoda, H. Sato, Y. Ohashi, K. Kamada, Y. Yokota, and A. Yoshikawa, Single-crystal growth, structure and luminescence properties of $\text{Cs}_2\text{HfCl}_3\text{Br}_3$, *Optical Materials* **106** (2020) 109942. doi.org/10.1016/j.optmat.2020.109942
- [9] S. Kodama, S. Kurosawa, Y. Morishita, H. Usami, T. Torii, M. Hayashi, M. Sasano, T. Azuma, H. Tanaka, V. Kochurikhin, J. Pejchal, R. Král, M. Yoshino, A. Yamaji, S. Toyoda, H. Sato, Y. Ohashi, Y. Yokota, K. Kamada, and M. Nikl, Growth and scintillation properties of a new red-emitting scintillator Rb_2HfI_6 for the fiber-reading radiation monitor, *IEEE Trans. Nucl. Science* **67** (2020) 1055–1062. doi.org/10.1109/TNS.2020.2976695
- [10] M. Domonkos, P. Demo, and A. Kromka, Nanosphere lithography for structuring polycrystalline diamond films, *Crystals* **10** (2020) 14. doi.org/10.3390/cryst10020118
- [11] S. Pekárek, O. Babchenko, J. Mikeš, and A. Kromka, Effect of a Diamond Layer on the Active Electrode on the Ozone Generation of the Dielectric Barrier Discharge in Air, *J. Phys. D: Appl. Phys.* **53** (2020) 275203. doi.org/10.1088/1361-6463/ab831f
- [12] V. Rehacek, I. Hotovy, M. Marton, M. Mikolasek, P. Michniak, A. Vincze, A. Kromka, and M. Vojs, Voltammetric characterization of boron-doped diamond electrodes for electroanalytical applications, *Journal of Electroanalytical Chemistry* **114020** (2020) 114020. doi.org/10.1016/j.jelechem.2020.114020
- [13] T. Mackuľak, E. Medvecká, A. Vojs Staňová, P. Brandeburová, R. Grabic, O. Golovko, M. Marton, I. Bodík, A. Medvedová, M. Gál, M. Planý, A. Kromka, V. Špalková, A. Škulcová, I. Horáková, and M. Vojs, Boron doped diamond electrode – the elimination of psychoactive drugs and resistant bacteria from wastewater, *Vacuum* **171** (2020) 108957. doi.org/10.1016/j.vacuum.2019.108957
- [14] S. Tulic, T. Waitz; O. Romanyuk, M. Varga, M. Čaplovičová, G. Habler, V. Vretenár, M. Kotlár, A. Kromka, B. Rezek, and V. Skakalova, Ni-mediated reactions in nanocrystalline diamond on Si substrate: the role of the oxide barrier, *RSC Advances* **10** (2020), 8224–8232. doi.org/10.1039/d0ra00809e
- [15] N. A. Ahmad, R. A. Rahim, B. Rezek, A. Kromka, N. S. Ismail, S. C. B. Gopinath, T. Izak, V. Prochazka, F. N. M. Faudzi, A. S. Z. Abidin, and N. N. M. Maidin, Nanocrystalline Diamond Electrolyte-gates in Field Effect Transistor for a Prolific Aptasensing HIV-1 Tat on Hydrogen-terminated Surface, *International Journal of Nanoelectronics and Materials* **13** (2020) 295–306.
- [16] A. S. Z. Abidin, R. A. Rahim, S. C.B. Gopinath, N. N. M. Maidin, N. A. Ahmad, F. N. M. Faudzi, C. H. Voon, B. Rezek, and A. Kromka, Immuno-Probed Graphene Nanoplatelets on Electrolyte-Gated Field Effect Transistor for Stable Cortisol Quantification in Serum, *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers* **117** (2020) 10–18. doi.org/10.1016/j.jtice.2020.12.008
- [17] J. Raymakers, A. Artemenko, F. Verstraeten, H. Krysova, J. Cermak, S. S Nicley, D. Lopez-Carballeira, A. Kromka, K. Haenen, L. Kavan, W. Maes, and B. Rezek, Photogenerated charge collection on diamond electrodes with covalently linked chromophore monolayers, *Electrochimica Acta* **337** (2020) 135762. doi.org/10.1016/j.electacta.2020.135762
- [18] O. Kohut, K. Dragounová, E. Ukraintsev, O. Szabó, A. Kromka, and Elena Tomšík, Non-conducting polyaniline nanofibrils and their physico-chemical behavior, *Vacuum* **171** (2020)

108955.
doi.org/10.1016/j.vacuum.2019.108955
- [19] F. J. Maier, M. Schneider, J. Schratzenholzer, W. Artner, K. Hradil, A. Artemenko, A. Kromka, and U. Schmid, Flexoelectricity in Polycrystalline TiO_2 Thin Films, *Acta Materialia* **190** (2020), 124–129.
doi.org/10.1016/j.actamat.2020.03.018
- [20] M. Zukerstein, F. Trojánek, P. Koutenský, M. Varga, A. Kromka, M. Kozák, and P. Malý, Sub-picosecond electron dynamics in polycrystalline diamond films, *Diamond and Related Materials* **108** (2020) 107935.
doi.org/10.1016/j.diamond.2020.107935
- [21] L. Ondič, M. Varga, J. Fait, K. Hruska, V. Jurka, A. Kromka, J. Manak, P. Kapusta, and J. Nováková, Photonic crystal cavity-enhanced emission from silicon vacancy centers in polycrystalline diamond achieved without postfabrication fine-tuning, *Nanoscale* **12** (2020) 13055–13063.
doi.org/10.1039/C9NR10580H
- [22] P. Hauschwitz, R. Jagdheesh, D. Rostohar, J. Brajer, J. Kopeček, P. Jiříček, J. Houdková, and T. Mocek, Hydrophilic to ultrahydrophobic transition of Al 7075 by affordable ns fiber laser and vacuum processing, *Applied Surface Science* **505** (2020) 144523 (7 pages).
doi.org/10.1016/j.apsusc.2019.144523
- [23] I. Bieloshapka, P. Jiricek, Y. Yakovlev, K. Hruska, E. Tomsik, J. Houdkova, A. Malolepszy, M. Mazurkiewicz, Y. Lobko, and B. Lesiak, Thermal and chemical activation methods applied to DFAFC anodes prepared by magnetron sputtering, *Int. J. Hydrog. Energy* **45** (2020) 14133–14144.
doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.03.116
- [24] O. Romanyuk, I. Gordeev, A. Paszuk, O. Supplie, J.P. Stoeckmann, J. Houdkova, E. Ukraintsev, I. Bartoš, P. Jiříček, and T. Hannappel, GaP/Si(001) interface study by XPS in combination with Ar gas cluster ion beam sputtering, *Appl. Surf. Sci.* **514** (2020) 145903 (8 pages).
doi.org/10.1016/j.apsusc.2020.145903
- [25] V. Laguta, M. Buryi, Y. Wu, G. Ren, and M. Nikl, Electron and Hole Trapping in Ce^{3+} - and Pr^{3+} -Doped Lutetium Pyrosilicate Scintillator Crystals Studied by Electron Paramagnetic Resonance, *Phys. Rev. Appl.* **13** (2020) 044060 (9 pages).
doi.org/10.1103/PhysRevApplied.13.044060
- [26] Laguta, M. Buryi, P. Arhipov, O. Sidletskiy, O. Laguta, M. G. Brik, and M. Nikl, Oxygen-vacancy donor-electron center in $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ garnet crystals: Electron paramagnetic resonance and dielectric spectroscopy study, *Phys. Rev. B* **101** (2020) 024106.
doi.org/10.1103/PhysRevB.101.024106
- [27] M. Buryi, V. Laguta, S. Nagorny, M. Fasoli, F. Cova, A. Vedda, M. B. Kosmyna, S. Pirro, and A. N. Shekhovtsov, Luminescence and charge trapping features of $^{\text{arch}}\text{PbMoO}_4$ lead molybdate crystals grown from archaeological lead, *J. Lumin.* **224** (2020) 117305 (9 pages).
doi.org/10.1016/j.jlumin.2020.117305
- [28] M. Buryi, L. Havlák, V. Jarý, J. Bárta, V. Laguta, A. Beitlerová, J. Li, X. Chen, Y. Yuan, Q. Liu, Y. Pan, and M. Nikl, Specific absorption in $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}:\text{Eu}$ ceramics and the role of stable Eu^{2+} in energy transfer processes, *J. Mater. Chem. C* **8** (2020) 8823–8839.
doi.org/10.1039/D0TC01957G
- [29] V. Laguta, M. Kempa, V. Bovtun, J. Buršík, K. Zhai, Y. Sun, and S. Kamba, Magnetoelectric coupling in multiferroic Z-type hexaferrite revealed by electric-field-modulated magnetic resonance studies, *J. Mater. Sci.* **55** (2020) 7624–7633.
doi.org/10.1007/s10853-020-04563-0
- [30] A. Peter Amalathas, L. Landová, Z. Hájková, L. Horák, M. Ledinsky, and J. Holovský, Controlled growth of large grains in $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ perovskite films mediated by an intermediate liquid phase without an antisolvent for efficient solar cells, *ACS Appl. Energy Mater.* **3** (2020) 12484–12493.
doi.org/10.1021/acsaem.0c02441
- [31] M. Buryi, V. Babin, Y.-Y. Chang, Z. Remeš, J. Mičová, and D. Šimek, Influence of precursor age on defect states in ZnO nanorods, *Appl. Surf. Sci.* **525** (2020) 146448 (8 pages).
doi.org/10.1016/j.apsusc.2020.146448
- [32] Jun-Xiao Lin, Guan-Xun Chen, Yen-Fa Liao, Tzu-Chun Hsu, Wei-Jhong Chen, Kuo-Yi Hung, Ting-Yi Huang, JiannShing Lee, Z. Remeš, and Hua-Shu Hsu, Manipulated optical absorption and accompanied photocurrent using magnetic field in charger transfer engineered C/ZnO nanowires, *Glob. Chall.* **4** (2020) 2000025 (6 pages).
doi.org/10.1002/gch2.202000025

2.4. Sekce optiky v roce 2020



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 intenzivních optických polí. V oblasti zpracování kvantové informace jsme se dále zabývali problematikou kvantové provázanosti včetně multipartitních stavů. 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, nízkoteplotním plazmatem, a také pokročilým výzkumem biorozhraní.

V roce 2020 byl ukončen projekt SAFMAT CZ.02.1.01/0.0/0.0/16_013/0001406 financovaný z OP VVV. V rámci projektu bylo ve spolupráci skupin z FZÚ a vědeckých pracovišť zaměřených na výzkum funkčních materiálů prezentováno celkem 60 publikací v impaktovaných časopisech a vznikla synergická spolupráce vědců napříč obory. 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 a v neposlední řadě organické materiály a biomateriály. V rámci spolupráce s biologickými a lékařskými

pracovišti jsme se snažili o přenos znalostí a předání fyzikálního pohledu na některé problémy spojené s výzkumem buněk, vakcín a kryoprezervace. V roce 2020 se na vědecké práci v rámci projektu podíleli vědečtí pracovníci z pěti oddělení FZÚ (Oddělení analýzy funkčních materiálů, Oddělení optických a biofyzikálních systémů, Oddělení nízkoteplotního plazmatu, Oddělení funkčních materiálů, a Oddělení optických materiálů). Laboratoře infrastruktury SAFMAT byly dobudovány a v současné době jsou v provozu otevřených laboratoří poskytujících špičkový výzkum v oblasti charakterizace materiálů dostupný v rámci Fyzikálního ústavu.

Rozvoj technologií, know-how a nových výzkumných vývojových směrů se promítl i v rámci Národního centra kompetence MATCA (NCK MATCA), které pokračuje v nastaveném směru propojování průmyslových partnerů a akademických institucí a přináší řešení pro nové směry vývoje a výroby. Úspěšnými oblastmi realizace jsou aditivní výroba, plazmatické a laserové technologie a nové materiály, jež posouvají oblasti výrobních technologií do jiné dimenze. V roce 2020 byl mimo jiné v NCK MATCA (www.matca.cz) založen dílčí projekt na pomoc v boji s onemocněním covid-19 a úspěšně se zaměřil na několik oblastí od využití biosenzoriky pro testování přítomnosti viru SARS-COV-2, přes progresivní dezinfekci ochranných pomůcek a filtrů ozonem až po úpravu povrchů novými vysoce antivirálními a antibakteriálními povlaky. Dobré výsledky centra vedly k zájmu nových partnerů o zapojení se do stávajících projektů a přípravě projektů nových.

2.4.1. Kvantová a nelineární optika

Kvantové vlastnosti slabých polí fotonových párů a zejména jejich kvantové korelace jsme studovali jak teoreticky, tak i experimentálně, obr. 67. Pozornost jsme zaměřili na neklasické nerovnosti obsahující pravděpodobnosti fotonových rozdělení, tzv. svědky neklasičnosti. Ukázali jsme, že existuje těsná korelace mezi nerovnostmi pro momenty intenzit optických polí a nerovnostmi pro pravděpodobnosti [1]. Analýzu neklasičnosti jednodimenzionálních optických polí založenou na analogických nerovnostech jsme publikovali v práci [2]. Experimentálně jsme získali také dvoudimenzionální optická pole vykazující anti-korelace ve fluktuacích počtu fotonů [3]. K tomuto účelu jsme použili dva typy slabých párových polí a společnou detekci sloužící k výběru požadovaného stavu. Pozornost jsme také zaměřili na kvantifikaci neklasičnosti a kvantových korelací u polí obsahujících výraznější množství šumu [4]. Navrhli jsme a experimentálně srovnali několik veličin vhodných pro tuto kvantifikaci. V experimentu jsme využili slabé, téměř bezšumové párové pole, do kterého jsme postupně vkládali šum s rostoucí intenzitou a průběžně měřili kvantové korelace a neklasičnost. Také jsme se zabývali efekty vyčerpávání čerpacího pole pozorovanými ve spektrálních a prostorových profilech velmi intenzivních párových polí. Ukázali jsme, že jak ve spektrálním profilu, tak i v radiálním prostorovém profilu dochází za vhodných podmínek k šíření koherenčních vln při šíření podél krystalu. Existenci těchto vln jsme experimentálně potvrdili v rozsáhlé studii dynamiky koherenčních vlastností intenzivních párových polí [5].



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

V oblasti zpracování kvantové informace jsme se věnovali tomu, jak lze praktickým způsobem diagnostikovat zařízení pro překlopení kvantové provázanosti (entanglement swapping) [6]. Nelineární svědek kvantové provázanosti se dá úspěšně modifikovat tak, aby poskytoval informace o nedokonalostech v reálných kvantově komunikačních zařízeních. Takto lze velmi rychle odhalit chyby v kvantově komunikačních linkách, zvláště pak těch založených na teleportaci. Další práce se věnovala studiu měření slabých hodnot [7]. Jedná se o koncept vycházející z představy nedestruktivního měření kvantového stavu s využitím slabé interakce tohoto stavu s kvantovým měřidlem. Teoreticky ukazujeme, že existuje formální ekvivalence mezi známým postupem využívajícím slabou interakci a dvěma dalšími postupy, které slabou interakci nevyžadují: (a) málo citlivé kvantové měřidlo a (b) silná interakce následovaná kvantovým mazáním. Naše teoretické závěry experimentálně ověřujeme na jednotné platformě hradla pro laditelnou kontrolovanou změnu fáze.

LITERATURA

- [1] J. Peřina Jr., O. Haderka, V. Michálek, Nonclassicality and entanglement criteria for bipartite optical fields characterized by quadratic detectors. II. Criteria based on probabilities, *Phys. Rev. A* **102** (2020) 043713. doi.org/10.1103/PhysRevA.102.043713
- [2] J. Peřina Jr., V. Michálek, O. Haderka, Nonclassicality of optical fields as observed in photocount and photon-number distributions, *Opt. Express* **28** (2020) 32620–32631. doi.org/10.1364/OE.405548
- [3] J. Peřina Jr., V. Michálek, R. Machulka, O. Haderka, Two-beam light with simultaneous quantum anti-correlations in photon-number fluctuations and sub-Poissonian statistics, *zasláno k publikaci*.
- [4] V. Michálek, J. Peřina Jr., O. Haderka, Experimental Quantification of the Entanglement of Noisy Twin Beams, *Phys. Rev Appl.* **14** (2020) 024003. doi.org/10.1103/PhysRevApplied.14.024003
- [5] R. Machulka, J. Peřina Jr., O. Haderka, A. Allevi, M. Bondani, Waves in intensity coherence of evolving intense twin beams, *Phys. Rev. A* **101** (2020) 063841. doi.org/10.1103/PhysRevA.101.063841
- [6] V. Trávníček, K. Bartkiewicz, A. Černocho, K. Lemr, Experimental diagnostics of entanglement swapping by a collective entanglement test, *Phys. Rev. Applied* **14** (2020) 064071. doi.org/10.1103/PhysRevApplied.14.064071
- [7] J. Roik, K. Lemr, A. Černocho, K. Bartkiewicz, Interplay between strong and weak measurement: comparison of three experimental approaches to weak value estimation, *J. Opt.* **22** (2020) 065202. doi.org/10.1088/2040-8986/ab8a7a

2.4.2 Optická interferometrie a zpracování obrazu

V roce 2020 pokračovalo řešení problematiky statistických vlastností struktur optických koherenčních zrnitostí, které vznikají při zobrazení drsného povrchu pomocí telecentrického zobrazovacího systému. V rámci této aktivity byly zkoumány variance optické amplitudy v poli koherenční zrnitosti v obrazové rovině duálního optického systému – makroskopu. Dílčí závěry byly prezentovány v publikaci [8]. Byl završen úspěšný výzkum s tandemovým interferometrem složeným z vláknového a objemového Michelsonova interferometru, který slouží jako přesný optický 3D senzor [9]. Dále byl dokončen cílený aplikovaný výzkum studující metodu pro detekci dekorativních vad na tělesech s rotační symetrií. Metoda využívá rotační symetrie v zaznamenaném obrazu sledovaného tělesa a pomocí momentové charakteristiky prvního řádu identifikuje body obrazu tělesa narušující tuto symetrii. Funkčnost metody je ověřena jak na rovinných objektech s 4, 5 a 6-četnou rotační osou symetrie s uměle vytvořenými dekorativními vadami, tak na reálných tělesech repre-

zentovaných litými disky kola osobního automobilu [10]. Paralelně jsou vyvíjeny metody pro detekci dekorativních vad na transparentních tělesech s nerovinným povrchem, s potenciálním možným uplatněním v oboru výrobní kontroly automobilových reflektorů.

LITERATURA

- [8] P. Pavlíček P, H. Hiklová, Statistical properties of speckle pattern generated by two-lens imaging systém, zasláno do Measurement in Science and Technology.
- [9] P. Pavlíček, E. Mikeska, White-light interferometer without mechanical scanning, *Opt. Las. Eng.* **124** (2020) UNSP105800. doi.org/10.1016/j.optlaseng.2019.105800
- [10] P. Šmíd, V. Havránek, G. Ivanov, Detection of visual defects on rotationally symmetric objects, *J. Opt. Soc. Am. A* **37** (2020) 1583–1594. doi.org/10.1364/JOSAA.394091

2.4.3 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 2020 pokračovala spolupráce s Karlsruher Institut für Technologie a Bergische Universität Wuppertal na vývoji nové metody absolutní kalibrace fluorescenčních detektorů (FD). Zaměřili jsme se zejména na optimalizaci uniformního světelného zdroje pro provádění této kalibrace. Jako homogenní plošný zdroj záření v blízké UV oblasti světelného spektra byla navržena integrační koule. Značné úsilí bylo věnováno optimalizaci homogenity vyzařování takového zdroje [11]. Vedle toho pokračovala práce na vývoji optického kolimátoru pro testování vlivu kvality a čistoty povrchu optických ploch jednotlivých částí (například zrcadel) fluorescenčního detektoru na jeho rozptylovou funkci bodu (PSF, Point Spread Function) na kamerách teleskopů observatoře PAO.

V rámci kolaborace FAST pokračoval vývoj nové generace ultra vysokoenergetického detektoru kosmického záření, společně iniciovaný Společnou laboratoří optiky a University of Chicago. Čtyři již instalované prototypové detektory FAST jsou jedinou realizovanou aparaturou zaměřenou na detekci kosmického záření, která měří současně na obou polokoulích (pátý prototyp byl během roku 2020 připraven k instalaci). Pokračujeme v jejich neustálém zdokonalování v mnoha ohledech, např. systém zajišťující monitorování vybraných parametrů prostředí teleskopů v průběhu měření včetně záložního fotovoltaického systému napájení,

online systém pro ovládání teleskopů založený na webových technologiích, databázový systém shromažďující všechny důležité informace o teleskopech od provozních informací až po data z následné analýzy. Probíhají poměrně rozsáhlé práce na zdokonalení kamer pro monitoring kvality atmosféry (FASCam) [12] a na vývoji elektroniky pro monitorování prostředí zázemí teleskopů. Značné úsilí je věnováno různým způsobům kalibrace detektorů. Probíhají také simulační práce v oblasti optického systému detektoru, který by mohly vyústit ke zjednodušení technologie výroby. Pokud jde o vlastní činnost již instalovaných prototypů, analyzovali jsme spršky záření naměřené v letech 2019 a 2020 a výsledky byly prezentovány na kolaboračních setkáních a částečně v publikaci [13].

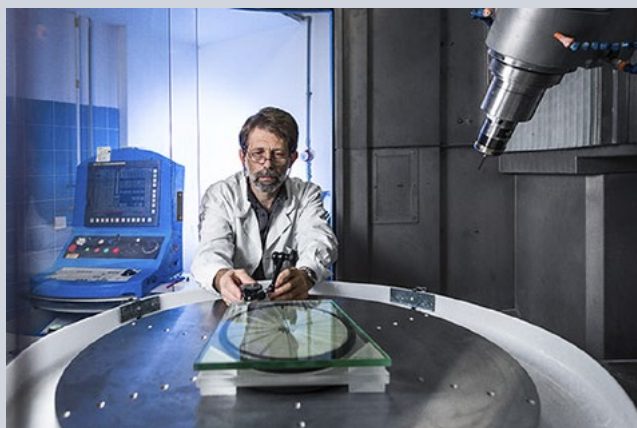
V rámci kolaborace CTA probíhají práce na instalaci dvou prototypů teleskopů SST-1M na observatoři Astronomického ústavu AV ČR v Ondřejově. V souvislosti s tím probíhá celá řada simulačních (simulace spršek částic a jejich analýzy, analýza potenciálního pozorovacího času, studie rizik koncentrace slunečního záření) i technologických prací (depozice reflexních vrstev zrcadlových segmentů, testování aktuátorů). Probíhá také celá řada prací v mezinárodní spolupráci v oblastech vývoje detektorů MST a LST [14].

Vedle těchto již pokročilých mezinárodních kolaborací probíhaly také přípravné práce a konzultace v oblasti dalších připravovaných kolaborací: The Southern Wide-field Gamma-ray Observatory (SWG), Probe Of Extreme Multi-Messenger Astrophysics (POEMMA) a v jejím rámci Extreme Universe Space Observatory, Super-Pressure Balloon 2 (EUSO SPB-2).

Obecně v oblasti optických technologií významně [13] pokročily výzkumné práce směrem ke zlepšení postupů pokročilých optických technologií založených na subaperturním opracování, obr. 68. Pokračuje také vývoj technologie magnetronového naprašování, kde je hlavní pozornost věnována pochopení vztahu mezi technologickými depozičními podmínkami a fyzikálními a chemickými vlastnostmi vrstev. V rámci fyzikální charakterizace tenkých vrstev, obecně povrchů v případě objemových materiálů, se experimentální práce soustředily na analýzu lokálních a tribologických vlastností pomocí kontaktních technik. Implementace nového modulu pro vysokoenergetické dynamické testování umožnila provádění impakt testu při 5x vyšších silách než doposud. Toto rozšíření kapacity dynamického testování nabízí zcela nový pohled na mechanickou stabilitu a vnitřní integritu tenkých vrstev stejně jako kompozitních materiálů [15].

LITERATURA

- [11] M. Vacula, P. Horváth, L. Chytka, K. Daumiller, R. Engel, M. Hrabovský, D. Mandát, H. J. Mathes, S. Michal, M. Palatka, M. Pech, Ch. Schaefer, P. Schovánek, Use of a general purpose integrating sphere as a low intensity near-UV extended uniform light source, *zasláno do Optik*.
- [12] L. Chytka, D. Mandát, J. Albury, J.A. Bellido, J. Farmerh, T. Fujii, P. Hamal, P. Horváth, M. Hrabovský, J. Kvita, M. Malacari, M. Mastrodicasa, J.N. Matthews, S. Michal, X. Ni, L. Nožka, M. Palatka, M. Pech, P. Privitera, P. Schovánek, F. Salamida, R. Šmída, S.B. Thomas, P. Trávníček and M. Vacula, An automated all-sky atmospheric monitoring camera for a next-generation ultrahigh-energy cosmic-ray observatory, *J. Instrum* **15** (2020) T10009. doi.org/10.1088/1748-0221/15/10/T10009
- [13] M. Malacari, J. Farmer, T. Fujii, J. Albury, J. A. Bellido, L. Chytka, P. Hamal, P. Horváth, M. Hrabovský, D. Mandát, J. N. Matthews, L. Nožka, M. Palatka, M. Pech, P. Privitera, P. Schovánek, R. Šmída, S. B. Thomas, P. Trávníček, The first full-scale prototypes of the fluorescence detector array of single-pixel telescopes, *Astropart. Phys.* **119** (2020) 102430. doi.org/10.1016/j.astropartphys.2020.102430
- [14] C. Alispach, J. Borkowski, F. R. Cadoux, N. De Angelis, D. Della Volpe, Y. Favre, M. Heller, J. Juryšek, E. Lyard, D. Mandát, L. David M. Miranda, T. Montaruli, A. Nagai, D. Neise, T.R. Njoh Ekoume, M. Pech, P. Rajda, Y. Renier, V. Sliusar, R. Walter and K. Zi tara, Large scale characterization and calibration strategy of a SiPM-based camera for gamma-ray astronomy. *J. Instrum.* **15** (2020) P11010. doi.org/10.1088/1748-0221/15/11/P11010
- [15] B. D. Beake, R. Čtvrtlík, A. J. Harris, A. Sanchez Martin, L. Václavek, J. Maňák, High frequency acoustic emission monitoring in nano-impact of alumina and partially stabilised zirkonia. *Mat. Sci. Eng. A* **780** (2020) 139159. doi.org/10.1016/j.msea.2020.139159



Obr. 68 Laboratoř optických technologií ve Společné laboratoři optiky UP a FZÚ, která vyvíjí optické technologie pro velké mezinárodní kolaborace (astro)částicové fyziky.

2.4.4 Příprava a výzkum tenkých vrstev

V roce 2020 jsme úspěšně pokračovali ve výzkumu tenkých vrstev multifunkčních komplexních oxidů kovů a souvisejících materiálů. V této oblasti jsme prohloubili základní porozumění, rozšířili výzkumné nástroje a podpořili jejich využití. Kombinovali jsme víceúrovňové teoretické modelování, syntézu pomocí pulzní laserové depozice, strukturní analýzu a rozsáhlou charakterizaci optických, elektrických, elektromechanických, mechanických a chemických vlastností vrstev.

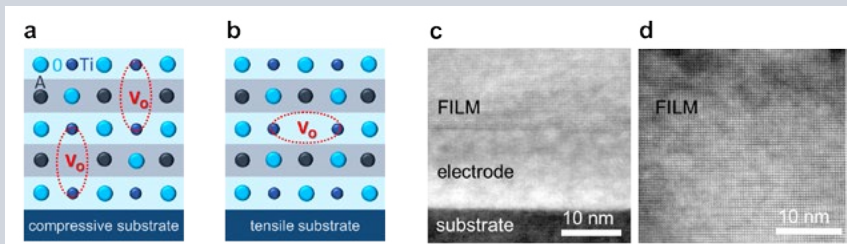
Základní výzkum vedl k objevu silných elastických interakcí mezi kyslíkovými vakancemi, které vznikají v tenkých oxidových vrstvách s napětím indukovaným podložkou. Tato interakce vytváří specifické prostorové zarovnání vakance, které usnadňuje dokonalý růst krystalů, obr. 69. Kromě toho tento jev umožňuje řízení krystalové mřížky a podporuje jinak nemožnou substituci kyslíku jinými anionty, jako je vodík a dusík. Vrstvy stabilizované vakancemi vykazují vylepšené vlastnosti včetně snížených optických ztrát a vynikající rezistivity.

Další teoretický a experimentální výzkum jsme zaměřili na epitaxní feroelektrické vrstvy, kde mobilní doménové stěny koexistují a interagují s nepohyblivými rozhraními indukovanými růstem – sloupcovými hranicemi (SH). Zatímco SH nenarušují uspořádání krystalů, ovlivňují zvláštním selektivním způsobem chování doménových stěn. SH podstatně modifikují chování neferoelastických doménových stěn, které se mohou lepit na SH (svislé čáry na obr. 70). A naopak mají SH zanedbatelný dopad na feroelastické stěny (šikmé pruhy). Výsledky naznačují, že zavedení nepohyblivých hranic do feroelektrických vrstev je perspek-

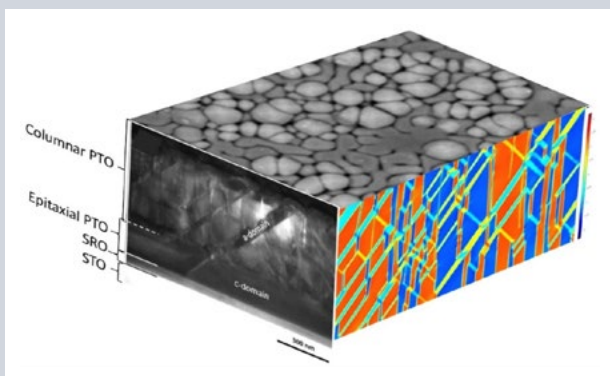
tivní metodou pro modifikaci doménových struktur a dynamických odezev v nano měřítku, které mohou sloužit k funkcionalizaci širšího rozsahu feroelektrických vrstev, kde se přirozeně objevují sloupcové hranice jako výsledek trojrozměrného růstu, obr. 70.

V roce 2020 jsme pokračovali ve výzkumu optických vlastností ultratenkých vrstev pomocí spektroskopické elipsometrie. Spektroskopická elipsometrie je citlivá a nedestruktivní metoda, která umožňuje zkoumat optické vlastnosti krystalů nebo tenkých vrstev a tloušťky těchto vrstev. Základem elipsometrie je měření změny polarizace světla po interakci se vzorkem, což ji odlišuje od jiných fotometrických měření, pro která je důležitá intenzita světla. Optické vlastnosti a tloušťka vrstev nejsou měřeny přímo, ale jsou spočítány ze základních elipsometrických charakteristik, úhlů Ψ a Δ a pomocí optického modelu. Naše elipsometrické vybavení umožňuje měření v širokém spektrálním a teplotním oboru. Woollam VUV-VASE elipsometr má rozsah energií 0,75–8,8 eV (141–1653 nm) a je vybavený kryostatem s možností měření v rozsahu teplot 5–500 K. Woollam VASE elipsometr umožňuje měření v rozsahu energií 0,75–6,5 eV (191–1653 nm) při teplotách 300–800 K. IR-VASE Mark II je určen pro měření v oboru 0,025–0,99 eV (1,25–50 μm , 200–8000 cm^{-1}) při pokojové teplotě.

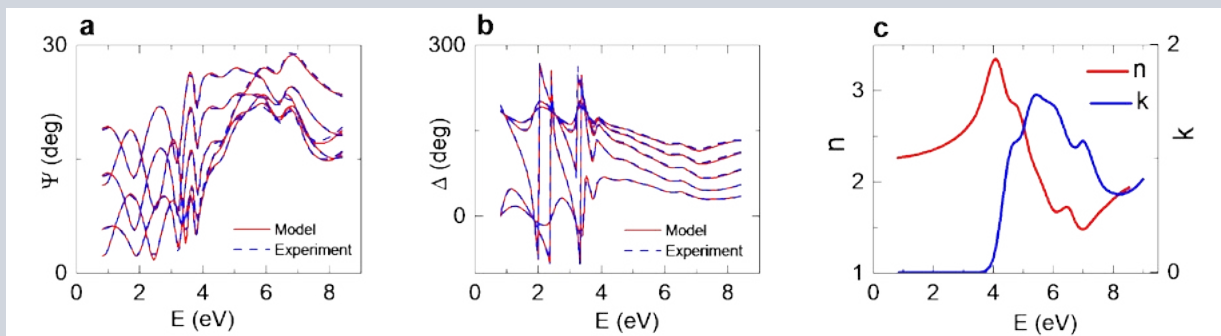
Náš optický výzkum se také zaměřil na tenké perovskitové vrstvy (SrTiO_3 , BaTiO_3 , $\text{Ba}_{1-x}\text{Sr}_x\text{TiO}_3$, SrRuO_3) a substráty široce používané pro růst epitaxních vrstev (LaAlO_3 , SrTiO_3 , Nb:SrTiO_3 , $(\text{LaAlO}_3)_{0.3}(\text{Sr}_2\text{TaAlO}_6)_{0.7}$). Na obr. 5. jsou uvedeny příklady experimentálních dat a z nich spočítané optické vlastnosti tenké vrstvy SrTiO_3 .



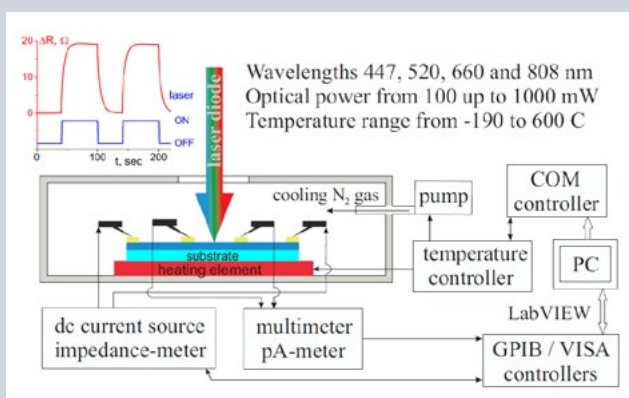
Obr. 69 (a, b) Schémata vakancí kyslíku ve filmu ATiO_3 ($A = \text{Sr}, \text{Ba}$). Různé orientace dipólů tvořeny vakancemi závisí na pnutí vytvářeném substrátem. **(c, d)** Snímky z transmisního elektronového mikroskopu dokonalé vrstvy stabilizované vakancemi.



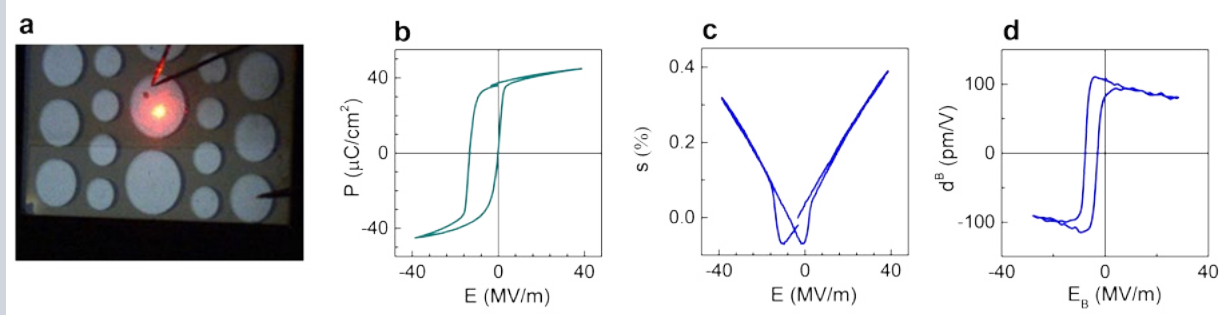
Obr. 70 Kompilace mikroskopicky pozorovaných (BW) a simulovaných (barevně) strukturních znaků ve feroelektrické vrstvě titančitanu olovnatého (PTO).



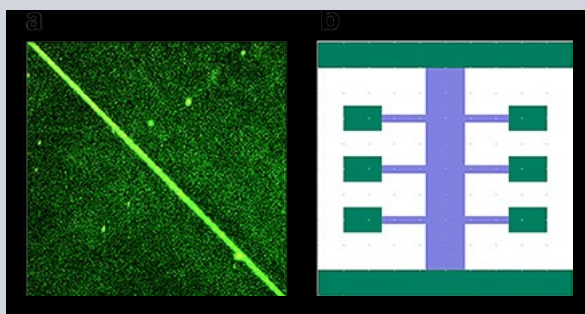
Obr. 71 Vygenerované (červené plné čáry) a experimentální (modré přerušované čáry) elipsometrické úhly (a) ψ a (b) Δ pro tenkou vrstvu SrTiO_3 na substrátu. Různé křivky odpovídají různým úhlům dopadu světla spočítané z elipsometrického modelu (c) index lomu a extinkční koeficient pro tuto vrstvu.



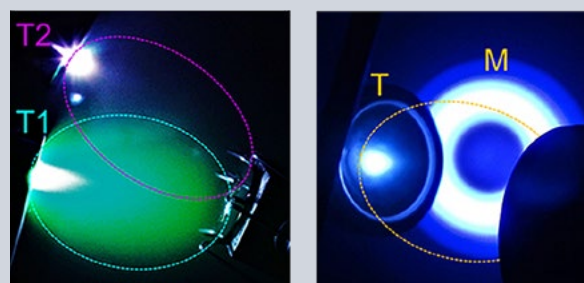
Obr. 72 Schémata nastavení pro studium fotovodivosti v tenkých vrstvách.



Obr. 73 (a) Fotografie vzorku tenké vrstvy s kovovými elektrodami, elektrokalovými sondami a laserovým bodem v nastavení DBLI. Typická měření (b) polarizace, (c) pnutí a (d) efektivní piezoelektrický koeficient jako funkce elektrického pole v tenkém feroelektrickém filmu.



Obr. 74 (a) Fotografie mezery 2 mm v Pt elektrodě. (b) Schémata rozložení Hall-bar (vzorek 10 × 10 mm, tenký modrý film: můstky 1,75 × 0,3 mm, stopka 1,5 × 8 mm; zelené elektrody: nahoru a dolů 10 mm × 1 mm, obdélníkové 1,5 × 1 mm).



Obr. 75 Fotografie (a) procesu se dvěma paprsky a (b) hybridního procesu. V bodě (a) jsou laserem stimulované plazma z různých cílů T1 a T2 označena přerušovanými čarami. V (b) je laserem stimulované plazma z cíle T zobrazena čárkovanou čarou a magnetronový cíl je vytvořen M.

Dále jsme zahájili výzkum fotostimulovaného přenosu náboje v tenkých vrstvách a vícevrstvých strukturách niklátů vzácných zemin se složením ReNiO_3 , kde $\text{Re} = \text{Nd}, \text{Sm}, \text{Gd}$. Tyto materiály vykazují specifické prudké změny v elektrické vodivosti nebo přechod kov-izolátor. Kvůli tomuto přechodu se očekává, že jejich vodivost bude citlivě reagovat na ozáření světlem.

Taková odezva by mohla umožnit miniaturizaci komponent pro fotodetekci včetně fotorezistorů, fotodiod a odporových spínačů. Odezva byla zkoumána v širokém rozmezí teplot, vlnové délky záření a časových podmínkách ozařování, obr. 72.

Vypracovali jsme postupy pro přípravu a analýzu vzorků pro vysoce přesnou charakterizaci piezoelektrického koeficientu ve velmi tenkých vrstvách s tloušťkou pouhých 100 nm. Měření se provádí na analyzátoru DBLI TF 2000E, obr. 73.

Jedná se o analyzátor elektrokeramických materiálů, pořízený s modulem FE, umožňující hysterezní měření, PUND měření, únavová měření, retenční měření, měření statické hystereze, imprint měření, měření svodových proudů. Dále přístroj umožňuje kapacitní měření, měření piezo vlastností, pyroelektrická měření a impedanční měření. Přístroj je vybaven ohřevem vzorků a chlazením. Pomocí jednotky Single Beam Laser Interferometer a Double Beam Laser Interferometer je schopen velmi přesných piezo měření na tenkých vrstvách. Systém obsahuje také HV zesilovač pro zvýšení napětí do 100 V.

Pro přesnou charakterizaci rovinných elektrických vlastností tenkých vrstev jsme zpracovali speciální rozvržení a vzorovací cesty. K vytvoření tenkých vrstev od oxidů po ušlechtilé kovy jsme použili laserový litografický systém MicroWriter MLTM. Jedná se o laserový fotolitografický přístroj s přímým zápisem, určený pro rychlé prototypování. Využívá digitální šablony a je efektivní zejména pro jejich častou a rychlou změnu. Pracuje se vzorky o velikosti 1 mm – 200 mm a rozlišením 0,6 μm – 1 μm . V praxi byly naprogramovány a dále realizovány dva hlavní typy šablon: úzká mezera o šířce 2 μm ve vrstvě elektrody Pt na povrchu feroelektrických filmů, viz obr. 74 (a) a Hallový struktury v niklových filmech kov-izolátor, obr. 74 (b).

Pokračovali jsme v optimalizaci zařízení a technologie pulzní laserové depozice, abychom zajistili reprodukovatelný růst tenkých vrstev pro základní výzkum i pro vývoj aplikací. Byly připraveny tenké filmy, heterostruktury a vícevrstvy oxidů perovskitového typu, povlaky z uhlíku podobného diamantu a povlaky s použitím jednoduchých oxidů kovů. Pro dopování vrstev in-situ během růstu byl použit proces se dvěma paprsky, obr. 75 (a). V tomto procesu je ablace dvou různých cílů realizována současně pomocí dvou laserových paprsků. K dosažení vysoké úrovně dopingových nebo vícesložkových vrstev byl použit hybridní proces. V něm je laserem stimulovaná ablace kombinována s magnetronovým rozprašováním, obr. 75 (b). Možné využití se předpokládá v elektronice, biomedicínských povlácích, rentgenové optice a dalších oborech.

V rámci projektu pro vývoj ochranného povlaku pro aditivně vyrobené formy ve slévárenství bylo provede-

no nanosení vícevrstvých struktur na bázi diamantu podobného uhlíku a nitridů kovů pomocí technologií pulsní laserové depozice a magnetronového naprašování. Tento postup umožňuje nezávislou kombinaci několika materiálů a tím dosažení jak korozní odolnosti, tak dobré adheze.

Byl testován potenciál tenkých vrstev uhlíku podobného diamantu a oxidu titaničitého jako povlaků na čočky v běžných brýlích. Vlastnosti diamantu jako vysoká tvrdost a nízké opotřebení mohou zajistit menší poškrábání čoček. Samočisticí vlastnosti oxidu titaničitého mohou snížit přilnavost nečistot k povrchu čočky. Odolnost proti opotřebení a opotřebení fólií byly testovány tribologií, obr. 69, a samočisticí vlastnosti byly kontrolovány měřením kontaktního úhlu a povrchové energie. Bylo zjištěno, že odolnost proti opotřebení uhlíkových povlaků podobných diamantu je srovnatelná a lepší než u současně používaných povlaků na čočky.

Vědecké výsledky naší práce byly publikovány v mezinárodních vědeckých časopisech s vysokým impaktem [16–20]. Mezinárodním uznáním naší práce bylo publikování dvou vybraných příspěvků ve zvláštních vydání [21,22].

LITERATURA

- [16] M. Tyunina, V. Vetokhina, N. Nepomniashchaia, O. Pacheroová, S. Cichoň, T. Kocourek, M. Jelínek, A. Dejneka, Multiple optical impacts of anion doping in epitaxial barium titanate films, *APL Mater.* **8** (2020) 071107. doi.org/10.1063/5.0007209
- [17] M. Tyunina, O. Pacheroová, N. Nepomniashchaia, V. Vetokhina, S. Cichoň, T. Kocourek, A. Dejneka, In situ anion-doped epitaxial strontium titanate films, *Phys. Chem. Chem. Phys.* **22** (2020) 24796. doi.org/10.1039/d0cp03644g
- [18] M. Tyunina, J. Peräntie, T. Kocourek, S. Saukko, H. Jantunen, M. Jelínek, A. Dejneka; Oxygen vacancy dipoles in strained epitaxial BaTiO_3 film, *Phys. Rev. Research* **2** (2020) 023056. doi.org/10.1103/PhysRevResearch.2.023056
- [19] M. Tyunina, M. Savinov, Charge transport in epitaxial barium titanate films; *Phys. Rev. B* **101** (2020) 094106. doi.org/10.1103/PhysRevB.101.094106
- [20] M. Tyunina, N. Nepomniashchaia, V. Vetokhina, and A. Dejneka, Optics of epitaxial strained strontium titanate films, *Appl. Phys. Lett.* **117** (2020) 082901. doi.org/10.1063/5.0021461
- [21] M. Tyunina, Conductivity in Ferroelectric Barium Titanate: Electrons Versus Oxygen Vacancies; *IEEE Trans. Ultrason. Ferroelectric Freq. Control* **68** (2020). doi.org/10.1109/TUFFC.2020.2978901
- [22] M. Tyunina, Oxygen Vacancies in Perovskite Oxide Piezoelectrics, *Materials* **13** (2020) 5596. doi.org/10.3390/ma13245596



2.4.5 Vliv fyzikálních faktorů mikroprostředí na plasticitu nádorových buněk

Fyzikální faktory hrají významnou roli v celé řadě buněčných mechanismů. V nádorové tkáni dochází již v počátečním stádiu k mechanickým změnám, které významně ovlivňují buněčný metabolismus. Nedávné studie prokázaly, že signální dráhy proteinu mTOR (mammalian target of rapamycin) a YAP (Hippo–Yes-associated protein 1) jsou velmi důležitými mediátory mechanických podnětů. Nicméně doposud není zcela objasněno, jak komplexní 3D mikroprostředí ovlivňuje buněčnou plasticitu z mechanického hlediska [23].

V naší studii jsme prokázali konvergence signálu mezi proteiny YAP a mTOR v důsledku mechanické restrikce v 3D buněčném mikroprostředí. Zjistili jsme, že mechanické impulsy vznikající v 3D buněčných kulturách, a to zejména adheze a vzájemný okolní tlak, regulují aktivitu YAP a mTOR proteinu a tím i buněčnou signalizaci a plasticitu [23].

Dále jsme zaznamenali, že nádorové buňky kultivované v 3D kolagenovém scaffoldu vykazovaly různou morfologii. V blízkosti středu pórů scaffoldu měly buňky sférický tvar, zatímco na okrajích pórů v blízkosti kolagenových vláken byly buňky více protažené a ploché, obr. 76.

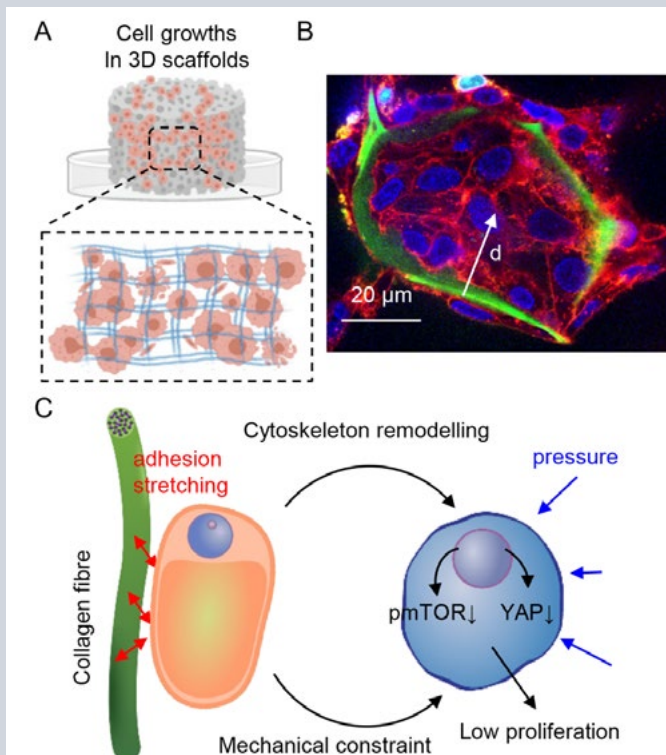
Předpokládáme, že mikroprostředí kolagenového 3D modelu vede k odlišné buněčné reakci v důsledku různých mechanických stimulů. Buňky nacházející se na kolagenových vláknech vykazují silnější adhe-

zi a vnitřní pnutí než buňky uprostřed kolagenových pórů, kde na ně působí pouze tlak okolních buněk [23].

Naše výsledky objasňují vliv fyzikálních jevů okolního mikroprostředí na YAP–mTOR mechanickou signalizaci buněk.

LITERATURA

- [23] A. Frtús, B. Smolková, M. Uzhytchak, M. Lunova, M. Jirsa, M. Hof, P. Jurkiewicz, V.I. Lozinsky, L. Wolfová, Y. Petrenko, Š. Kubinová, A. Dejneka, and O. Lunov, Hepatic tumor cell morphology plasticity under physical constraints in 3D cultures driven by YAP–mTOR axis, *Pharmaceuticals* **13** (2020) 430. doi.org/10.3390/ph13120430



Obr. 76 (A) Schéma 3D kultivace buněk v 3D kolagenových scaffoldech. (B) Fluorescenční snímek nádorových buněk rostoucích uvnitř kolagenového póru. Buněčné membrány byly barveny pomocí CellMask™ Orange (červená). Jádra jsou zobrazena modře pomocí Hoechst 33342. Kolagenová vlákna byla obarvena Col-F (zelená). (C) Schematické znázornění odlišných konkurenčních mechanických podnětů, tj. adheze a tlaku, které regulují aktivitu YAP a mTOR.

2.4.6 Molekulární mechanismus interakce nanočástic oxidu železa s živými buňkami

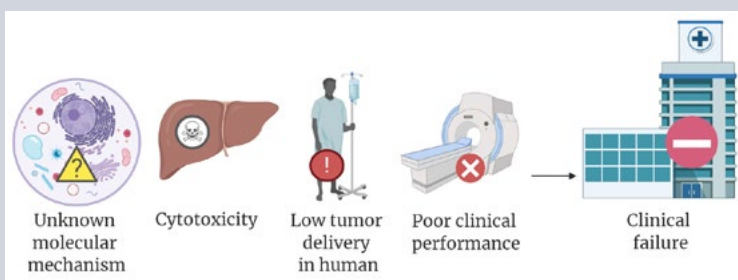
Nanočástice oxidu železa (IONPs) představují první generaci nanomateriálů v klinické praxi, které jako kontrastní látky pro zobrazování magnetickou rezonancí (MRI) schválil americký Úřad pro kontrolu potravin a léčiv. Nicméně dodatečný výskyt nežádoucích vedlejších účinků IONPs vedl k jejich následnému stažení z trhu. Aby se předešlo podobným translačním selháním v klinické praxi, je nezbytné lépe porozumět molekulárním mechanismům, kterými IONPs působí na celulární a subcelulární úrovni.

V naší studii jsme analyzovali mechanismy interakce IONPs s jaterními buňkami a popsali jsme hlavní příčiny selhání využití IONPs v klinické praxi, obr. 77. [24]. Problém v translaci do klinické praxe se obecně týká nejen IONPs, ale i dalších forem nanočástic. Hlavní příčina spočívá v přístupu zaměřeném zejména na

formování komplikovaných nanočástic, aniž by byly zohledňovány principy molekulárních mechanismů onemocnění. Důkladná znalost vlastností a působení nanočástic na biologické úrovni je proto nezbytným aspektem ve výzkumu a vývoji nanočástic pro klinickou praxi.

LITERATURA

- [24] A. Frtús, B. Smolková, M. Uzhytchak, M. Lunova, M. Jirsa, Š. Kubinová, A. Dejneka, and O. Lunov, Analyzing the mechanisms of iron oxide nanoparticles interactions with cells: A road from failure to success in clinical applications, *J. Control. Release* **328** (2020) 59. doi.org/10.1016/j.jconrel.2020.08.036



Obr. 77 Příčiny klinického selhání IONPs. Obrázek byl vytvořen pomocí BioRender.com.

2.4.7 Modulace imunitních buněk pomocí nízkoteplotního plazmatu

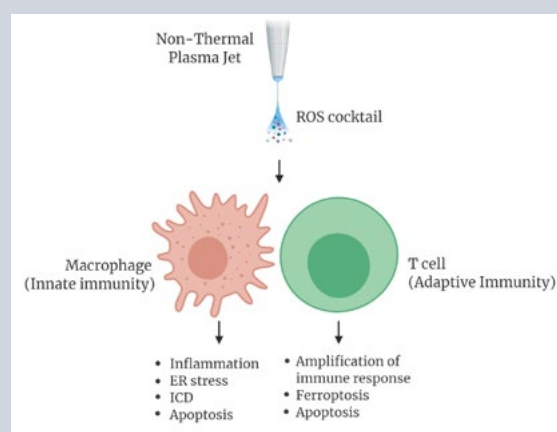
Výzkum v posledních dvou desetiletích prokázal, že nízkoteplotní plazma (NTP, také známé jako studené atmosférické plazma), má významný potenciál v různých biomedicínských aplikacích. NTP se ukazuje být slibným nástrojem pro sterilizaci lékařského vybavení, hojení ran, likvidaci bakterií, zubní hygienu, srážení krve, potlačení angiogeneze, léčbu rakoviny nebo dekontaminaci potravin. Nicméně z hlediska buněčné biologie je tento obor stále v počátcích. Nejnovější studie v oboru NTP se zaměřují na jeho potenciální imunomodulační účinky, obr. 78. V naší studii jsme provedli kritickou analýzu modulace imunitních buněk pomocí NTP a shrnuli jsme důležité otázky, které je třeba objasnit, než dojde k širšímu použití NTP v klinické praxi [25]. Pro porovnání různých účinků NTP mezi jednotlivými laboratořemi je nezbytná standardizace protokolů a využití různých buněčných linií.

Doufáme, že naše kritická analýza bude přínosná pro další vývoj lépe kontrolovatelné, bezpečnější a robustnější léčby využívající technologii NTP.

LITERATURA

- [25] B. Smolková, A. Frtús, M. Uzhytchak, M. Lunova, Š. Kubinová, A. Dejneka, and O. Lunov,

Critical analysis of non-thermal plasma-driven modulation of immune cells from clinical perspective, *Int. J. Mol. Sci.* **21** (2020) 6226. doi.org/10.3390/ijms21176226



Obr. 78 Schéma imunomodulace pomocí NTP. Obrázek byl vytvořen pomocí BioRender.com.

2.4.8 Nízkoteplotní plazma v aplikovaném výzkumu

Nízkoteplotní plazma pro humánní medicínu

Nízkoteplotní plazma (NTP) vzniká akcelerací elektronů plynu v elektrickém výboji, kdy dochází k tvorbě excitovaných a ionizovaných částic za pokojové teploty. NTP má nespécifické antibakteriální účinky a lze jej využít v řadě aplikací v humánní a veterinární medicíně, zejména v léčbě akutních a chronických ran, popálenin a dalších kožních onemocnění, v chirurgii, stomatologii nebo kosmetologii. NTP tak představuje nový a perspektivní způsob, jak urychlit nebo přímo zajistit účinnou léčbu v indikacích, u kterých standardní postupy selhávají.

V rámci řešení projektu MPO TRIO (FV10081) ve spolupráci s Foton, s.r.o., LET Optomechanika Praha, s.r.o., a Ústavem experimentální medicíny AV ČR jsme vyvinuli zařízení na bázi nízkoteplotního plazmatu generovaného ze vzduchu (PlasmaFor-M) pro humánní medicínu, se zaměřením na léčbu akutních a chronických ran.

Hlavním výsledkem projektu je softwarově řízený aplikátor pro automatické skenování větších ploch, který umožňuje aplikovat určitou dávku plazmatu rovnoměrně po velké ploše skenovacím způsobem, obr. 79. Systém také dodržuje určitou vzdálenost mezi ošetřovaným povrchem a plazmatickým generátorem. Toto zařízení je specificky vyvinuté pro použití v lékařských ordinacích a významným způsobem zjednodušuje aplikaci plazmatu při ošetření větších ploch a zvyšuje jeho efektivitu.

Výsledky z našich preklinických studií prokázaly, že aplikace NTP je bezpečná, účinně eliminuje bakteriální kontaminaci a urychluje proces hojení. Další testování zařízení PlasmaFor-M v klinické zkoušce na popáleninových ranách získalo povolení Státním ústavem pro kontrolu léčiv ve FN Brno. Cílem klinického testování a dalšího vývoje generátoru je získání certifikace pro zdravotnický prostředek a jeho zavedení do klinické medicíny.



Obr. 79 Aplikátor pro automatické skenování větších ploch, který umožňuje aplikovat určitou dávku plazmatu rovnoměrně po velké ploše skenovacím způsobem.

2.4.9 Laboratoř funkčních biorozhraní

Rok 2020 se do historie neodmyslitelně zapsal jako rok, kdy započala globální pandemie infekčního onemocnění covid-19. Tým Laboratoře funkčních biorozhraní se ve spolupráci s Biologickým centrem AV ČR, Přírodovědeckou fakultou Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích, Arizona State University, Austrian Institute of Technology a dalšími partnery aktivně zapojil do boje s touto pandemií. Konkrétně tato skupina již od března 2020 začala vyvíjet nový typ biosenzoru na bázi tzv. křemenných krystalových mikrováh s funkčním povrchem vysoce odolným (ultra rezistentním – antifouling povrchem) proti nespécifickým interakcím (A-QCM, z angl. antifouling quartz crystal microbalance). Tato technologie byla přitom původně studována ve spolupráci s Ochrannou službou Policie ČR s cílem vývoje nové přenosné metody pro rychlou a spolehlivou detekci patogenních agens v potravinách. Jádrem vyvíjeného biosenzoru pro rychlou detekci koronaviru SARS-CoV-2 v komplexních biologických vzorcích je ultra rezistentní polymerní vrstva s nově navrženou chemickou terpolymerní strukturou, kombinující zwitterionické a neionogenní složky v optimalizovaném poměru, obr. 80, 81. Výsledkem je

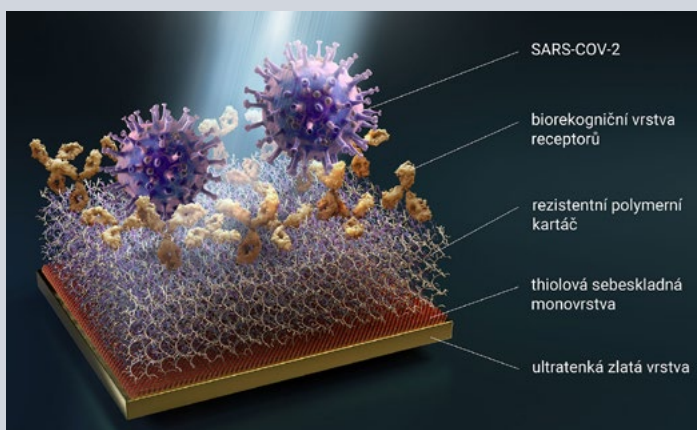
unikátní povrchová struktura, která v sobě kombinuje vysokou stabilitu v různých prostředích s možností imobilizovat biorozpoznávací prvky (např. protilátky, peptidy nebo DNA aptamery) v dostatečném množství s vysokou mírou rezistence vůči nespécifickým vazbám po ukotvení biorozpoznávacích prvků.

Na řadě příkladů bylo demonstrováno, že A-QCM biosenzor umožňuje analyzovat komplexní vzorky, např. odběry z nosohltanu či ze slin, bez jakékoliv nutné přípravy vzorku před měřením, což výrazně zjednodušuje celou analýzu. Pro sestavení biosenzoru byly testovány dva základní typy biorozpoznávacích prvků, a to jak monoklonální protilátka specificky vázající nukleokapsidový (N) protein koronaviru, tak i 23-merní syntetický peptid, který rozpoznává RBD (receptor vázající doménu) spike (S) proteinu koronaviru SARS-CoV-2.

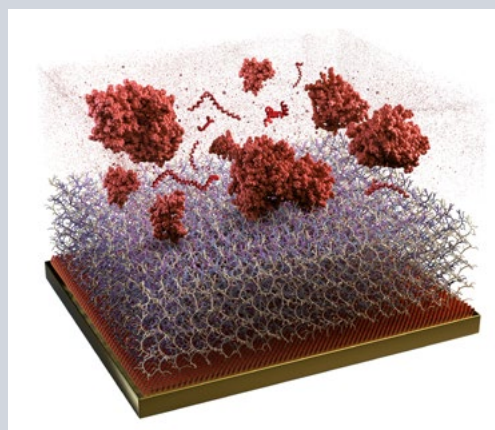
Pomocí A-QCM biosenzoru byl virus SARS-CoV-2 detekován v řadě různých typů analyzovaných vzorků, od stěrů z nosohltanu nebo ze slin po stěry z povrchů madel ve veřejné dopravě. Citlivost a specifita detekce byla přitom poměrně vysoká, mez detekce se pohybovala v řádech $\sim 10^3$ – 10^4 PFU/mL v závislosti na

typu biorozpoznávacího prvku. Detekce přitom probíhala přímo v komplexních biologických vzorcích, bez nutnosti úpravy vzorku před měřením nebo nutnosti použít amplifikační kroky pro zesílení výstupního signálu. Toto schéma přímé detekce tak umožňuje maximálně snížit detekční čas na několik málo minut od odběru vzorku. Vysoká citlivost detekce je podpořena i speciálně vyvinutým pokročilým mikrofluidním systémem, který maximalizuje pravděpodobnost zachytu virového antigenu na povrch biočipu. Citlivost A-QCM biosenzoru byla demonstrována i zaslepenou pilotní studií sérií klinických vzorků sčěrů z nosohltanu, kde došlo k absolutní shodě s qRT-PCR, obr. 82. Z tohoto výzkumu byla dosud podána jedna patentová přihláška, další patentové přihlášky a odborné publikace se připravují. Zároveň probíhají intenzivní jednání s průmyslovými partnery, přičemž s jedním z nich, technologickou společností CARDAM, s.r.o., se doлаdují detaily pro vývoj prvních prototypů biosenzoru pro průmyslové haly a další aplikace.

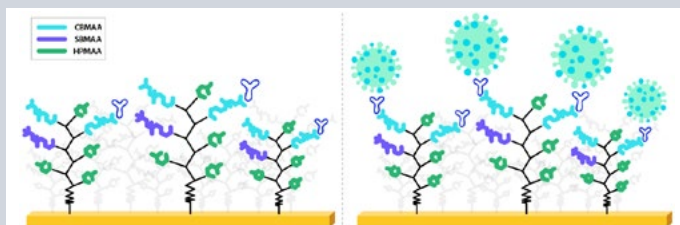
Kromě výzkumných aktivit spojených s vývojem metody pro detekci koronaviru, které v uplynulém roce dominovaly, se naše pracoviště zapojilo do řešení řady dalších výzkumných projektů. Jedním z klíčových témat bylo studium vlivu fyzikálně chemických vlastností ultra rezistentních polymerních povrchů na odolnost vůči nespecifickým vazbám z různých biologických prostředí, obr. 83. V tomto výzkumu reagujeme na aktuální a velmi palčivý problém řady současných analytických metod, a tím je nespecifická adsorpce (tzv. fouling), ke které dochází při kontaktu syntetických povrchů s biologickými médii. Pomocí spektroskopické elipsometrie a metody QCM bylo např. prokázáno, že antifoulingové vlastnosti tzv. ultra rezistentních polymerních vrstev jsou silně ovlivněny podmínkami, za jakých jsou před analýzami tyto povrchy uchovávány, např. koncentrací solí v roztoku, či jestli jsou před měřením vysušeny [26]. Další úsilí bylo věnováno studiu molekulárních mechanismů postmodifikace antifoulingových vrstev. Průběžné



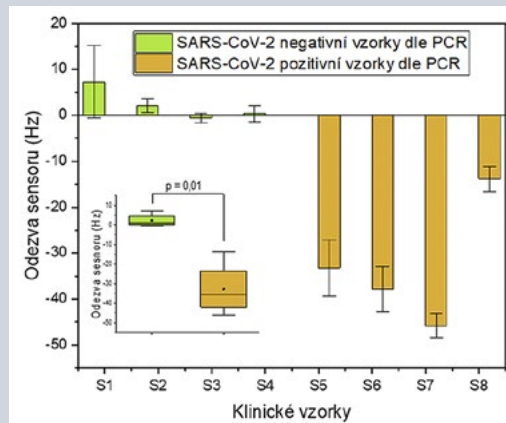
Obr. 80 Schematické znázornění funkčního biočipu pro rychlou detekci koronaviru SARS-CoV-2 v biologických prostředích.



Obr. 83 Schematické znázornění ultra rezistentní polymerní vrstvy (tloušťka ve vodném roztoku 80–120 nm) v kontaktu s neřaděnou krví plazmou.



Obr. 81 Schematické znázornění přímé detekce SARS-CoV-2 pomocí A-QCM biosenzoru s ultra rezistentním terpolymerním povrchem, který obsahuje optimalizované množství monomerních jednotek karboxybetain methakrylamidu (CBMAA), sulfobetain methakrylamidu (SBMAA) a N-(2-hydroxypropyl) methakrylamidu (HPMAA).



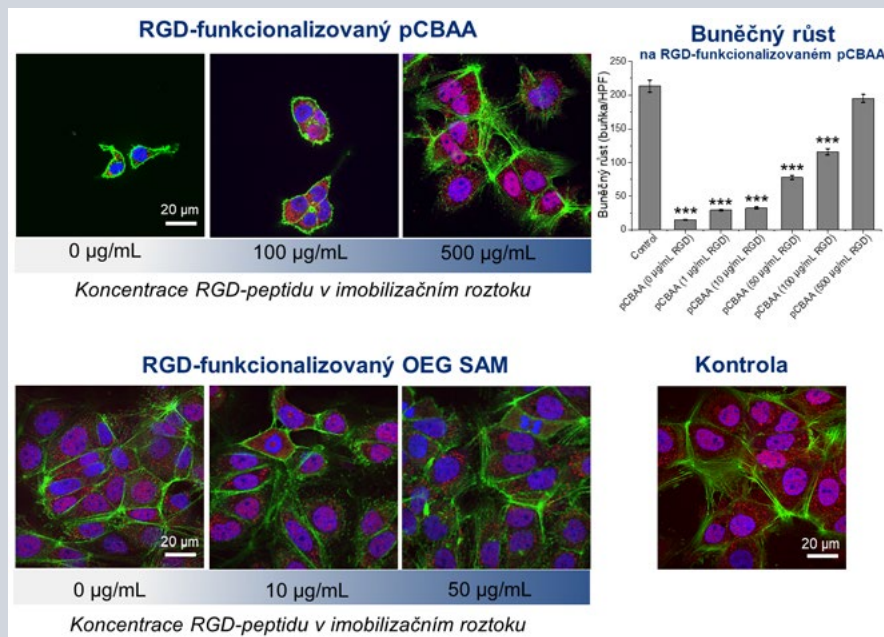
Obr. 82 Ukázka výsledků srovnávací studie na detekci SARS-CoV-2 v klinických vzorcích odběrů z nosohltanu metodami A-QCM a qRT-PCR.

výsledky ukázaly zásadní vliv tzv. deaktivace zbylých nezreagovaných esterů při EDC/NHS funkcionizační chemii na antifoulingové vlastnosti zwitterionických povrchů obsahujících karboxylové funkční skupiny.

Ve spolupráci s Laboratoří biofyziky FZÚ bylo velké výzkumné úsilí věnováno studiu vlivu chemické struktury a fyzikálně chemických vlastností antifoulingových vrstev na buněčné systémy. U vybraných zwitterionických a neionogenních polymerních vrstev nebyla prokázána žádná cytotoxicita a dále byl např. pozorován pozitivní vliv povrchového zastoupení hydrofilních karboxybetainových zwitterionickými skupin na chování buněk v těsné blízkosti studovaných bio-rozhraní [27]. U této práce byl doprovodný obrázek vybrán ediční radou časopisu na obálku časopisu. Byl také zkoumán vliv antifoulingových povrchů funkcionizovaných peptidem (RGD) pro navázání buněk k povrchu, které určitým způsobem simulovaly vnější stres, na distribuci YAP proteinu v jádře a cytoplazmě, obr. 84 [28]. Výsledky ukázaly, že s pomocí vybraných postmodifikovaných antifoulingových povrchů obsahujících karboxybetainové skupiny je možné vnější mechanický stres na buňky do určité míry modulovat. Tento parametr není přitom možné sledovat s pomocí

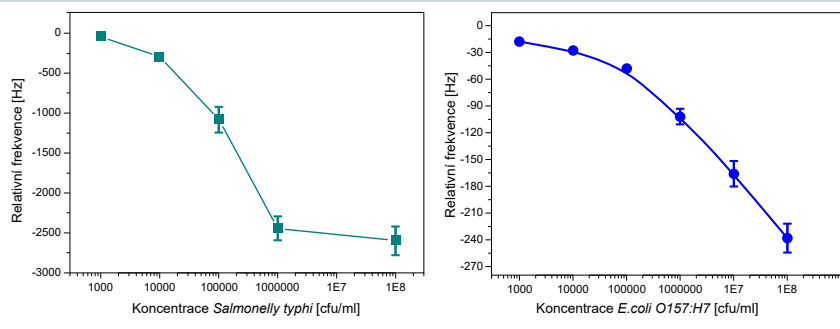
standardních povrchů díky nespecifickým interakcím, které interferují se sledovanými jevy.

V návaznosti na předchozí výzkum a vývoj funkčních biočipů na bázi ultra rezistentních polymerních kartáčů byly antifoulingové funkční vrstvy dále studovány s ohledem na ověření vhodnosti této technologie pro využití v oblasti kontroly bezpečnosti potravin. Kromě pokročilé charakterizace, testování různých typů funkčních poly(karboxybetainových) povrchů a optimalizace jejich přípravy, byly ve spolupráci s Ochranou službou Policie ČR ověřovány rezistenční a biodetekční vlastnosti biočipů pomocí rychlé detekce vybraných patogenních látek v komplexních potravinových vzorcích s použitím QCM a dalších metod. Pro detekci bakteriálních patogenů byli vybráni dva zástupci s častým výskytem v běžných potravinách, konkrétně bakterie *Salmonella typhi* a *E. coli* O157:H7. Detekce jednotlivých druhů bakterií ve vzorcích homogenizovaného hamburgeru byla provedena na poly(CBAA) biočipech s optimalizovanými vlastnostmi s kovalentně uchycenými protilátkami proti *Salmonella typhi*, resp. proti *E. coli* O157:H7, na povrchu. Celková detekční doba nepřesáhla 20 min a bylo dosaženo meze detekce 50 CFU/ml u *Salmonella typhi* a pouhé



Obr. 84 Růst buněk HuH7 na poly(karboxybetain akrylamidu), pCBAA a karboxy-funkční samoskladné alkanolové monovrstvě s oligoethylen glykolovými skupinami (OEG SAM) monitorovaný pomocí konfokálního mikroskopu s vysokým rozlišením. Povrchy byly funkcionizované RGD peptidy. Použité značky: YAP (červená), F-actin (zelená), jádro (modrá) [28].

Obr. 85 Kalibrační křivky biodetekčního systému pro rychlou (do 20 min) detekci bakterií v homogenizovaném hamburgeru – ukázka detekce *Salmonella typhi* (detekční limit 50 CFU/ml, vlevo) a *E. coli* O157:H7 (detekční limit 3 CFU/ml, vpravo).



3 CFU/ml u *E.coli* O157:H7, obr. 85. V kategorii virových patogenů průběžné výsledky ukázaly možnost využití funkčních biočipů pro detekci viru Hepatitidy A. Ve spolupráci s Austrian Institute of Technology byl vyvíjen nový typ funkčního povrchu umožňující přímou detekci malých molekul, např. toxinů. Na příkladu citlivé detekce Ochratoxinu A byl prokázán vysoký potenciál této technologie.

LITERATURA

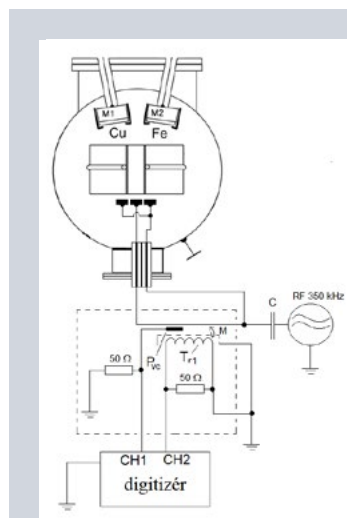
- [26] I. Visova, M. Vrabцова, M. Forinova, Y. Zhigunova, V. Mironov, M. Houska, E. Bittrich, K. Eichhorn, H. Hashim, P. Schovanek, A. Dejneka, H. Vaisocherova-Lisalova, Surface Preconditioning Influences the Antifouling Capabilities of Zwitterionic and Nonionic Polymer Brushes, *Langmuir* **36** (2020) 8485–8493.
doi.org/10.1021/acs.langmuir.0c00996

- [27] I. Visova, B. Smolkova, M. Uzhytchak, M. Vrabцова, Y. Zhigunova, M. Houska, F. Surman, A. de I. S. Pereira, O. Lunov, A. Dejneka, H. Vaisocherova-Lisalova, Modulation of Living Cell Behavior with Ultra-Low Fouling Polymer Brush Interfaces, *Macromol Biosci* **20** (2020) 1900351 (cover page invited).
doi.org/10.1002/mabi.201900351
- [28] I. Visová, B. Smolkova, M. Uzhytchak, M. Vrabцова, D. E. Chafai, M. Houska, M. Pastucha, P. Skladal, Z. Farka, A. Dejneka, H. Vaisocherova-Lisalova, Functionalizable Antifouling Coatings as Tunable Platforms for the Stress-Driven Manipulation of Living Cell Machinery, *Biomolecules* **10** (2020) 1146.
doi.org/10.3390/biom10081146

2.4.10 Studium fyzikálních procesů v pulzním nízkoteplotním plazmatu při depozici tenkých vrstev

Na našem pracovišti se zabýváme nanášením různých polovodiivých tenkých vrstev pomocí pulzních plazmatických metod. Tyto polovodiivé vrstvy je třeba optimalizovat tak, aby měly potřebné fyzikální vlastnosti. Je třeba proto hledat vhodné diagnostické metody plazmatu, které fungují i v reaktivním depozičním procesu. Z tohoto důvodu jsme vyvinuli novou modifikaci planární vysokofrekvenční iontové sondy, která je vhodná pro tato diagnostická měření. Výhoda této nově uspořádané iontové sondy je v tom, že plní svoji funkci i v případě, že je její povrch pokrytý elektricky nevodivou tenkou vrstvou z důvodu použití vysokofrekvenčních signálů pro měření. Na obr. 86 je zobrazeno celkové uspořádání iontové sondy i s měřicím obvodem implantovaným do depozičního systému se dvěma pulzními magnetrony. Na obr. 87 je vidět fotografie planární iontové sondy po vyjmutí z depozičního systému, kdy je povrch sondy pokrytý nanosenou polovodiivou vrstvou. Časové průběhy měřeného vysokofrekvenčního napětí a proudu na sondě v době aktivního výbojového pulzu jsou zobrazeny na obr. 88. Tento změřený vysokofrekvenční proud obsahuje kapacitní složku a složku složenou z iontového a elektronového toku na sondě. Pro správnou interpretaci měření je potřeba od celkového proudu sondou tento kapacitní proud odečíst. Tento postup se nám podařilo nalézt a realizovat při získávání voltampérové charakteristiky této sondy. Na obr. 89 je vidět takto získaná výsledná voltampérová charakteristika popsaná funkcí $I_p(URP)$ po odečtení kapacitního proudu určeného pomocí znalostí časových derivací celkového vysokofrekvenčního sondového napětí. Ze získané závislosti $I_p(URP)$ lze již určit koncentraci iontů a elektronovou teplotu T_e v pulzním plazmatu. Tyto parametry lze ur-

čit v dané konfiguraci i s časovým rozlišením. Popsaná realizovaná iontová sonda byla použita při měření parametrů plazmatu v pulzním HiPIMS reaktivním naprašování polovodiivých vrstev delafositu CuFeO_2 , které vykazují vodivost typu p a jsou perspektivní jako tenkovrstvé fotokatody v systémech solárního rozkladu vody. Výsledky této studie byly publikovány v [29]. Dále naše práce pokračovala výzkumem parametrů plazmatu v bipolárním pulzním magnetronovém systému HiPIMS s kladným pulzem generovaným po konci aktivního výbojového pulzu. Toto uspořádání je perspektivní pro reaktivní naprašování tenkých vrstev s velkou adhezí díky zvýšenému bombardování ionty během kladného pulzu. Podařilo se nám pomocí Lang-



Obr. 86
Schematické uspořádání pulzního plazmatického systému s planární RF iontovou sondou

muirovské sondy změřit parametry plazmatu s časovým rozlišením právě během tohoto kladného pulzu, kdy v plazmatu probíhají rychlé změny mikroparametrů. Výsledky tohoto výzkumu byly publikovány v [30].

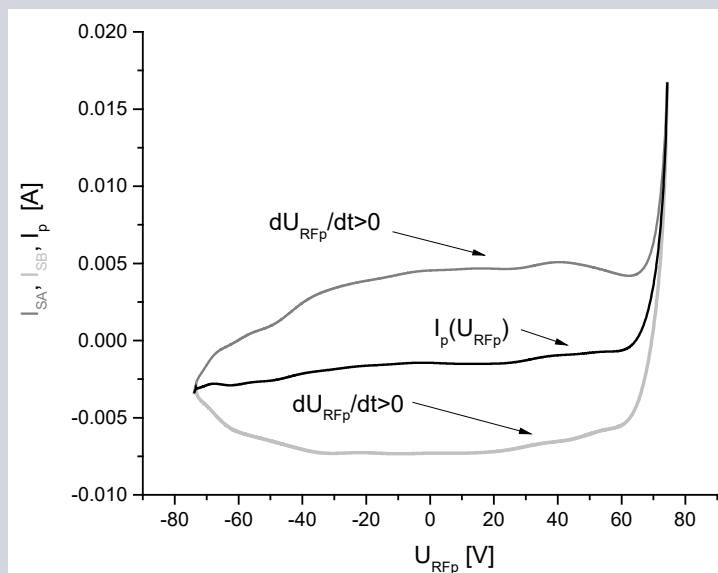
R. Hippler, M. Čada, Z. Hubička, Time-resolved Langmuir probe diagnostics of a bipolar high power impulse magnetron sputtering discharge, *Appl. Phys. Lett.* **116** (2020) 064101. doi.org/10.1063/1.5140650

LITERATURA

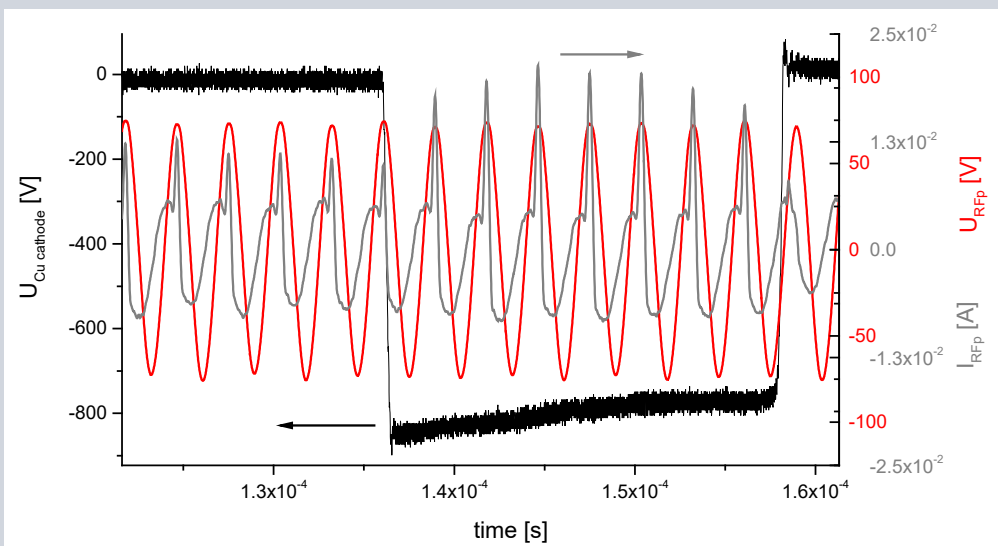
- [29] Z. Hubička, M. Zlámal, J. Olejníček, D. Tvarog, M. Čada, J. Krýsa, Semiconducting p-Type Copper Iron Oxide Thin Films Deposited by Hybrid Reactive-HiPIMS + ECWR and Reactive-HiPIMS Magnetron Plasma System, *Coatings* **10** (2020) 232. doi.org/10.3390/coatings10030232



Obr. 87 Fotografie RF iontové planární sondy po vyjmutí z plazmatu



Obr. 89 Získaná voltampérová charakteristika iontové planární sondy v plazmatu po odečtení kapacitního proudu



Obr. 88 Průběhy RF napětí a proudů získaných na planární sondě během aktivního výbojového pulzu.

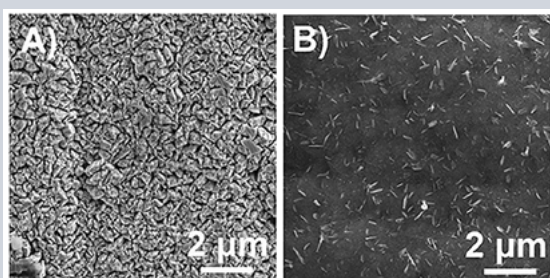
2.4.11 Pokrytí zirkoniových materiálů polykrystalickou diamantovou vrstvou chrání proti vysokoteplotní korozi v prostředí jaderných reaktorů

Po evropském patentu (duben 2020) [31] očekáváme získání amerického patentu [32] na způsob ochrany povrchu palivových článků před korozi, který prodlouží životnost palivových článků za havarijních i standardních podmínek a umožní získat přístup na trh s největším počtem jaderných reaktorů na světě. Ve všech 94 jaderných reaktorech v USA lze použít navržený postup. Řešení je založeno na pokrytí povrchu palivových článků tenkou polykrystalickou diamantovou vrstvou. Velmi tenká vrstva z diamantových nanokrystalů významně zhoršuje podmínky pro korozi zirkoniového substrátu v jaderném reaktoru, a to dokonce o desítky procent. Antikoroziní efekt polykrystalického diamantového povlaku je velmi specifický: kromě omezení přímého kontaktu kovového substrátu s okolním prostředím dochází při zvyšující se teplotě k průniku uhlíku z diamantové vrstvy do substrátu a mění jeho fyzikální a chemické vlastnosti. Tím se snižuje pravděpodobnost koroze zirkonia a průniku vody, resp. vodíku do zirkoniového povrchu. Řešení funguje jak za standardních, tak i havarijních teplot.

Věnovali jsme se výzkumu účinků kombinace dvou vrstev aktivně (PCD) a pasivně (vodou nepropustná vrstva) bránící oxidaci Zr podkladu. Kombinace vrstev aktivně a pasivně bránící oxidaci podkladu prodlouží životnost jaderného paliva za pracovních i havarijních podmínek ve vodou chlazených jaderných reaktorech, obr. 90. Dvouvrstvé povlaky snižují oxidaci Zr povrchů o více než 70 % ve srovnání s nepokrytými Zr materiály, vystavenými havarijním podmínkám vodou chlazeného jaderného reaktoru. V současnosti pokračujeme ve výzkumu korozní ochrany Zr slitin dvouvrstvou sestávající ze spodní PCD části a svrchní Cr slitiny. Cr slitiny jsou připraveny různými technologiemi (magnetronové naprašování, Cr cold spray). Ochrana pokrytí paliva proti korozi za standardních i havarijních podmínek vodou chlazeného reaktoru povede k vyšší bezpečnosti a ekonomičtějšímu využití jaderného paliva.

LITERATURA

- [31] P. Ashcheulov, R. Škoda, J. Škarohlíd, I. Kratochvílová, A. Taylor, F. Fendrych, Layer protecting the surface of zirconium alloys used in nuclear reactors, European Patent Office, *Recent Pat Nanotechnol* **10** (2016) 59–65 EP3047046.
doi.org/10.2174/2210315506999160304132946
- [32] R. Škoda; J. Škarohlíd, I. Kratochvílová; F. Fendrych; A. Taylor: Nuclear reactor having a layer protecting the surface of zirconium alloys, US 20190080806 A1.



Obr. 90 Vzorek ZIRLO, pokrytý polykrystalickou diamantovou vrstvou a magnetronově naprašovaným Cr (A) před a (B) po testech v horké páře 900–1000 °C.

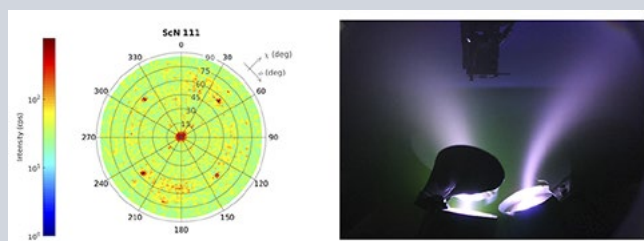
2.4.12 ScN tenké vrstvy pro termoelektrické aplikace

V posledním desetiletí došlo ke zvýšenému zájmu o vývoj technologií pro účinné získávání energie z tepelných zdrojů. Jednou z možností provedení této konverze je termoelektrická zařízení fungující na principu Seebeckova efektu v materiálu s teplotním gradientem. Vhodným kandidátem tohoto termoelektrického materiálu je nitrid skandia (ScN). Tento polovodivý materiál s přímým gapem má několik zajímavých vlastností, mezi něž patří zejména mechanická pevnost, vysoký bod tání, velká mobilita elektronů a podobnost struktury s GaN, což jej činí zajímavým materiálem pro integraci s tímto velice perspektivním polovodičem. Metodou magnetronového naprašování v ultravysokém vakuu, obr. 91, jsme připravili heteroepitaxní vrstvy na MgO substrátech. Byly připraveny vysoce kvalitní epitaxní vrstvy ScN(002)/MgO(002) s mozaikovou strukturou, obr. 91. Nicméně jedním z velikých problémů využití těchto materiálů je jejich oxidace po vystavení

povrchu atmosférickému kyslíku. Z toho důvodu jsme pomocí NanoESCA a UHV vakuového kufříku definovaně vystavovali vrstvy ScN atmosférickým podmínkám a následně analyzovali strukturu a kompozici povrchů metodami fotoelektronové spektroskopie a mikroskopie. Prezentovali jsme práci [33] o oxidačních a hydrolyzních reakcích ScN při vystavení definovaným atmosférickým podmínkám. Byla pozorována silná korelace mezi úrovní oxidace a krystalizací vrstvy ScN.

LITERATURA

- [33] J. More-Chevalier, S. Cichoň, L. Horák, J. Bulíř, P. Hubík, Z. Gedeonová, L. Fekete, M. Poupon, J. Lančok, Correlation between crystallization and oxidation process of ScN films exposed to air, *Applied Surface Science* **515** (2020) 145968. doi.org/10.1016/j.apsusc.2020.145968



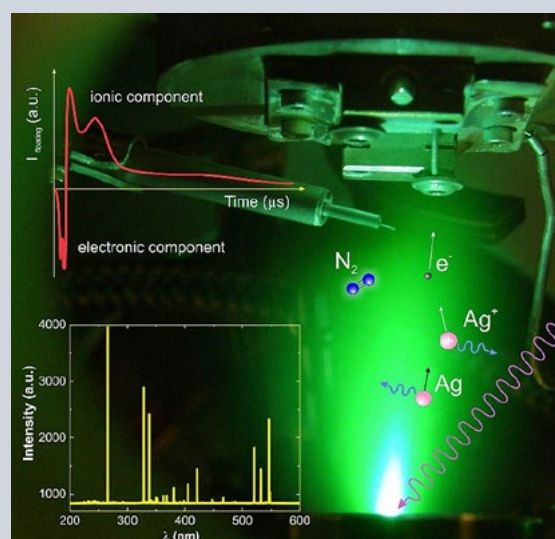
Obr. 91 Pólový obrazec (111) orientace difrakčních maxim demonstrující epitaxní růst tenkých vrstev ScN na MgO substrátě vlevo, fotografie depozičního procesu přípravy ScN vrstev magnetronovým naprašováním v UHV komoře.

2.4.13 In-situ monitorování depozičního procesu

Pulsní laserová depozice je metoda široce používaná pro přípravu široké škály materiálů zejména pro aplikovaný a základní výzkum. Tuto metodu jsme zvolili pro přípravu stříbrných nanostrukturálních vrstev a nanočástic pro využití v plasmonice a optice. Sledovali jsme dynamiku přechodových jevů plazmatu generovaného ns laserovým pulsem ze stříbrného terče v dusíkové atmosféře. Využili jsme principu kombinace Langmuirovy sondy s úhlovým a časovým rozlišením v kombinaci s optickou emisní spektroskopií. Měření pomocí plovoucí sondy byla odhalena přítomnost struktury multipékové proudy silně závislého na úhlu a tlaku dusíku, obr. 92. Plyn N_2 vede ke zvýšení excitace procesu a celkovou termalizace plazmy [34].

LITERATURA

- [34] S. A. Irimeciuc, S. Chertopalov, V. Craciun, M. Novotný, J. Lancok, Investigation of laser-produced plasma multistructuring by floating probe measurements and optical emission spectroscopy, *Plasma Process Polym.* **17** (2020) 2000136. doi.org/10.1002/ppap.202000136



Obr. 92. Plazma generované laserovou ablací stříbrného terče charakterizovaná in-situ pomocí Langmuirovy sondy a optické emisní spektroskopie.

2.4.14 Vrstvy černých kovů ve strukturách pro chemické senzory

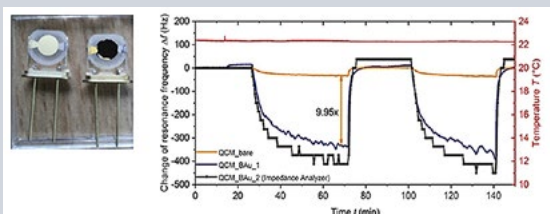
Ve spolupráci s Vysokou školou chemicko-technologickou v Praze probíhá výzkum nových typů senzorů plynů využívající křemenných krystalových rezonátorů (QCM) s citlivými vrstvami obsahujícími černé kovy dekorované organickými receptory (ftalocyaniny a porfyriny). Tyto senzory mohou být využívány pro detekci různých plynných analytů, zejména obsahujících v molekule dusík, a to včetně taggantů výbušnin. Základní myšlenkou je využití černých kovů – neboť hodnoty jejich mechanických parametrů (střížného modulu pružnosti a akustické impedance) jsou blízké hodnotám pro křemen – v synergii s malým množstvím organických látek, které plní roli receptorů specifických pro daný analyt. Tento přístup umožňuje snížit mez detekce a zvyšuje selektivitu křemenného krystalového rezonátoru při

zachování vysoké hodnoty činitele jakosti, obr. 93. Pro přípravu vrstev černých kovů byla nově vyvinuta metoda využívající magnetronové naprašování, kde byly objasněny mechanismy jejich růstu, obr. 94 [35]. Dále se používá pro přípravu vakuové naprašování.

LITERATURA

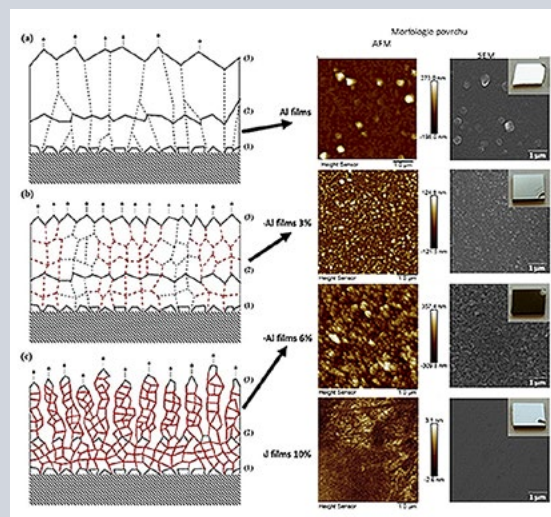
- [35] J. More-Chevalier, M. Novotný, P. Hruška, L. Fekete, P. Fitl, J. Bulíř, P. Pokorný, L. Volfová, S. Havlová, M. Vondráček, J. Lančok, Fabrication of black aluminium thin films by magnetron sputtering, *RSC Advances* **10** (2020) 20765–20771.

doi.org/10.1039/D0RA00866D



Obr. 93 Srovnání odezvy QCM senzoru pro lesklé a černé zlato při detekci par etanolu.

Obr. 94 Mechanismus růstu a morfologie povrchu vrstev černého hliníku připravovaných pomocí DC pulzního magnetronového naprašování ve směsi pracovních plynů Ar/N₂. Koncentrace N₂: a) 0 %, b) 3 %, c) 6 %.



2.4.15 Aparatura pro komplexní charakterizaci vlastností materiálů pomocí tepelně stimulovaných jevů

Pevné látky, především dielektrika a polovodiče, jsou již po desítky let s větším či menším úspěchem zkoumány v jejich nejpřirozenější podobě – krystalické fázi. Látky v krystalické fázi jsou z teoretického hlediska popsány pásovým modelem pevné látky. Jednou z úspěšných metod jejich výzkumu je skupina metod stimulovaných jevů – TSP (stimulované emise tepelné nebo optické), která svými výsledky umožňuje získat představu o struktuře, různých poruchách, energiích, transportech nábojů a přechodech ve zkoumaných látkách, a to jak v bulku, tak i v oblastech rozhraní – povrchu. V literatuře jsou popisována měření stimulovaných jevů většinou jednotlivě, např. tepelně stimulovaná luminiscence [36], výjimečně dvou jevů současně. A to v teplotních rozsazích od pokojové teploty do 400 °C, nebo od teplot kapalného dusíku či heliových, ale v celém teplotním rozsahu (4 K až 800 K)

je známo velice málo experimentálních zařízení kombinujících více tepelně/opticky stimulovaných jevů současně. Kombinovaná měření dovolují určit komplexní parametry materiálu jako je vazební energie, polohy příslušných poruch v zakázaném pásu, jejich excitační hladiny, emisní vlastnosti příslušných pochodů, desorpční energii a teplotní stabilitu.

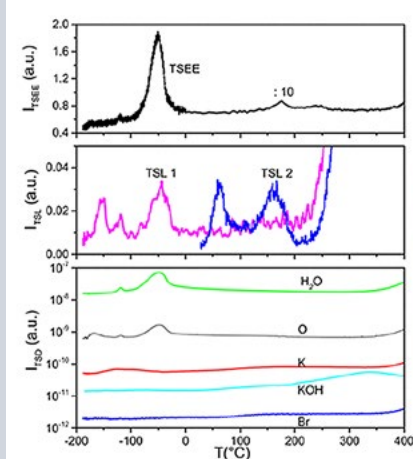
V Oddělení nízkoteplotního plazmatu byla navržena, realizována a otestována unikátní vakuová aparatura pro měření současně více stimulovaných jevů v dielektrikách a polovodičích. Umožňuje současná měření stimulovaných jevů jako funkce teploty T (lineárně od LN2 do 400 °C) a vlnové délky λ . Jedná se o tepelně stimulovanou exo-elektronovou emisi, luminiscenci a desorpci (TSEE, TSL a TSD), obr. 95. [37], opticky stimulovanou exo-elektronovou emisi, opticky stimulovanou luminiscenci a opticky stimulovanou desorpci

(OSEE, OSL a OSD). Byl vyvinut software pro analýzu dat pomocí několika modelů. Navíc návrh konstrukce aparatury předpokládá do budoucna i možnost měřit tepelně/opticky stimulovanou vodivost (TSC, OSC).

Dvourozměrné a kvazi dvourozměrné monovrstvové systémy a jim podobné Van-der-Waalsovy krystaly jsou běžně objektem intenzivního výzkumu. Tyto materiály vykazují často unikátní elektronové, tepelné a optické vlastnosti. Systémy s těžkými kovy a velkou spin-orbitální interakcí jsou velmi zajímavé z hlediska spin polarizované pásové struktury, komplexního magnetického uspořádání a topologického fázového přechodu. Složitost těchto materiálů je perspektivní z hlediska budoucích aplikací, tj. v oblasti spintroniky, termoelektroniky nebo technologie solárních cel.

LITERATURA

- [36] P. Pokorný, M. Novotný, J. Lančok, Luminescence properties of Lucalox-CS alumina substrates, *Materials Chemistry and Physics* **252** (2020) 123262(1)-123262(6).
doi.org/10.1016/j.matchemphys.2020.123262
- [37] P. Pokorný, M. Novotný, Y. Dekhtyar, A. Lushchik, P. Hruška, P. Fitl, J. Musil, R. Jaaniso, J. Lančok, Simultaneous measurements of thermostimulated exo-electron emission, luminescence, and desorption from a KBr single crystal, *Optical Materials* **109** (2020) 110223(1)-110223(6).
doi.org/10.1016/j.optmat.2020.110223



Obr. 95 Kombinace tepelně stimulované exo-elektronové emise (TSEE), luminiscence (TSL) a desorpce (TSD) pro materiál KBr, v celém měřicím rozsahu teplot $\Delta T = \text{LN2} - 400^\circ\text{C}$. RNDr. P. Pokorný, CSc. při nastavování systému pro TSD měření na aparatuře.

2.4.16 Micro-ARPES 2D materiálů

NanoESCA spektrometr ve FZÚ nabízí optimální kombinaci přípravy v UHV podmínkách s m-ARPES a m-XPS metodami pro výzkum lokální elektronové struktury a chemických vlastností v oblasti o rozměrech mikrometrů, tj. ostrůvcích 2D materiálů, obr. 96. Běžné ARPES zařízení nenabízejí tuto kombinaci s elektronovou mikroskopií, a proto neposkytuje rozlišení na tomto měřítku. V posledních letech jsme prováděli výzkum 2D materiálů deponovaných pomocí CVD techniky chalkogenidech přechodových kovů (MoS_2 , WSe_2 ...), grafenu a h-BN vloček nebo MBE deponovaných Fe chalkogenidů (FeSe , FeTe) a topologických izolátorů na bázi chalkogenidů [38,39,40].

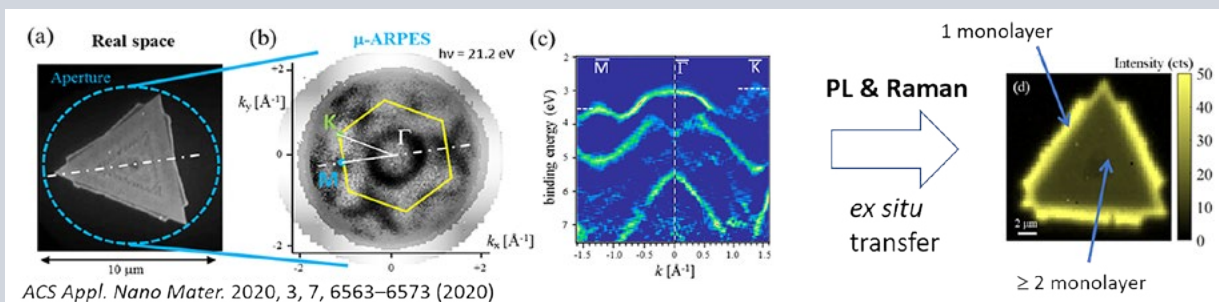
Studujeme vlastnosti rozhraní mezi 2D materiály a různými substráty. Ukázali jsme, že dopování grafenu závisí na krystalografickém zakončení měděného substrátu, je rozdíl mezi (111) a (100) rovinou [33]. Pro chalkogenidy přechodových kovů byl pozorován efekt na rozhraní mezi vybranými oblastmi mm-širokými MoS_2 a Au nebo SiO_2 substráty pomocí fotoemise a ex

situ optických metod: kombinací získaných dat m-Ramana a NanoESCA m-fotoemisní spektroskopie byla vysvětlena podstata přenosu náboje MoS_2 -Au a jeho využití při technologickém uplatnění MoS_2 [38,39].

LITERATURA

- [38] M. Velický, A. Rodriguez, M. Bouša, A. Krayev, M. Vondráček, J. Honolka, M. Ahmadi, G. Donnelly, F. Huang, H. Abruña, K. Novoselov, O. Frank, Strain and Charge Doping Fingerprints of the Strong Interaction between Monolayer MoS_2 and Gold, *J. Phys. Chem. Lett.* **11** (2020) 6112–6118.
doi.org/10.1021/acs.jpcclett.0c01287
- [39] T. Verhagen, A. Rodriguez, M. Vondráček, J. Honolka, S. Funke, M. Zlámalová, L. Kavan, M. Kalbac, J. Kalbacova-Vejpravova, O. Frank, Chemical Vapor Deposition of MoS_2 for Energy Harvesting: Evolution of the Interfacial Oxide Layer, *ACS Appl. Nano Mater.* **3** (2020) 6563–6573.
doi.org/10.1021/acsanm.0c01028

- [40] J. Fikáček, V. Stetsovych, M. Vondráček, P. Procházka, S. Průša, L. Kormoš, J. Čechal, O. Caha, T. Skála, P. Vlačík, K. Carva, G. Springholz, J. Honolka, Step-edge assisted large scale FeSe monolayer growth on epitaxial Bi_2Se_3 thin films, *New Journal of Physics* **22** (2020) 073050.
doi.org/10.1088/1367-2630/ab9b59

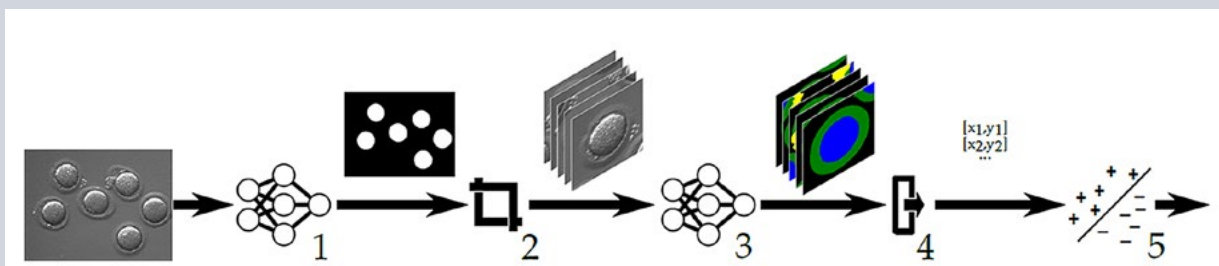


Obr. 96 Výsledky získané pomocí fotoelektronové mikroskopie (a) a μ -ARPES spektroskopie (b–c) na malých trojúhelníkovitých ostrůvcích MoS_2 deponovaných na Si substrátech pokrytých přirozeným oxidem. Pravá strana prezentuje výsledky získané pomocí ex-situ Ramanové spektroskopie.

2.4.17 Kryoprotekce

V roce 2020 jsme pokračovali ve studiu stavu lidských oocytů (vajíček) během maturace a následné kryoprezervace. Ve spolupráci s 1. lékařskou fakultou Univerzity Karlovy 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 Fakulty elektrotechnické ČVUT byla vytvořena neuronová síť, která stanoví pravděpodobnost úspěšnosti (tj. oplodnitelnosti) oocytů v IVF cyklu. Cílem práce bylo studium stavu lidských oocytů během zrání a následné

kryokonzervace a následný návrh plně automatizované klasifikace oocytů. Vstupem pro automat byl mikroskopický obraz oocytů. Následně byly polohy oocytů určeny pomocí rychlé a účinné konvoluční neuronové sítě (CNN). Detekované polohy se používaly k extrakci okolí oocytů, čímž se vytvořilo několik obrazů s menším prostorovým rozlišením. Dále byly obrazy převáděny do jiné, složitější CNN, která produkuje pixelové segmentace oocytů. Poté se segmentace spolu s obrazy oocytů použijí k odvození vektoru rysů pro každý oocyt, který popisuje jejich morfologické a geometrické vlastnosti. Nakonec jsou získané vektory funkcí předány do podpůrného vektorového systému, což vede ke konečné klasifikaci, obr. 97.



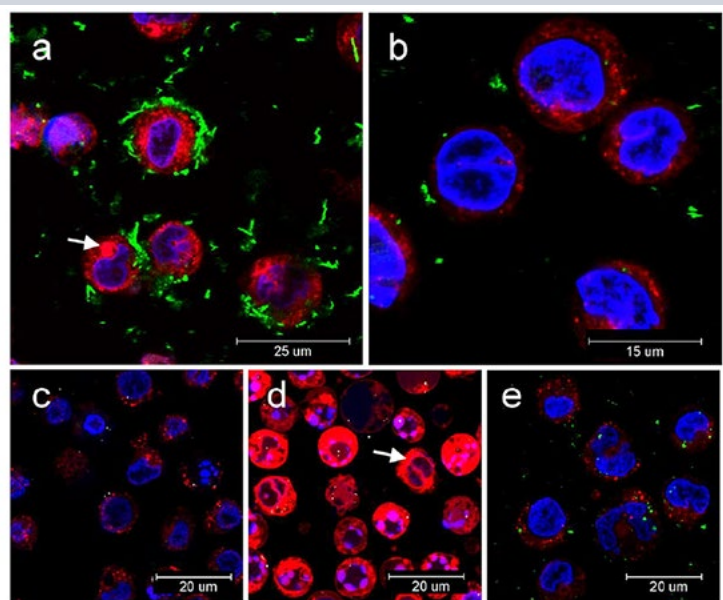
Obr. 97 Proces automatického zpracování fotografií oocytů.

2.4.18 Nanočástice pro bioaplikace

Zaměřili jsme se na nanočástice pro léčiva, vakcíny a diagnostické konstrukty, které kromě funkčních látek obsahují specifické vektory a nosiče (lipozomy a grafenové destičky, uhlíkové nanotrubičky). Optimalizovali jsme vlastnosti nanočástic z hlediska funkčnosti a stavu v různých biologických prostředích. In vitro jsme prokázali prozánětlivý potenciál uhlíkových nanomateriálů (grafen, uhlíkové nanotrubičky), obr. 98. Grafenové destičky, stejně jako uhlíkové nanotrubičky, nejsou plně biologicky rozložitelné materiály, a proto, ačkoliv nejsou akutně toxické v rámci různých povrchových úprav, mohou způsobit chronické následky a problémy při dlouhodobé expozici a to v důsledku akumulace ve tkáních a orgánech [41].

LITERATURA

- [41] T. Svadlakova, F. Hubatka, P. Turanek, Knotigova, P. Kulich, J. Masek, J. Kotoucek, J. Macak, M. Motola, M. Kalbac, M. Kolackova, R. Vankova, P. Vicherkova, A. Malkova, P. Simeckova, Y. Volkov, A. Prina-Mello, I. Kratochvilova, Z. Fiala, M. Raska, J. Krejsek, J. Turanek, Proinflammatory Effect of Carbon-Based Nanomaterials: In Vitro Study on Stimulation of Inflammasome NLRP3 via Destabilisation of Lysosomes, *Nanomaterials* **10** (2020) 1–18.
doi.org/10.3390/nano10030418



Obr. 98 Fluorescenčně mikroskopické zobrazení reakce buněk na přítomnost uhlíkových nanočástic. (a) uvolňování katepsinu B (červená fluorescence) po 24 hodinách inkubace s MWCNT (zelená fluorescence) (b) uvolňování katepsinu B po 24 hodinách inkubace s GP2 (zelená fluorescence) (c) negativní kontrola, (d) uvolňování katepsinu B po rozložení lysosomů (e) uvolňování katepsinu B po 24 hodinách inkubace s GP1 (zelená fluorescence)

2.4.19 Národní centrum kompetencí MATCA

Fungování centra navazuje na strategii definovanou Radou centra v roce 2019, jedná se primárně o přípravu a realizaci dílčích projektů v definované kvalitě a s konkrétním zaměřením. V roce 2020 bylo zahájeno 7 nových dílčích projektů a dalších 5 pokračovalo z předešlého období. Centrum rozvíjí zejména aditivní, plazmatické a laserové technologie, povrchové úpravy, simulace, analýzy a digitalizaci.

Projekty, které se zaměřují na oblast aditivní technologie, se věnují především analýze a optimalizaci dostupných materiálů, obr. 99, přenositelnosti tiskových parametrů a zefektivnění tisku samotného. Rozvíjí se zde také příprava feedstocků z perspektivních a komerčně nedostupných materiálů, vývoj technologického postupu výroby hmotných dílů pomocí technologií MIM a ověření vlivu technologie HIP na finální mechanické vlastnosti MIM dílů.

Projekt plazmatického zplyňování nebezpečného odpadu začal již v roce 2019 a v minulém roce se věnoval provádění sérií experimentů s dalšími typy směsných materiálů používaných jako palivo v plazmatickém reaktoru. Hlavním výsledkem bylo srovnání energetického a ekonomického potenciálu referenčních paliv a simulovaného nemocničního odpadu, který svým složením nejvíce odpovídá materiálu paliva při skutečném komerčním nasazení.

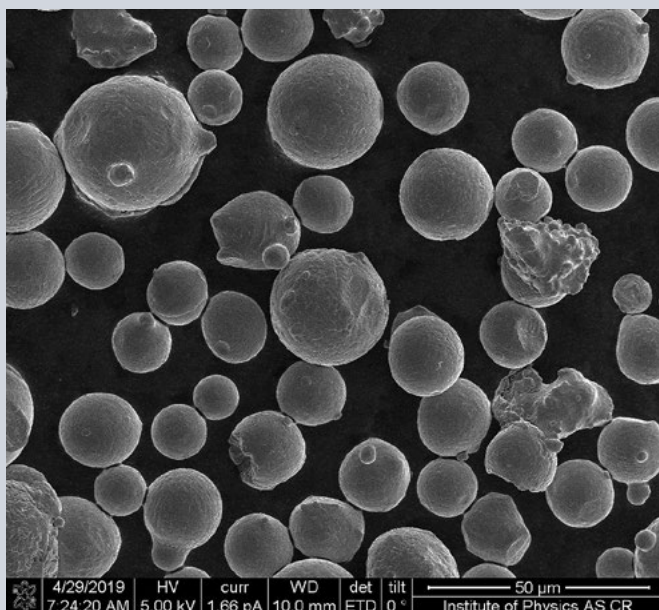
Projekty zaměřující se na plazmové povlakování (obr. 100) se zabývají ověřením možnosti použití plazmatické povlakovací technologie patentované Fyzikálním ústavem pro depozici vrstev na tvarově komplexní součásti. V průběhu projektu se podařilo optimalizovat deponované vrstvy jak z pohledu tloušťky a chemického složení, tak odolnosti proti opotřebení. Dalším směrem výzkumu je úprava a vývoj stávajícího

povlakovacího zařízení s cílem zvýšení rychlosti povlakování a tím efektivity celého procesu. Další výzkumně vývojový dílčí projekt byl zaměřen na vývoj zařízení pro zvýšení depoziční rychlosti HiPIMSu použitím balíčku pulzů. Změřené parametry plazmatu prokázaly, že zařízení je schopné zdvojnásobit depoziční rychlost při zachování ionizačního stupně rozprášených částic. Pro verifikaci výsledků byla realizována měření depoziční rychlosti, toků atomů i iontů rozprášených částic a určení jejich ionizačního poměru.

Projekt COVID-19 je unikátní projekt zaměřený na pomoc v boji proti onemocnění covid-19 za využití technologií a znalostí rozvíjených v NCK MATCA. Při řešení dílčího projektu byly primárně využity aditivní, povlakovací a pokročilé technologie, které umožnily dosáhnout kýžených výsledků ve 4 separátních a navzájem nezávislých výstupech: vývoj a výroba testovacího zařízení na kontrolu kvality sériově vyráběných polomasek RP-95M, obr. 101; desinfekce používaných P3R filtrů a tím zvýšení jejich životnosti a bezpečnosti při opakovaném použití; optimalizaci a zvýšení rychlosti

detekce viru SARS-CoV-2 v lidském organismu pomocí vývoje nového detekčního systému na bázi polymerních ultra rezistentních kartáčů a příprava antivirálních a antibakteriálních povlaků pro zvýšení pasivní ochrany obyvatelstva při kontaktu s potenciálně infekčními plochami jako např. kliky, madla, tlačítka atd. ve zdravotnických zařízeních.

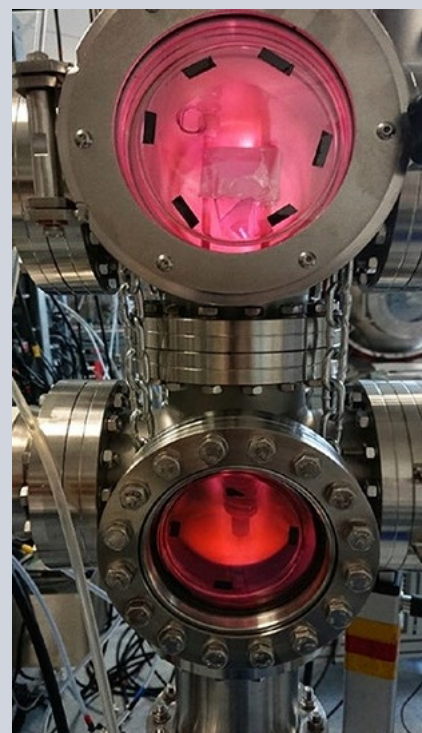
Otevřená a kooperativní atmosféra, která v NCK MATCA panuje, posouvá vzájemnou spolupráci o stupeň výš než na pouhou spoluúčasť na dílčích projektech. Systematickými kroky se daří upevňovat stávající vztahy jak vně FZÚ s průmyslovými a dalšími akademickými partnery, tak i uvnitř FZÚ, a to především spoluprací s dalšími sekcemi. Dobře fungující celek je zároveň atraktivním partnerem pro ostatní instituce, takže se již v prvních dvou letech implementace centrum rozšířilo, navázalo důležitou spolupráci s digitálním inovačním centrem B4I, získalo několik důležitých externích partnerů a katalyzovalo spolupráci v rámci dalších programů VaV.



Obr. 99 NCK MATCA analýza částic 3D tiskového prášku pomocí skenovacího elektronového mikroskopu.



Obr. 101 NCK MATCA testovací zařízení na kontrolu kvality sériově vyráběných polomasek RP-95M.



Obr. 100 NCK MATCA povlakovací komora.

2.5. Sekce výkonových laserů v roce 2020

108

V červenci 2020 došlo k úpravě vnitřní organizační struktury sekce a změně jejího názvu na sekci výkonových laserů – Centrum HiLASE. Klíčovým pilířem sekce je pracoviště HiLASE v Dolních Břežanech, které nově tvoří tři vědecká oddělení: vývoje pokročilých laserů, průmyslových aplikací laserů, vědeckých aplikací laserů, a dvě podpůrná oddělení: inženýrské a technické podpory, řízení projektů. Druhou část sekce pak tvoří oddělení radiační a chemické fyziky – Centrum PALS a oddělení technické podpory center PALS a HiLASE, obě umístěné na pracovišti Slovanka. Toto uspořádání odráží vysokou míru autonomie Centra HiLASE v souladu s dlouhodobým strategickým plánem rozvoje centra a požadavky v rámci klíčového projektu *HiLASE Centre of Excellence* (H2020 / OP VVV).

Navzdory nepříznivé epidemiologické situaci a výrazným omezením života celé společnosti naše výzkumné aktivity pokračovaly a laserové infrastruktury HiLASE a PALS nebylo nutno uzavřít, ale pouze upravit režim jejich provozu. Obě laserová centra jsou členy mezinárodní sítě laboratoří Laserlab Europe a poskytují významnou část kapacity pro experimenty externích uživatelů v rámci otevřeného přístupu (Open Access). V této souvislosti je dobré zmínit, že v červnu 2020 uplynulo již dvacet let od inaugurace Centra PALS – společné laboratoře Ústavu fyziky plazmatu AV ČR a Fyzikálního ústavu. Celkem v Centru PALS proběhlo za uplynulých dvacet let 123 experimentálních kampaní, což je obrovský úspěch.

I ve složitém roce 2020 se nám podařilo získat řadu významných výsledků v oblasti laserového výzkumu, vývoje, aplikací a inovací. Ve spolupráci s ELI-Beamlines, firmou Crytur, spol. s r.o., a STFC jsme na systému Bivoj úspěšně otestovali monokrystaly vypěstované novou metodou, které se hodí do laserových zesilovačů s vysokou výstupní energií a středním výkonem. Postavili jsme a uvedli do provozu nový kompaktní laser Perla 100 optimalizovaný dle požadavků

zákazníka. Uzavřeli jsme licenční smlouvu s německou spin-off firmou Lasertechnologie, kterou založil náš bývalý kolega, Dr. Jörg Körner. Úspěšně proběhly uživatelské experimenty v rámci programu Open Access, např. měření akumulace tepla při mikroobrábění pomocí laseru Perla C s průměrným výkonem 150 W (uživatel z Centra aplikovaného výzkumu Západočeské univerzity v Plzni) nebo vysoce přesné měření energie pulzu laseru Bivoj pomocí měření tlaku záření (uživatel z National Institute of Standards and Technology, USA). Kromě toho jsme organizovali řadu tematických webinářů, online workshopů a prezentovali naše výsledky na virtuálních konferencích. A závěrem roku se naší mladé kolegyni Denise Štěpánkové podařilo získat úžasné první místo v soutěži Ceny Crytur 2020 za její práci na téma optimalizace časových parametrů a tvarování laserových pulsů.

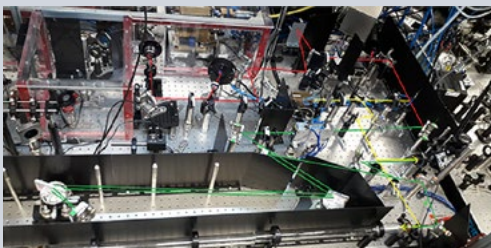
2.5.1 Vývoj pikosekundových tenkodiskových laserů pro aplikace

Vysokovýkonné lasery generující pikosekundové impulzy, což je i případ tenkodiskové platformy Perla plně vyvinuté v centru HiLASE, jsou založeny na technice zesilování prodloužených (čerpovaných) pulsů (CPA). CPA technika redukuje řízenou disperzi špičkový výkon v zesilovačích a umožňuje účinné zesílení ultrakrátkých pulsů bez jejich optického poškození. Po zesílení se pak impulzy zkracují optickými kompresory. Vývoj Yb:YAG tenkodiskové platformy Perla 500, která v předchozích letech dosáhla středního výkonu až 550 W v nekomprimovaných pulsech na vlnové délce 1030 nm, pokračoval optimalizací kompresoru pulsů (obr. 102). Podrobně byla zkoumána řešení s čerpovanou objemovou braggovskou mřížkou (CVBG) a kompresor s párem dielektrických transmisních mřížek. Hlavní částí velmi kompaktního a robustního CVBG kompresoru je blok fototermorefraktivního skla se zapsanou aperiodickou modulací indexu lomu. Jednotlivé spektrální složky se pak odrazí v různé hloubce mřížky a tím dojde ke zkrácení zesíleného pulsu. Nevýhodou tohoto prostorově úsporného řešení je zbytková absorpce záření ve skle mřížky, která vede ke vzniku tepelné čočky a celkově k degradaci kvality laserového svazku. Dosud byly podobné kompresory využity pro svazky s výkony do desítek Watt. Provedli jsme experimentální i výpočetní analýzu CVBG, která naznačuje, že hranice praktické využitelnosti mřížek s disperzí cca 200 ps/nm a šířkou pásma 3 nm se nachází u středního výkonu 30 W.

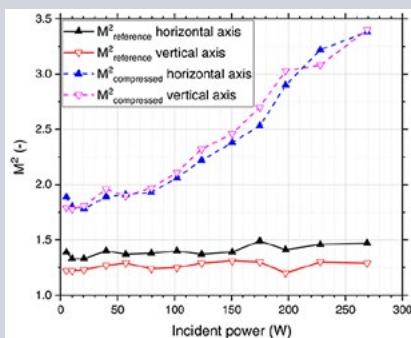
Obr. 103 znázorňuje pokles kvality laserového svazku popsaný parametrem M^2 s rostoucím středním výkonem laseru ve srovnání s referencí, kdy CVBG byla nahrazena rovinným zrcadlem. Degradace svazku snižuje fokusovatelnost svazku a využitelnost laseru pro aplikace jako laserové vícesvazkové mikroobrábění. Nad 270 W dochází kvůli vysoké teplotě k riziku rozpadu mřížky [1]. Kvalita svazku v kompresoru s dielektrickými transmisními mřížkami se pohybuje v oblasti 1,3–1,4 a přibližně kopíruje referenční křivku v obr. 103 až do plného výkonu laseru 500 W.

Nehomogenní tepelné namáhání mřížky způsobuje i nedokonalou kompresi pulsů se vznikem těžko kompenzovatelné disperze vyšších řádů, která výrazně redukuje špičkový výkon pulsů. Obr. 104(a) ukazuje růst doby trvání pulsu vlivem rostoucího středního výkonu bez zásahu a s drobným doladěním disperze, která je dosažitelná optimalizací teploty prodlužovače pulsů. Intenzitní autokorelace prokazuje výraznou deformaci pulsu v obou případech. Podobně jako u kvality svazku, kompresor s dielektrickou transmisní mřížkou problém eliminoval při nízkých (červená) i vysokých výkonech (černá, obr. 104(c)).

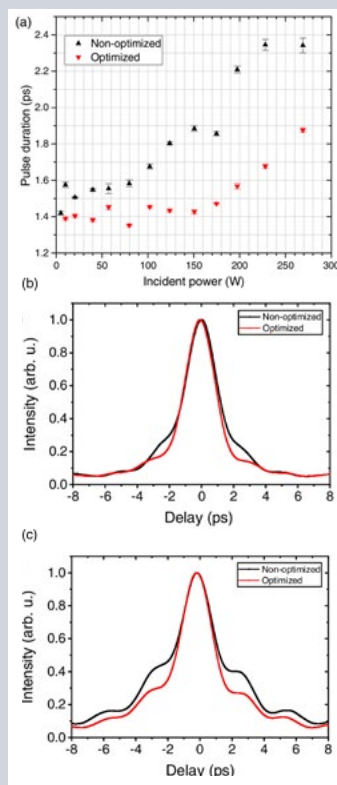
Provedli jsme také numerickou studii teplotních jevů v CVBG použitých pro kompresi vysokovýkonných laserů [2]. Vyvinutý numerický kód umožnil analyzovat rozložení tepla v mřížce a jeho vliv na degradaci kvality svazku. Výpočty byly provedeny pro případ laseru s aktivním prostředím z materiálu Yb:YAG s prů-



Obr. 102 Fotografie kompresoru pulsů laserového systému Perla 500 s vyznačeným chodem laserových svazků.



Obr. 103 Degradace kvality svazku laseru Perla 500 s rostoucím výstupním výkonem po kompresi CVBG kompresorem pulsů (čárkovaně) ve srovnání s odrazem od referenční plochy (plná čára).



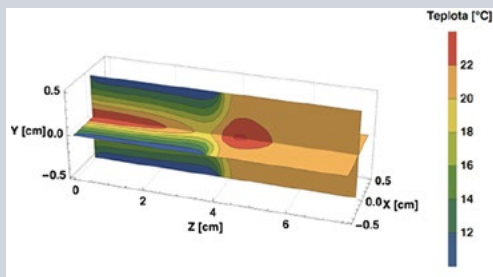
Obr. 104 (a)

Rostoucí doba trvání laserového pulsu s rostoucím středním výkonem po kompresi CVBG kompresorem; (b) intenzitní autokorelace komprimovaného pulsu CVBG kompresorem s patrnou degradací dispersními jevy vyšších řádů; (c) intenzitní autokorelace pulsu komprimovaného transmisními dielektrickými mřížkami na 1 ps [1].

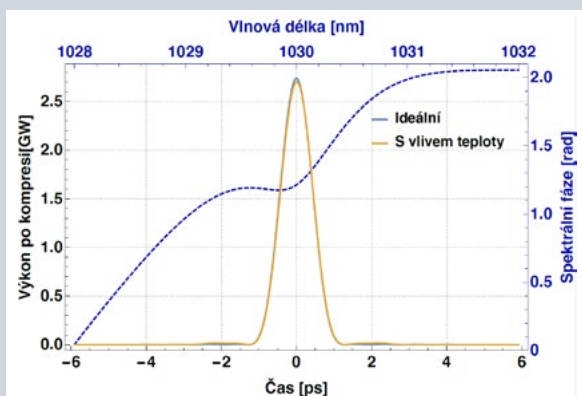
měrným výkonem 250 W. Analyzovány byly vlastnosti jako rozložení tepla v CVBG, teplotní čočka, změna směru šíření paprsků a změna tvaru komprimovaného impulsu. Modelování jevů komplikuje axiální teplotní gradient, který generuje různě velkou tepelnou čočku pro jednotlivé spektrální složky pulsu (každá složka se odráží v jiné části čerpované mřížky). Model předpověděl pokles špičkového výkonu vlivem nekompenzovaných teplotních jevů o 40 %. S využitím modelu byly zkoumány možné metody kompenzace nežádoucích jevů, které by minimalizovaly ztráty špičkového výkonu. Tyto metody byly založeny na nehomogenním chlazení CVBG. Zajímavou a zároveň jednoduchou metodou se ukázalo být chlazení bočních stěn zhruba poloviny mřížky na straně, kde do ní vstupuje výkonný svazek. Rozložení teploty pro tento případ je ukázáno na obr. 105 a průběh ideálně i reálně komprimovaného impulsu je znázorněn na obr. 106. Díky použití této jednoduché metody kompenzace teplotních jevů by mělo být možné dosáhnout téměř ideálního tvaru komprimovaného impulsu.

Kompresi pulsů lineárním disperzním systémem je zdaleka nejpoužívanější, nicméně zajímavou teoretickou možností je i dodatečné zkracování pulsů nad

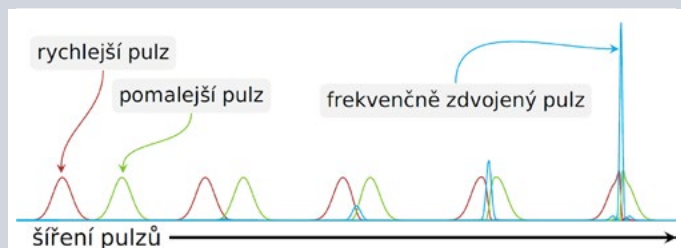
rámeček transformační meze pulsů nelineárními jevy. Teoreticky i experimentálně jsme testovali využití nelineárních jevů druhého řádu [3]. Generace druhé harmonické frekvence z pikosekundových laserových pulsů v nelineárním krystalu se sfázováním typu II se nepoužívá často, neboť se v takovém krystalu běžně dosahuje nižší účinnosti generace než v nelineárním krystalu se sfázováním typu I. Je to způsobené tím, že v krystalu se sfázováním typu II mají vstupní pulzy, jeden s řádnou a jeden s mimořádnou polarizací, jinou grupovou rychlost. Při šíření krystalem se postupně rozejdou, nemohou spolu interagovat a účinně generovat frekvenčně zdvojený pulz. Toto rozcházení se dá předem zkompenzovat – je možné zpoždit rychlejší pulz vůči pomalejšímu ještě před vstupem do krystalu. V nelineárním krystalu se pulzy postupně přibližují a v místě, kde se překrývají, dochází ke generování frekvenčně zdvojeného pulzu. Ten může být mnohem kratší než vstupní pulzy, protože vzniká pouze v krátkém překryvu, který zůstává krátký po celou dobu generace díky tomu, že se vstupní pulzy průběžně vyčerpávají. Náznorně tento mechanismus ilustruje obr. 107. Je důležité, aby výměna energie byla dostatečně silná, což zajistí použití vysokých intenzit, kolem 15 až



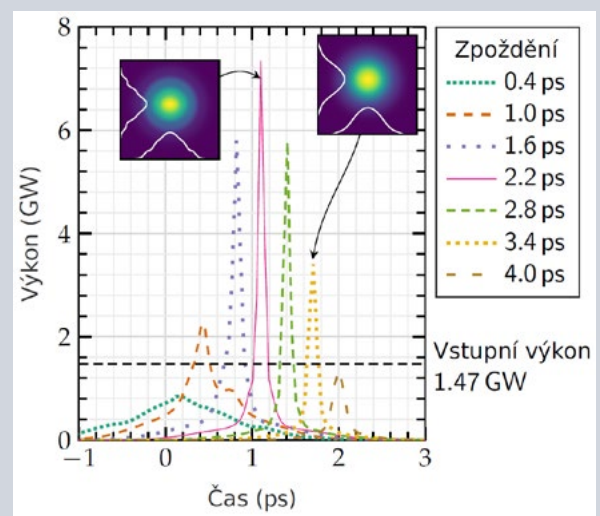
Obr. 105 Rozložení teplot v CVBG kompresoru při chlazení poloviny mřížky s cílem snížit teplotní gradient uvnitř.



Obr. 106 Průběh ideálně komprimovaného pulsu a jeho spektrální fáze při použití optimalizovaného držáku mřížky.



Obr. 107 Náznorné schéma zkracování laserových pulsů při generování druhé harmonické frekvence.



Obr. 108 Špičkový výkon a časový průběh zkrácených laserových pulsů v závislosti na zpoždění interagujících pulsů na základní harmonické frekvenci. Vložen je profil svazku ve dvou ilustračních případech.

20 GW/cm². Ještě důležitější však je, aby měly grupové rychlosti správný vzájemný poměr – grupová rychlost frekvenčně zdvojeného pulzu by měla být přesně v půlce mezi rychlostmi vstupních pulzů. To v nelineárních krystalech obsahujících bor, které mají dobré tepelné vlastnosti a díky tomu dlouhodobě vydrží vysoké intenzity a střední výkony, kterých dosahují lasery vyvinuté v centru HiLASE, což není běžně dosažitelné.

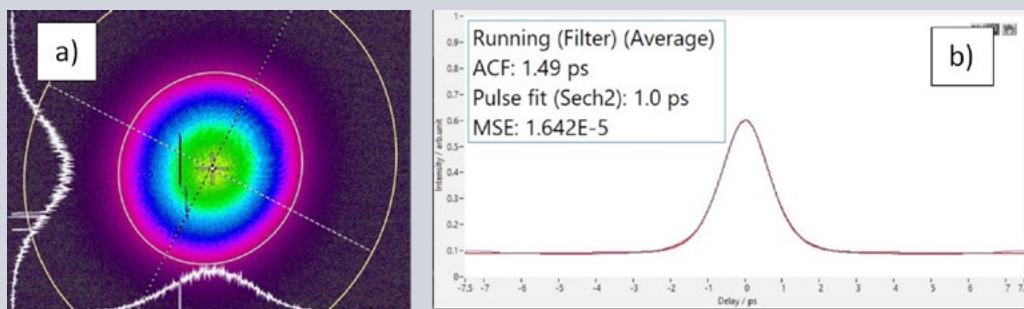
Naštěstí existuje metoda, jak změnit grupovou rychlost mimořádně polarizovaných pulzů, a to pomocí naklání energetických čel vln vůči vlnoplochám, tzv. úhlová disperze. Spočítali jsme, že v nelineárním krystalu BBO je možné získat ideální poměry grupových rychlostí při naklonění energetického čela vlny o přibližně 23°. Díky tomu je možné vygenerovat frekvenčně zdvojené pulzy, které jsou až dvacetkrát kratší než vstupní pulzy, a jejich výkon je oproti vstupu pětinásobný. Bohužel dochází ke zhoršení kvality svazku, ale jednoduchou změnou zpoždění na vstupu do krystalu je možné volit mezi delším pulzem s lepší kvalitou svazku nebo kratším pulzem s horší kvalitou svazku. Toto je názorně ukázáno na obr. 108.

U laserové platformy Perla 100 proběhlo dokončení transformace laboratorního demonstrátoru do komerčního vzorku s úrovní technologické připravenosti 7. První takový systém byl dodán zákazníkovi, české firmě MIT, s. r. o. Komerční platforma Perla 100 je vyvinuta pro střední výkon do 100 W s energií pulsu až 20 mJ. První sestavený systém zahrnuje tenkodiskový regenerativní zesilovač Perla 100 optimalizovaný pro

střední výkon 60 W a opakovací frekvenci 60 kHz, tj. energie pulsu dosahuje 1 mJ a doba trvání pulsu 1 ps při střední vlnové délce spektra 1030 nm. Zdrojem pulsů pro celý CPA system je vláknový oscilátor GoPico se synchronizací módů, rovněž plně vyvinutý v centru HiLASE, následovaný prodlužovačem pulsů a systémem vláknových předzesilovačů. Celý systém Perla 100 je vyvinut modulárně, první kus byl navíc vybaven vlnovou konverzí do druhé (zelená, 515 nm) a čtvrté harmonické frekvence (ultrafialová, 257 nm). Celý systém Perla 100 byl sestaven s ohledem na průmyslové využití v prachotěsném stabilizovaném boxu s profesionálním řídicím systémem dostupným přes PC aplikaci.

Laser Perla 100 poskytuje vynikající kvalitu laserového svazku s parametrem $M^2_{X,Y}$ 1,10/1,13 na základní vlnové délce 1030 nm s profilem svazku v blízké difrakční zóně, viz obr. 109(a). Doba trvání pulsu při plném výstupním výkonu činila 1 ps (obr. 109(b)). Při tomto výkonu byla dosažena vysoká stabilita výstupu se střední kvadratickou odchylkou fluktuací výkonu svazku < 0,24 % a střední kvadratickou odchylkou energie pulsu (pulse-to-pulse) < 0,97 %. Na vlnové délce 515 nm dosahuje systém středního výkonu 30 W se střední kvadratickou odchylkou fluktuací výkonu < 0,56 % a vynikající kvalitou laserového svazku $M^2_{X,Y}$ 1,14/1,9. Na čtvrté harmonické frekvenci s vlnovou délkou 257 nm nepřekročil střední výkon pikosekundových pulsů 3 W.

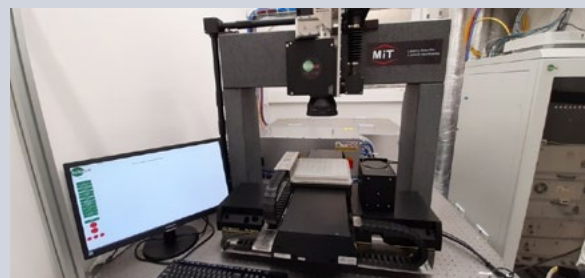
Celý laserový systém byl instalován u zákazníka (obr. 110), kde byl integrován se stanicí pro piko-



Obr. 109 (a) Profil svazku v blízké difrakční zóně při maximálním výstupním výkonu 60 W a opakovací frekvenci pulsů 60 kHz; (b) Intenzitní autokorelace výstupního pulsu s dobou trvání 1 ps při maximálním výstupním výkonu.



Obr. 110 Laser Perla 100 s modulem pro vlnovou konverzi v laboratoři zákazníka.



Obr. 111 Pohled na laserový mikroobráběcí systém vyvinutý centrem HiLASE s laserovým systémem Perla 100 na optickém stole za obráběcí částí. V pravé části fotky je rozvaděč s oscilátorem, budicí diodou, řídicím systémem a zdroji, vlevo PC s ovládací aplikací.



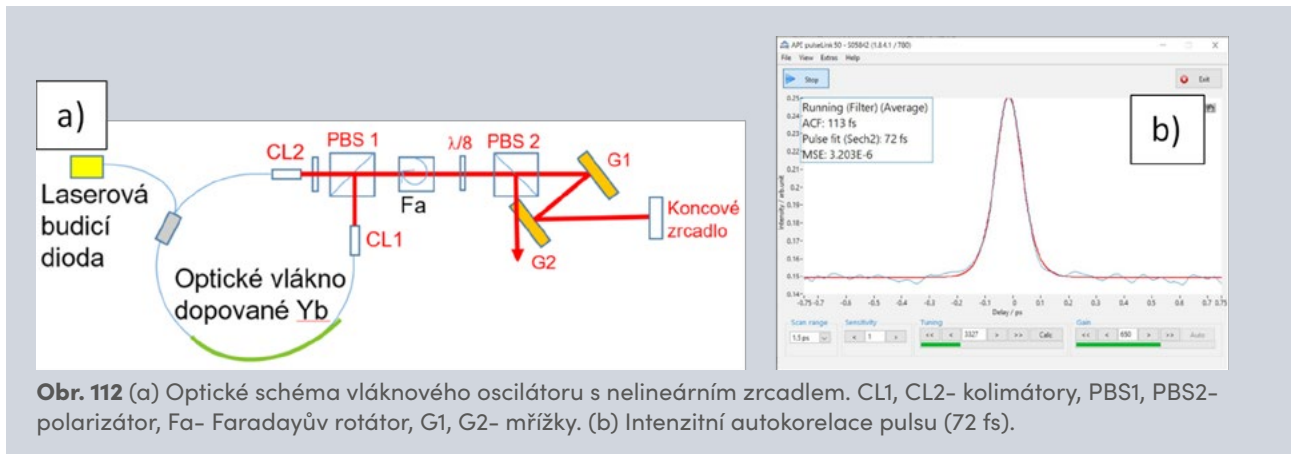
sekundové laserové mikroobrábění sestavené rovněž s významným přispěním centra HiLASE (obr. 111). Obráběcí stanice má kombinovaný systém pro vedení svazků s vlnovou délkou 1030 a 515 nm v jedné optické dráze. Svazky jsou vedeny systémem zrcadel a teleskopů k zrcadlovému galvo-skeneru kombinovanému s víceosou laserovou obráběcí stanicí. Celý systém je integrován do profesionálního řízení obráběcí části s řízením laseru v režimu tzv. Pulse-on-demand a celkově s laserem tvoří unikátní a výkonný nástroj pro hi-tech aplikace.

Skupina vývoje komerčních laserů oddělení 61 přispěla v roce 2020 také s několika novými systémy v oblasti femtosekundových vláknových oscilátorů se synchronizací módů. Systém GoPico s kladnou disperzí (All-Normal Dispersion), který je nyní v rámci oddělení široce využíván, byl podpořen projektem TAČR Gama 2 a byl zlepšen tak, aby modifikovaný oscilátor splňoval provozní a bezpečnostní standardy komerčního zařízení, včetně plánovaného testování za nepříznivých klimatických podmínek. Koncem roku 2020 demonstroval náš tým nový typ laserového oscilátoru se synchronizací módu na bázi nelineárního optického zrcadla, který je zcela novou generací oscilátoru pro platformu Perla 100. Tento typ oscilátoru vykazuje zvýšenou odolnost i v nepříznivých provozních podmínkách a umožňuje využití v reálných průmyslových aplikacích. V zátěžových testech dosahuje oscilátor

dobu trvání pulsu 72 fs při středním výkonu 30 mW, vlnové délce 1030 nm a opakovací frekvenci 58 MHz. Obr. 112 ukazuje optické schéma prototypu a intenzitní autokorelaci indikující dobu trvání pulsu 72 fs.

LITERATURA

- [1] D. Štěpánková, J. Mužík, O. Novák, L. Roškot, V. Smirnov, L. Glebov, M. Jelínek, M. Smrž, A. Lucianetti, and T. Mocek, Experimental study on compression of 216-W laser pulses below 2 ps at 1030 nm with chirped volume Bragg grating, *Appl. Opt.* **59** (2020) 7938–7944. doi.org/10.1364/AO.400415
- [2] S. Cho, O. Novák, M. Smrž, A. Lucianetti, T. J. Yu, and T. Mocek, Numerical analysis of beam distortion induced by thermal effects in chirped volume Bragg grating compressors for high-power lasers, *J. Opt. Soc. Am. B* **37** (2020) 3874–3881. doi.org/10.1364/JOSAB.409434
- [3] M. Duda, O. Novák, M. Smrž, A. Lucianetti, V. Kubeček, and T. Mocek, Numerical study of sum frequency ultrashort pulse compression in borate crystals, *J. Opt. Soc. Am. B* **37** (2020) 3229–3238. doi.org/10.1364/JOSAB.401657



2.5.2 Vývoj kryogenních laserů a technologií

V roce 2020 jsme na laseru Bivoj úspěšně otestovali nové optické prvky s vyšší mezí poškození, a tím otevřeli cestu ke zvýšení výstupní energie. Ve zbytku roku byl Bivoj používán pro široké spektrum interních i externích uživatelských experimentů jako je testování meze poškození optických prvků (LIDT – Laser Induced Damage Threshold) nebo vytvrzování materiálů rázovou vlnou (LSP – Laser Shock Peening). Externí přístup uživatelům byl poskytován také bezplatně v rámci programu Open Access, který přinesl řadu zajímavých výsledků [4].

Pro ověření možností zvýšení energie byl použit předzesilovač, ve kterém byly vyměněny zesilovací disky a zrcadla v koncových stupních. Laserový předzesilovač tak dosáhl energie přes 13 J při opakovací frekvenci 10 Hz a délce pulsu 10 ns po dobu více než 60 minut (obr. 113). To představuje hustotu energie přes 3 J/cm², která by měla umožnit dosáhnout až 150 J v koncovém zesilovači laseru Bivoj.

Ve spolupráci s českou firmou Crytur, spol. s r. o., ELI-Beamlines a britskými partnery z STFC byly úspěšně otestovány zesilovací disky na bázi monokrystalů

(obr. 114) [5]. Monokrystal s absorpční vrstvou (cladded) se zcela vyrovnal doposud používané transparentní keramice (ceramics). Mírně nižší zisk monokrystalu byl způsoben vyšší teplotou disku, protože absorpční vrstva byla blíže aktivní čerpané oblasti než v případě keramiky. Našli jsme tak druhého potenciálního dodavatele zesilovacích disků pro vysokovýkonové vysokoenergetické lasery, které doposud musely využívat keramiku od jediného výrobce na světě v Japonsku.

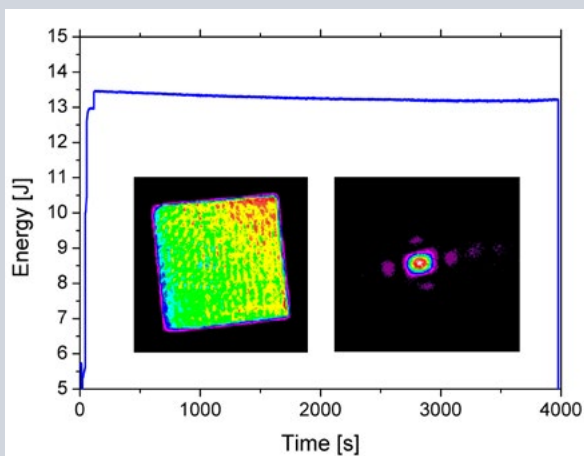
Vývoj nového unikátního Faradayova izolátoru pro kilowattový laser Bivoj pokračoval v roce 2020 především hledáním, vývojem, a testováním speciálních optických a optomechanických komponent. Na základě našich výpočtů byl objednan supravodivý magnet s maximálním magnetickým polem 3,5 T.

V rámci vývoje proběhlo také rozsáhlé testování optických komponent včetně testu odolnosti polarizátorů, magnetoaktivních prvků a antireflexních vrstev. Testy proběhly pro TGG krystal (obr. 115), TGG trans-

parentní keramiku a experimentální vzorek monokrystalu TGG spojeného metodou AFB (adhesive free bonding). LIDT odolnost byla testována u dielektrických multivrstev na polarizátorech a TGG keramice. Na základě výsledků numerických simulací také pokračovalo studium a vývoj fixace magnetoaktivních prvků v magnetickém poli. Návrh vzduchem chlazeného držáku magnetooptických prvků je zobrazen na obr. 116. V rámci vývoje optických izolátorů dále probíhá práce na charakterizaci nových magnetoaktivních materiálů s potenciálem využitelnosti pro Faradayovy izolátory pro různé vlnové délky [6,7].

LITERATURA

- [4] T. Levato, M. Nevrkla, M.F. Nawaz, L. Giuffrida, F. Grepl, H. Zulic, J. Pilar, M. Hanus, M. Divoky, A. Lucianetti, T. Mocek, and D. Margarone, Experimental Study of Nanosecond Laser-

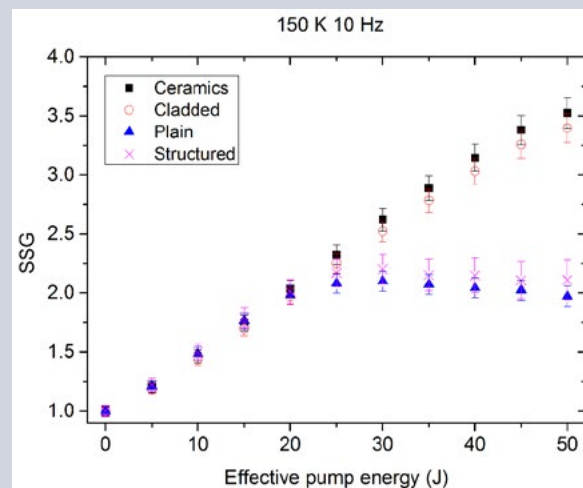


Obr. 113 Výstupní energie z prvního zesilovače systému Bivoj přesáhla 13 J na 10 Hz při testu nových optických prvků. V insetu vlevo je profil svazku v blízké zóně a vpravo pak v daleké zóně.

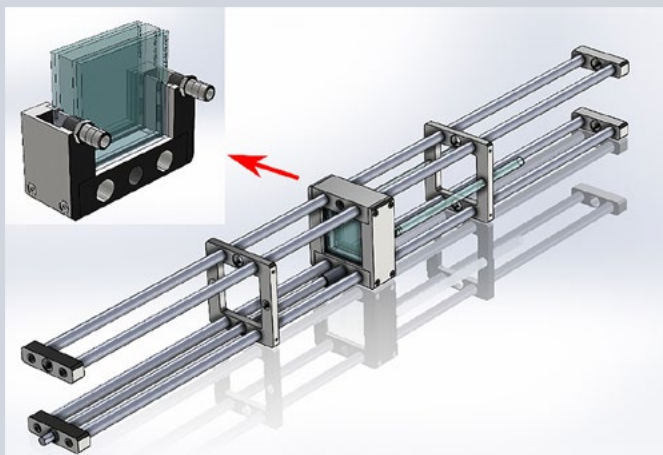


Obr. 115 TGG krystal s rozměrem 69×69 mm².

Obr. 116 Návrh fixace magnetooptických komponent v magnetickém poli. Dva TGG slaby a reciprokový rotátor pro kompenzaci tepelně indukovaného dvojlomu jsou chlazené vzduchem.



Obr. 114 Srovnání zesílení malého (SSG) signálu předzesilovače laseru Bivoj pro různé typy zesilovacích médií na bázi keramiky (ceramics) a monokrystalu (cladded, plain, structured) a různé budící energie (effective pump energy).



- Generated Plasma Channels, *Appl. Sci.* **10** (2020) 4082.
doi.org/10.3390/app10124082
- [5] M. Divoky, J. Pilar, M. Hanus, P. Navratil, M. Sawicka-Chyla, M. De Vido, P. J. Phillips, K. Ertel, T. Butcher, M. Fibrich, J. T. Green, M. Koselja, J. Preclikova, J. Kubat, J. Houzavicka, B. Rus, J. Collier, A. Lucianetti, and T. Mocek, Performance comparison of Yb:YAG ceramics and crystal gain material in a large-area, high-energy, high average-power diode-pumped laser, *Opt. Express* **28** (2020) 3636–3646.
doi.org/10.1364/OE.379713
- [6] D. Vojna, M. Duda, R. Yasuhara, O. Slezak, W. Schlichting, K. Stevens, H. Chen, A. Lucianetti, and T. Mocek, Verdet constant of potassium terbium fluoride crystal as a function of wavelength and temperature, *Opt. Lett.* **45** (2020) 1683–1686.
doi.org/10.1364/OL.387911
- [7] D. Vojna, O. Slezák, R. Yasuhara, H. Furuse, A. Lucianetti, and T. Mocek, Faraday rotation of Dy_2O_3 , CeF_3 and $\text{Y}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ at the mid-infrared wavelengths, *Materials* **13** (2020) 5324.
doi.org/10.3390/ma13235324

2.5.3 Tepelně-optické modelování výkonových laserů a kryogenní spektroskopie

Skupina modelování laserů oddělení 61 se věnovala převážně vývoji nových metod výpočtu tepelně-optických jevů v laserových zesilovačích a jiných optických komponentech a vývoji prostorově rozlišeného polarimetrického měření, které by umožnilo kompletní srovnání výsledků dosažených simulacemi s reálným chováním složitých laserových systémů typu Bivoj z pohledu tepelně indukovaných jevů. Současné možnosti skupiny v oblasti pokročilých tepelně-optických simulací laserových systémů jsou schematicky znázorněny na obr. 117.

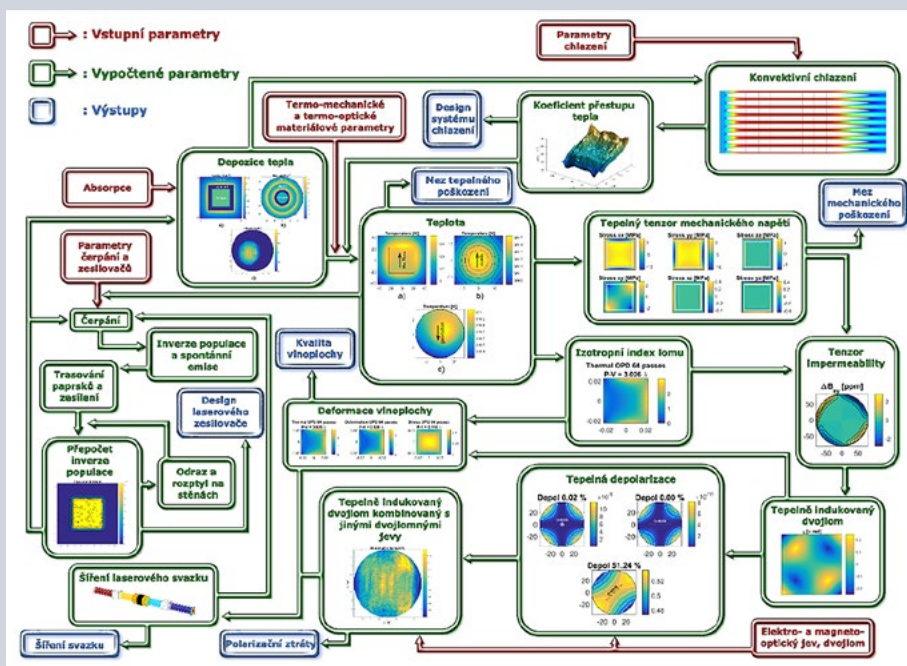
V roce 2020 jsme pracovali na vylepšení algoritmu používaných pro výpočet deformace vlnoplochy tepelně indukovaného dvojlomu. V první polovině roku 2021 bude dokončen vývoj a implementace nového způsobu výpočtu těchto poruch laserového svazku. Nový způsob výpočtu umožňuje prakticky neomezené kombinování tepelně indukovaných optických jevů s jinými optickými jevy, jako je dvojlom v krystalech, elektro- a magneto-optické jevy a další optické jevy ovlivňující šíření laserového svazku materiálovým prostředím. Část nové metody výpočtu tepelně indukovaného dvojlomu byla publikována [8].

Pro ověření správnosti výsledků našich tepelně-optických simulací byla realizována polarimetrická měření průchodu svazku laserovým systémem Bivoj. Tímto způsobem byla získána kompletní prostorově rozlišená Muellerova matice pro průchod jednotlivými částmi laserového systému. Tyto výsledky umožňují detailní srovnání simulovaných tepelně-optických jevů s jejich generací v reálném laserovém systému. Navíc je možné pomocí těchto výsledků optimalizovat polarizační stav procházející laserovým systémem, který minimalizuje polarizační ztráty a případně navrhnout vhodný způsob kompenzace tepelně indukovaných polarizačních ztrát. Naměřená Muellerova matice pro kompletní průchod svazku systémem Bivoj je zobrazena na obr. 118. Odborný článek o detailní charakterizaci polarizačních vlastností složitých laserových systémů, který byl testován na laseru Bivoj v centru HiLASE, je v přípravě.

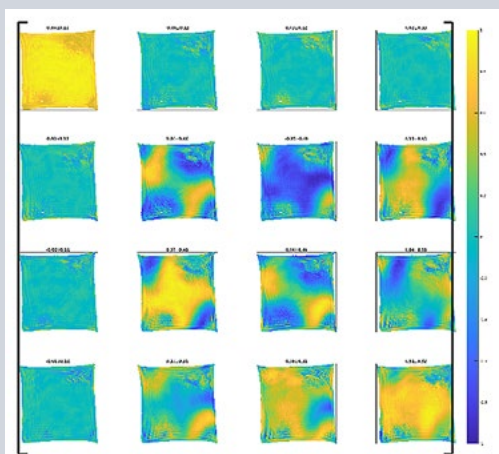
Tým kryogenních laserů se v průběhu roku 2020 soustředil na charakterizaci nových laserových materiálů z pohledu spektroskopie a laserové akce při pokojové teplotě i kryogenních teplotách. Výkon a účinnost laserů v kontinuálním i pulsním režimu byl zkoumán pro Yb: LuAG s laserovou akcí ve spektrální oblasti 1 μm [9], resp. Tm:Y₂O₃ [10] pro generaci záření v okolí vlnové délky 2 μm . Cílem je stavba klasických a mikročipových laserů pro medicínské a průmyslové aplikace. V případě kryogenně chlazeného (na 140 K) Yb: Lu₃Al₅O₁₂ (LuAG) laseru byl dosažen maximální střední výkon 10,46 W v kontinuálním režimu s diferenciální účinností vzhledem k budící vlnové délce 940 nm 48,6 %. Použité výstupní zrcadlo mělo transmissi 40 % (obr. 119(a)). V pasivně Q-spínaném režimu s 85% Cr:YAG saturovatelným absorberem (obr. 119(b)) byl dosažen střední výkon 7,42 W odpovídající maximální energii laserového pulsu 0,215 mJ s dobou trvání 148 ns. V případě Tm:Y₂O₃, byl potenciál materiálu v pulsním režimu za kryogenních teplot prokázán s Q-spínačem ve formě RTP Pockelsovy cely.

Pulsní kryogenně chlazený Tm:Y₂O₃ laser je laditelný v oblasti opakovacích frekvencí 10 Hz až 1 kHz s maximálním středním výkonem 650 mW na opakovací frekvenci pulsů 1 kHz a vlnové délce 1932,5 nm (obr. 120). Ve spolupráci se španělskou University Rovira i Virgili byly zkoumány zcela nové laserové materiály pro vývoj mikročipových laserů jako Yb,Li:ZnWo₄ [11], Tm:LuAG [12] a Tm:CALYO [13].

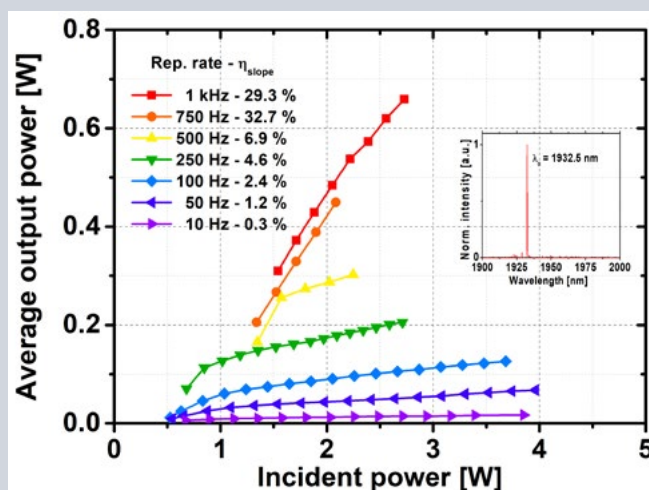
V rámci vývoje Yb:YAG laserů byla podrobněji zkoumána hypotéza předpovídající souvislost mezi experimentálně pozorovanou nelineární fononovou relaxací v Yb:YAG materiálech a nelineární růstem teploty Yb:YAG krystalů [14]. Hypotéza byla testována na tenké Yb:YAG desce. Simultánně byla měřena teplota disku, indukovaná fotovodivost a výkon budícího záření (obr. 121). Experiment hypotézu nepotvrdil, neboť i v přítomnosti nelineární relaxace fononů prokázané nelineárním růstem teploty nedošlo ke zvýšení fotovodivosti materiálu.



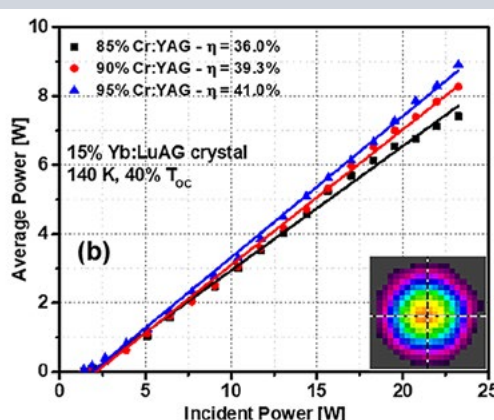
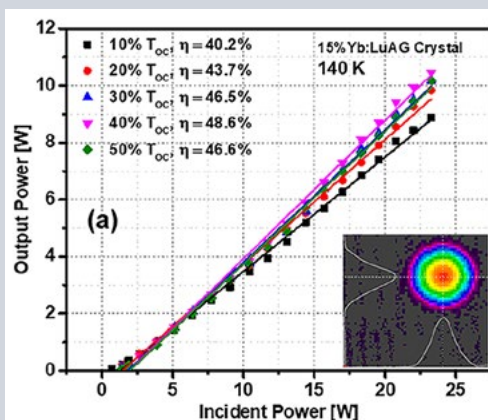
Obr. 117 Schéma tepelně-optických výpočtů prováděných v centru HiLASE.



Obr. 118 Naměřená Muellerova matice pro průchod svazku laserovým systémem Bivoj.



Obr. 120 Střední vs. budící výkon kryogenně chlazeného Tm:Y₂O₃ laseru pro různé opakovací frekvence laserových pulsů.

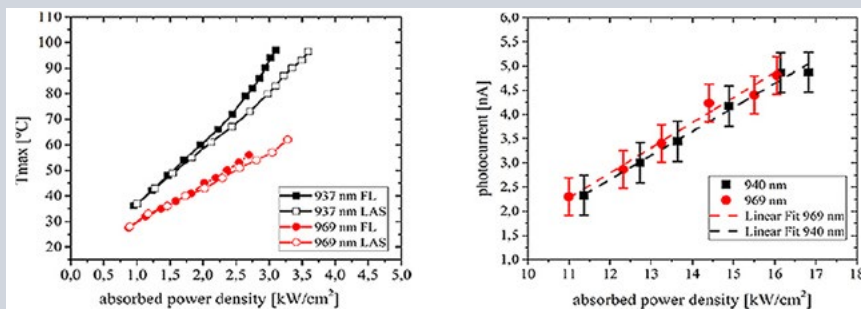


Obr. 119 (a) Charakteristika kryogenně chlazeného Yb:LuAG laseru v kontinuálním a (b) pulsním režimu.

V říjnu 2020 byl vědcům z oddělení 61 udělen patent týkající se efektivního chlazení zrcadel vysokovýkonných laserů [15].

LITERATURA

- [8] O. Slezak, A. Lucianetti, and T. Mocek, Tensor-to-matrix mapping in elasto-optics, *J. Opt. Soc. Am. B* **37** (2020) 1090–1097.
doi.org/10.1364/JOSAB.383975
- [9] S.P. David, V. Jambunathan, F. Yue, A. Lucianetti, T. Mocek, Diode pumped cryogenic Yb:Lu₃Al₅O₁₂ laser in continuous-wave and pulsed regime, *Opt. Laser Technol.* **135** (2021) 106720.
doi.org/10.1016/j.optlastec.2020.106720
- [10] F. Yue, V. Jambunathan, S.P. David, X. Mateos, M. Aguiló, F. Díaz, J. Šulc, A. Lucianetti, T. Mocek, Spectroscopy and diode pumped continuous wave laser operation of Tm:Y₂O₃ transparent ceramic at cryogenic temperatures, *Appl. Phys. B* **126** (2020) 44.
doi.org/10.1007/s00340-020-7385-7
- [11] A. Volokitina, S.P. David, P. Loiko, K. Subbotin, A. Titov, D. Lis, R. M. Solé, V. Jambunathan, A. Lucianetti, T. Mocek, P. Camy, W. Chen, U. Griebner, V. Petrov, M. Aguiló, F. Díaz, X. Mateos, Monoclinic zinc monotonungstate Yb³⁺, Li⁺: ZnWO₄: Part II. Polarized spectroscopy and laser operation, *J. Lumin.* **231** (2021) 117811
doi.org/10.1016/j.jlumin.2020.117811
- [12] F. Yue, P. Loiko, M. Chen, J.M. Serres, Y. Wang, J. Li, L. Basyrova, E. Dunina, A. Kornienko, L. Fomicheva, S. Dai, Z. Chen, J.E. Bae, T. G. Park, F. Rotermund, V. Jambunathan, A. Lucianetti, T. Mocek, M. Aguilo, F. Diaz, U. Griebner, V. Petrov, X. Mateos, Spectroscopy and diode-pumped laser operation of transparent Tm:Lu₃Al₅O₁₂ ceramics produced by solid-state sintering, *Opt. Express* **28** (2020) 28399.
doi.org/10.1364/OE.400802
- [13] M. Chen, P. Loiko, F. Yue, V. Jambunathan, A. Lucianetti, T. Mocek, J. M. Serres, M. Aguiló, F. Díaz, T.G. Park, J. E. Bae, F. Rotermund, X. Xu, J. Xu, S. Dai, Z. Chen, U. Griebner, V. Petrov, X. Mateos, A. Major, Multi-watt continuous-wave and passively Q-switched Tm:CaYAlO₄ micro-lasers, *Proc. SPIE* **11259** (2020) 1125927.
doi.org/10.1117/12.2545710
- [14] P. Severová, S.S. Nagisetty, M. Chyla, T. Miura, A. Endo, M. Smrž, and T. Mocek, Investigation of spectrally-dependent phonon relaxation mechanism in Yb:YAG gain media and its consequences for thin disk laser performance, *Laser Phys.* **30** (2020) 025005.
doi.org/10.1088/1555-6611/ab602a
- [15] Patent LU101456 (B1), A method and a device for heat removal from a flat NIR-MIR laser mirror.



Obr. 121 (a) Teplota povrchu Yb:YAG krystalu měřená termokamerou pro buzení na vlnových délkách 940 a 969 nm; (b) indukovaný fotoproud měřený pikoampérmetrem pro obě budící vlnové délky.

2.5.4 Laserové mikroobrábění

V roce 2020 byla instalována řada nových technologií umožňující rychlé a efektivní mikro a nanoobrábění více laserovými svazky [16–19]. Sestava navržená v HiLASE (obr. 122(a)) umožňuje rozdělit a následně rekombinovat svazek za účelem vzniku interferenčního obrazce (obr. 122(b)) umožňující produkci submikronových periodických struktur i bez využití mikroskopických objektivů. Výsledky našich experimentů demonstrují velký potenciál této technologie zejména v kombinaci s nově vyvinutou metodou interferenčního obrábění velkým svazkem pro dosažení produktivity až 200 000 nanostrukturovaných mikrokráterů za 1

sekundu. Laserem vytvořené mikrokrátery pak slouží jako funkční superhydrofóbní povrch.

V rámci projektu *Nové metody pro laserové mikroobrábění – procesy mikroobrábění s různým prostorovým tvarem svazku* (Národní centrum kompetence MATCA) se ve spolupráci s firmou Meopta – Optika, s.r.o. podařilo vyvinout prototyp procesní stanice založené na difrakčním děliči svazku a monitorovací větvi. Výsledkem procesu bylo až řádové urychlení procesu laserového řezání a vrtání invarové destičky se 784 svazky najednou (obr. 122(c)).

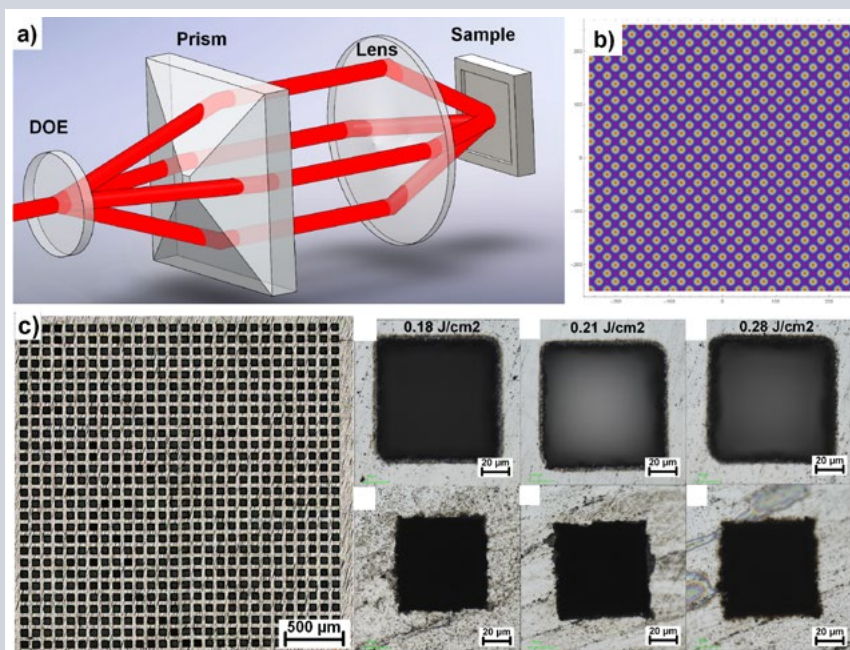
Dále proběhla úspěšná instalace a testování zařízení kombinující tvarování svazku prostorovým modulatorem světla a rozmitání galvanometrickým skenerem.

Možnost libovolně tvarovat laserový svazek otevírá nové možnosti pro laserové mikroobrábění a efektivitu celého procesu. Při pilotních testech bylo demonstrováno obrábění skla 16 svazky za účelem vzniku antireflexního povrchu a nanostrukturování nerezů pro přípravu anti-bakteriálních povrchů (obr. 123).

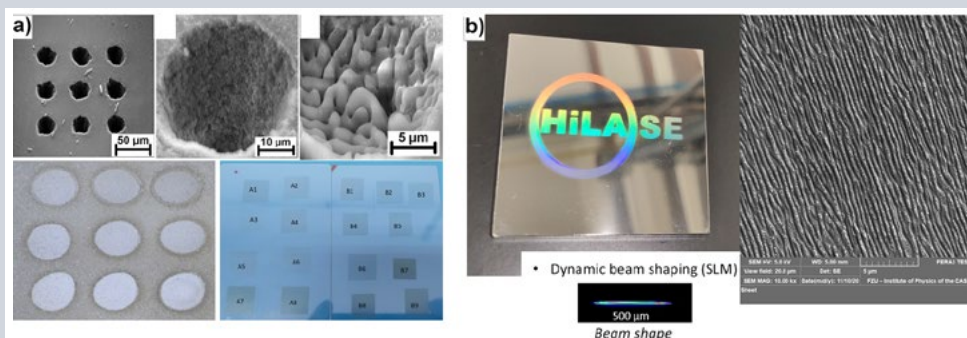
Tyto unikátní výsledky na sebe upoutaly velkou pozornost izraelské hi-tech firmy Holoor, s jejichž prototypem difrakčního děliče bylo v předběžných testech dosaženo více než 4 milionů nanostrukturovaných mikrodůlků během 1,6 sekundy.

LITERATURA

- [16] P. Hauschwitz, R. Jagdheesh, S. Alamri, D. Rostohar, T. Kunze, J. Brajer, J. Kopeček, T. Mocek, Fabrication of functional superhydrophobic surfaces on carbon fibre reinforced plastics by IR and UV direct laser interference patterning, *Appl. Surf. Sci.* **508** (2020) 144817.
doi.org/10.1016/j.apsusc.2019.144817
- [17] P. Hauschwitz, B. Stoklasa, J. Kuchařík, H. Turčičová, M. Písařík, J. Brajer, D. Rostohar, T. Mocek, M. Duda, A. Lucianetti, Micromachining of Invar with 784 Beams Using 1.3 ps Laser Source at 515 nm, *Materials* **13** (2020) 2962.
doi.org/10.3390/ma13132962
- [18] P. Hauschwitz, D. Jochcová, R. Jagdheesh, M. Cimrman, J. Brajer, D. Rostohar, T. Mocek, J. Kopeček, A. Lucianetti, and M. Smrž, Large-Beam Picosecond Interference Patterning of Metallic Substrates, *Materials* **13** (2020) 4676 (2020).
doi.org/10.3390/ma13204676
- [19] P. Hauschwitz, D. Jochcová, R. Jagdheesh, D. Rostohar, J. Brajer, J. Kopeček, M. Cimrman, M. Smrž, T. Mocek, A. Lucianetti, „Towards rapid large-scale LIPSS fabrication by 4-beam ps DLIP,“ *Opt. Laser Technol.* **133** (2021) 106532.
doi.org/10.1016/j.optlastec.2020.106532



Obr. 122 (a) Ilustrace interferenčního uspořádání pro 4 svazky; (b) interferenční stopa pro 4 svazky; (c) výsledky řezání invaru 784 svazky současně.



Obr. 123 Výsledky experimentu s prostorovým modulátorem světla: (a) antireflexní struktury na skle vytvořené 9 svazky současně; (b) difrakční antibakteriální struktury na nerezové oceli vytvořené svazkem upraveným do 0,5 mm dlouhé linky.

2.5.5 Zlepšování mechanických vlastností materiálů metodou laser shock peening (LSP)

V roce 2020 byla uvnitř stávající stanice LSP vybudována menší bezpečnostní buňka (obr. 124), jejíž hlavní účel je koncentrace pracovního prostoru do menšího a lépe kontrolovaného objemu. Předchozí práce ve stanici LSP vyžadovala nošení masek s částicovým filtrem kvůli velkému množství škodlivých částic uvolněných během LSP procesu, zejména pak při užití ochranné polyvinylové pásky. Součástí bezpečnostní buňky bylo proto vybudování ventilačního systému na rychlé odsátí škodlivých částic. Po zavedení těchto opatření již není nutné v laboratoři E2 nosit ochranné masky. Nový ventilační systém je rovněž využíván pro odvětrávání digestoře v metalografické buňce. Další funkcí vnitřní buňky je možnost automatizované výměny vzorků.

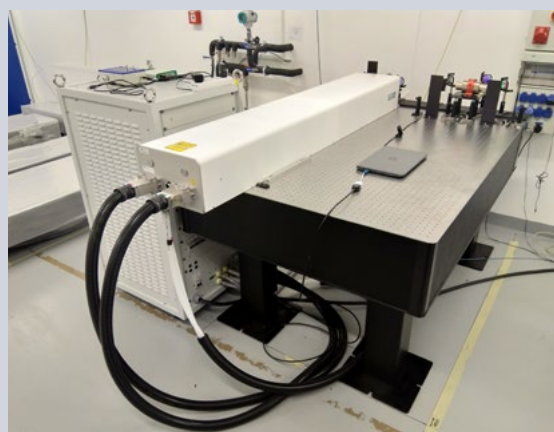
Z laserového hlediska bylo dosaženo dvou důležitých milníků. Do stanice LSP byla přivedena 2. harmonická frekvence laseru Bivoj. Distribuční systém byl vybaven a úspěšně otestován optikou pro přenášení obou vlnových délek a do procesního prostoru je nyní možno umístit nádrž, kterou lze naplnit vodou pro provozování LSP pod vodou. Tato varianta LSP procesu se využívá pro zpracování součástek s komplikovanou geometrií, kde může být složité aplikovat laminární vodní krycí vrstvu. Dosud bylo na vlnové délce 515 nm využito pro experimenty energie typicky 1 J, nicméně k dispozici je až 3 J na 10 Hz. Druhý významný posun nastal díky pořízení druhého, a to kompaktního laserového systému. V listopadu byl do laboratoře E2 nainstalován laserový systém Litron. Instalace byla provedena poté, co byl do aplikačních laboratoří zaveden chladicí okruh pro laserové systémy. Tento laserový systém bude v budoucnu součástí druhé LSP stanice, s plánovaným provozem od 2021. Momentálně je laser Litron umístěn mimo stávající LSP stanici (obr. 125). Po plném uvedení do provozu bude tento systém využíván jako komplementární zdroj k laserovému systému Bivoj. Parametry laseru jsou 3,5 J na vlnové délce 1064 nm a 1,8 J na 532 nm. Délka pulsu je 15 ns a profil svazku je kruhový s top-hat rozložením intenzity. Systém může operovat v rozmezí frekvencí 1–10 Hz a/nebo v single shot módu.

V rámci projektu DOLASTOOL (TAČR Delta) bylo za rok 2020 našimi lasery zpracováno značné množství a druhů reálných průmyslových dílců. Mezi tyto dílce patří např. kovací zápustky, objímky pro lití tlakových ventilů, válcovací čelisti a vodní prostor, jež je součástí výroby automobilových motorů. Efekt technologie LSP na tyto dílce se různil, kdy například u kovací zápustky došlo k nárůstu životnosti až o 106 %, zatímco u válcovacích čelistí došlo k poškození povlaku na povrchu dílce. Na základě dosavadních úspěšných výsledků byl s domácím průmyslovým partnerem, firmou SHM, založen spin-off s názvem Hi-Beams, s.r.o. Dále pokračovala spolupráce s Centrem výzkumu ŘEŽ, s.r.o., v jejímž rámci byla podaná lucemburská patentová přihláška. Obsahem je využití technologie LSP k prodloužení únavové životnosti parních turbín ovlivněných

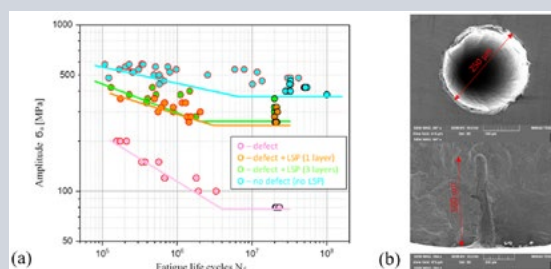
bodovou korozí. Patentová přihláška byla podána na základě výsledků našich experimentů, které ukázaly významné zvýšení únavové životnosti vzorků s uměle vytvořeným defektem (obr. 126).



Obr. 124 Bezpečnostní buňka uvnitř LSP stanice.



Obr. 125 Kompaktní laserový systém Litron.



Obr. 126 (a) Graf prodloužení únavové životnosti vzorků s defektem po ošetření technologií LSP. (b) Umělý defekt vytvořený laserovým vrtáním.

2.5.6 Studium měření prahu poškození způsobeného laserem

V roce 2020 se vývoj a výzkum prováděný v laboratoři LIDT soustředil do tří hlavních oblastí. První část vývojových prací na měřicí stanici prahu poškození způsobeného laserem se soustředila na konsolidaci laboratoře pro plánovanou akreditaci dle ČSN EN ISO/IEC 17025, zejména s ohledem na splnění požadavků na způsobilost zkušebních a kalibračních laboratoří. Byly připraveny validační zprávy pro akreditované metody měření prahu poškození, zavedeno řízení kvality a provedeny revize měřících přístrojů.

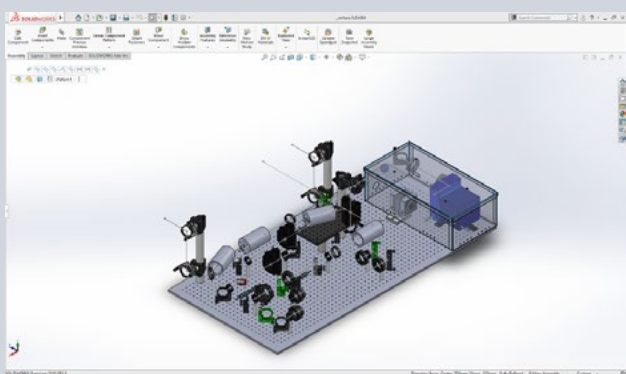
Druhý směr se týkal rozšíření možností testování o další vlnové délky, konkrétně o druhou (515 nm) a třetí (343 nm) harmonickou frekvenci. Stanice LIDT byla vybavena novou diagnostikou a distribucí svazku pro příslušné vlnové délky systému Perla a pak navíc samotnou sestavou pro konverzi, viz obr. 127. Toto vylepšení úzce souvisí s česko-korejským projektem v rámci programu TAČR Delta, jehož cílem je vyvinout efektivní proces přípravy skleněných substrátů procesem TGV (through-glass-via). Konverze pro systém Bivoj se nachází u samotného laseru, proto bylo nutné rozšířit systém distribuce svazku o další vlnové délky.

Třetí částí našich aktivit byl vývoj, sestavení a zprovoznění systému pro testování prahu poškození laserem velkým svazkem s profilem „top-hat“, viz obr. 128. Jednalo se o završení prací započatých již v roce 2017 a úzce spojených s dokončeným projektem s firmou SQS Vláknová optika, a. s. (*Technologie přenosu vysoce energetických laserových pulzů*). Systematickou výzkumnou a vývojovou činností se nám podařilo odladit se-

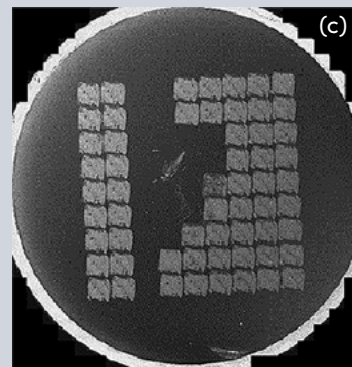
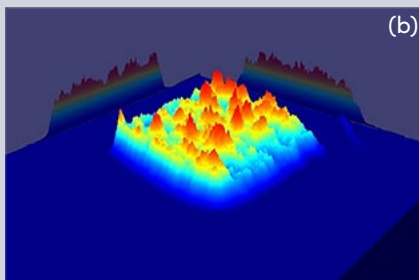
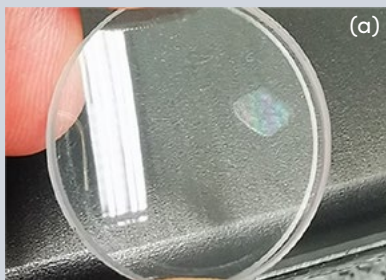
stavu pro zmenšení a distribuci svazku až na cílové parametry $3 \times 3 \text{ mm}^2$ v rovině dopadu, přičemž kvalita svazku a prostorový profil energie v pulzu zůstal zachován. Toto řešení umožňuje efektivní navázání do svazku optických vláken stejně jako testy prahu poškození se světově jedinečnými parametry.

V roce 2020 byl pro měřicí stanici LIDT zpřístupněn další laserový zdroj pro rutinní testy prahu poškození laserem, a to systém Perla B, který je schopný pro testy dodat pulzy o délce 1,8 ps a energii převyšující 10 mJ s opakovací frekvencí 1 kHz. Podobně jako systém Bivoj pracuje momentálně na vlnové délce 1030 nm, ale ve výstavbě je již systém pro konverzi do 2. a 3. harmonické frekvence (515 nm a 343 nm). Tato rozšíření umožní širší využití testovací stanice pro další aplikace, například při stanovování optimálních podmínek při řezání a vrtání laserem, vývoji procesů laserového čištění a odprašování atd.

Důležitým milníkem bylo úspěšné dokončení společného projektu s firmou Crytur, spol. s r. o., (*Stabilní tenké vrstvy pro optické a monokrystalické materiály*), jehož výstupem bylo několik funkčních vzorků nových typů tenkých vrstev s vysokým prahem poškození a ověřená technologie jejich výroby.



Obr. 127 Model sestavy pro vlnovou konverzi realizované v laboratoři LIDT.



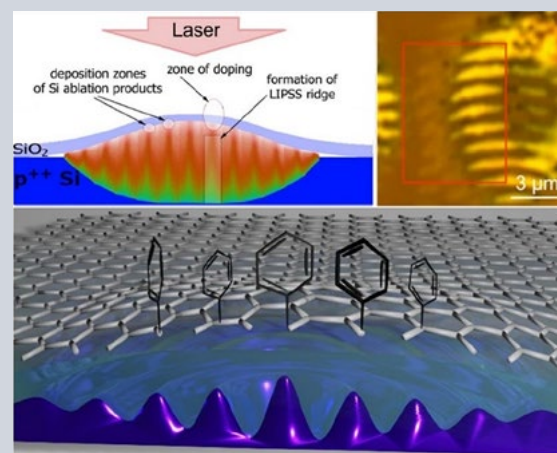
Obr. 128 (a) Čočka teleskopu poškozená zmenšeným top-hat svazkem; (b) Prostorový profil svazku systému Bivoj po zmenšení na $3 \times 3 \text{ mm}^2$; (c) Vzorek skla s AR nanostrukturou po testu na práh poškození top-hat svazkem.

2.5.7 Interakce laseru s materiály a povrchy

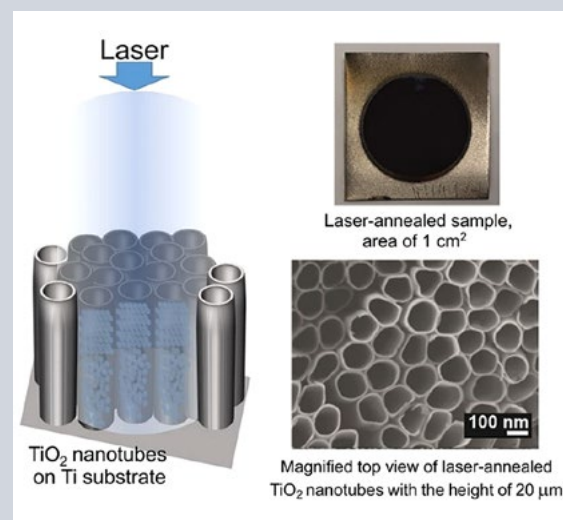
S pokrokem v oblasti aplikací vysokoenergetických zdrojů laserového záření vyvstává nutnost rozumět procesům, které probíhají při těchto interakcích a zásadně ovlivňují strukturní a fázové změny materiálu, jejichž výsledkem jsou nové vlastnosti materiálu, jeho selektivní odebrání nebo transfer. Přitom pouze pro určité experimenty a jen pro určité parametry použitého laseru je možné provést experimentální měření, které má rozlišení odpovídající ultrakrátkým dějům (femto a pikosekundy) a současně submikrometrové prostorové rozlišení. Za těchto podmínek mají numerické simulace zásadní přínos pro pochopení procesů probíhajících v látce ozářené laserem obzvláště proto, že materiál se může nacházet daleko od rovnovážného stavu, pokud jde o jeho elektronickou strukturu, mechanické a termodynamické vlastnosti. Vědci z centra HiLASE kombinují nejmodernější experimentální techniky studia laserem indukovaných procesů s numerickými simulacemi stejných experimentálních podmínek.

Jednou z hlavních oblastí našeho výzkumu je zlepšování funkčních vlastností materiálů a také rozšiřování spektra jejich aplikací pomocí laserové modifikace těchto materiálů. V rámci tohoto výzkumu dosáhli naši vědci důležitého milníku na cestě k dosažení limitních vlastností grafenu a jiných 2D materiálů. Podářilo se nám vytvořit chemicky funkcionalizovaný grafen na substrátu SiO_2/Si pokrytém laserem indukovanými periodickými povrchovými strukturami (LIPSS) [20,21]. LIPSS byly vytvořeny pomocí femto a pikosekundových laserů s vlnovými délkami v infračervené oblasti 1030 a 1064 nm (obr. 129). Vrstva grafenu připravená metodou CVD byla přenesena na vzorek SiO_2/Si s LIPSS a chemická reaktivita grafenu byla zkoumána pomocí reakce s roztokem 4-nitrobenzendiazonium tetrafluoroborátu. Vlastnosti vzorku byly dále zkoumány pomocí Ramanovy spektroskopie a AFM. Bylo zjištěno, že reaktivita grafenu kopíruje periodicitu LIPSS s maximem reaktivity na vrcholcích LIPSS. Tento postup tedy umožňuje připravit strukturu s periodickou hustotou funkčních skupin danou periodicitou podkladové struktury. Tyto poznatky mohou být přeneseny na ostatní 2D materiály a umožňují vytvářet anizotropní, periodicky modifikované struktury pro pokročilé aplikace v (opto)elektronice, tenkých vrstvách (smart coatings) nebo v experimentálních technikách molekulární biologie.

Další důležitou aplikací laserového záření, která zlepšuje funkční vlastnosti materiálu, je laserové žíhání. Naši výzkumníci ve spolupráci s Centrem materiálů a nanotechnologií Univerzity Pardubice dokázali zkrystalizovat vrstvy anodických amorfních TiO_2 nanotrubiček (TNT) do formy anatasu, což je nejzajímavější ze všech polymorfů oxidu titaničitého pro aplikace ve fotovoltaike [22]. Krystalizace byla provedena optimalizovaným žíháním za použití čtvrté harmonické frekvence (s vlnovou délkou 257 nm) laseru Perla-C, vyvinutého na HiLASE. Plocha 1 cm^2 byla žíhána po dobu 14 minut a výsledné anatasové TNT vrstvy nevy-



Obr. 129 Vlevo nahoře: Proces vzniku LIPSS laserovým ozářením povrchu Si pokrytého nanovrstvou SiO_2 . Dopovaný křemík nadeponovaný na vstvě oxidu napodobuje periodicitu LIPSS a zajišťuje dopování grafenu v místě, kde dochází k interakci s laserem. Vpravo nahoře: Laserem opracovaný křemíkový wafer zobrazený optickým mikroskopem. Periodicita je patrná uvnitř ozářeného místa. Dole: Ilustrační obrázek funkcionalizovaného grafenu. Velkou chemickou reaktivitu mají místa nad vrcholky periodické struktury.



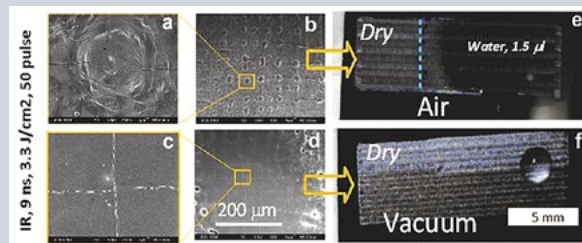
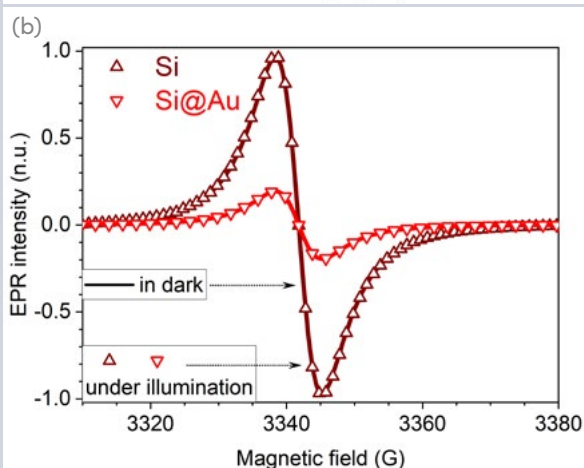
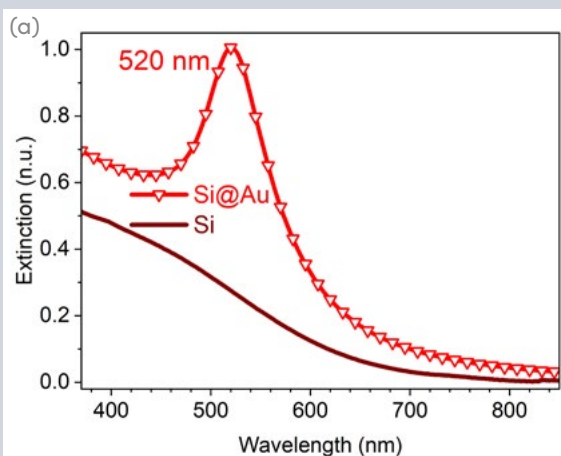
Obr. 130 Vlevo: Schéma žíhání anodických amorfních TNT vrstev pomocí laseru, které vede ke vzniku čistého anatasu. Vpravo nahoře: Laserem ozářené TNT vrstvy mají tmavě hnědou až černou barvu. Toto zbarvení je známkou vysoké koncentrace Ti^{3+} a vysoké vodivosti vzorku. Dole: Detail laserem žíhaných nanotrubiček. Nejsou patrné žádné známky deformace nebo tání materiálu.

kazují žádné známky deformace nebo tání materiálu (obr. 130). Zprávy o laserovém žíhání TNT dostupné v literatuře a prováděné s jinými lasery vedly dosud vždy ke vzniku kombinace rutilové a anatasové fáze se stopami tání a rekystalizace nebo beze změny původního materiálu v závislosti na tom, jaká byla dávka laserového záření v daném místě. Úspěšná krystalizace TNT vrstev do podoby čistého anatasu při krátké době žíhání je dosažitelná díky jedinečným parametrům laseru Perla-C, který dosahuje vysoké energie v pulzu na čtvrté harmonické frekvenci o vlnové délce ležící v ultrafialové části spektra, krátké délce trvání pulzu (2 ps) a vysoké opakovací frekvenci. TNT vrstvy žíhané pomocí laseru Perla-C také vykazují nízkou energetickou bariéru pro reakci s vodíkem (důležitá reakce pro elektrochemické články na bázi vodíku) nižší než TNT žíhané několik hodin v pecích.

O površích se superhydrofobickými nebo superhydrofilickými vlastnostmi hovoříme jako o površích s extrémními vlastnostmi, pokud jde o smáčivost a je jim věnována velká pozornost kvůli velkým možnostem jejich praktického využití. Jedním z nejatraktivnějších materiálů v oblasti extrémní smáčivosti je křemík, který je také nejběžnějším materiálem v elektronice. Laserová modifikace materiálu je velmi efektivním a flexibilním nástrojem pro vytváření povrchových

struktur, a tedy i pro přípravu povrchu s definovanou smáčivostí. Vědci Centra HiLASE ve spolupráci s Institutem Termofyziky SBRAS v Novosibirsku v Rusku zkoumali povrchové změny monokrystalického křemíku po ozáření nanosekundovým laserem v různých podmínkách a podařilo se jim nalézt podmínky pro vznik periodických hydrofilních mikrostruktur [23]. Při použití infračerveného pulzního laseru vznikají v úzkém intervalu použité energie dva typy mikrostruktur (obr. 131 (a)-(d)). První typ mikrostruktur představují praskliny pozorované v počátečních fázích ozáření, a to v různých prostředích (vzduch, inertní plyn, vakuum). Druhým typem mikrostruktur jsou 5–10 μm vysoké vyvýšeniny, které vznikají v místě křížení trhlin, pokud trhliny dále ozařujeme laserem v kyslíkové atmosféře. Povrch křemíku s těmito mikrovýstupky má superhydrofilické vlastnosti (obr. 131 (e)) a tyto vlastnosti jsou zachovány i po delší době, kdy je tento povrch na vzduchu. Vznik těchto mikrovýstupků může být důsledkem dvou procesů. Hydrodynamické nestability tekuté dvojvrstvy křemík – oxid křemičitý, nebo lokální změny absorpce materiálu v důsledku přítomnosti sítě prasklin na jeho povrchu.

Ploušťka tenkých kovových filmů je důležitým parametrem určujícím strukturu filmu, stále však chybí rutinní metoda pro její stanovení. Naši vědci však vy-



Obr. 131 (a), (b) Obrázky z elektronového mikroskopu (různá zvětšení): povrch křemíku s periodickými mikrovýstupky vytvořenými IR laserem na vzduchu. (c), (d) Podobné obrázky povrchu křemíku se sítí trhlin vytvořených za stejných podmínek ve vakuu. (e), (f) Srovnání smáčivosti vzorků připravených na vzduchu a ve vakuu. Stejně kapky vody byly přeneseny na pravou část povrchu vzorku. Přerušovaná čára na obrázku (e) představuje hranici mezi mokrou a suchou částí vzorku.

Obr. 132 (a) Plazmonické vlastnosti nanočástic na bázi Si. (b) Elektronová paramagnetická rezonanční spektra nanočástic Si a SiAu ve tmě (čáry) a při osvětlení zeleným laserovým zdrojem (trojúhelníky).



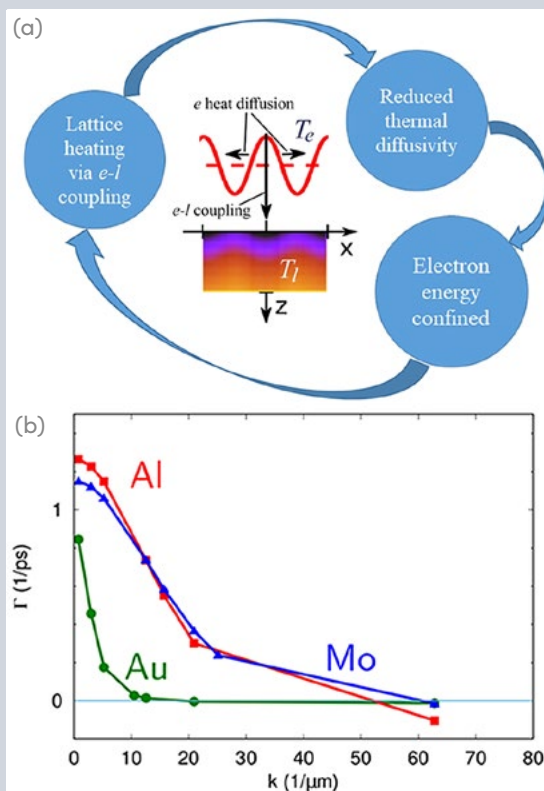
vinuli jednoduchou optickou metodu pro stanovení tloušťky zlatých filmů s libovolnou morfologií na průhledných substrátech v rozsahu 1–20 nm [24]. Metoda je založena na spektrofotometrii tenkého filmu v oblasti dalekého ultrafialového záření, kdy útlum záření je způsoben interakcí s jádrovými elektrony, a tedy vliv morfologie filmu je zanedbatelný. Kalibrace pro zlaté filmy o známé tloušťce byla provedena při vlnové délce 200 nm, získaná data byla ve shodě s Lambert-Beerovým zákonem. Proveditelnost metody byla pak prokázána u zlatých tenkých vrstev s různou morfologií, které byly produkovány na křemenných substrátech pomocí pulzní laserové depozice. Je známo, že pulzní laserová ablace v kapalinách (PLAL) je flexibilní, efektivní a ekologická technika pro výrobu nanomateriálů, které nejsou kontaminovány nečistotami a mají nové funkční vlastnosti. Ozářením pevného vzorku nebo mikroprášků dispergovaných v kapalině vede PLAL k tvorbě nanočástic s kontrolovatelnými strukturálními, optickými a elektronickými vlastnostmi. Metoda je dobře aplikovatelná pro výrobu jednosložkových nanočástic, zatímco kontrolovatelná syntéza složitějších multifunkčních nanostruktur, které mají velký potenciál pro biomedicínské aplikace, je stále výzvou. V centru HiLASE byla metoda PLAL využita při syntéze hybridních kovo-polovodičových nanostruktur kombinací křemíkových a zlatých částic [25]. Takové nanočástice odhalují chemické složení závislé na velikosti, což umožňuje snadné přizpůsobení jejich funkčních vlastností v závislosti na požadované aplikaci (obr. 132). Mají plazmonické vlastnosti, které lze použít pro biologické snímání molekul, a zároveň jsou paramagnetické a lze je tedy použít při zobrazování magnetickou rezonancí. Získané nanostrukтуры mohou navíc sloužit také jako terapeutické nanoagenty při léčbě rakoviny.

Teoretici z oddělení vědeckých laserových aplikací centra HiLASE významně přispěli k pochopení tvorby laserem indukovaných periodických povrchových struktur (LIPSS) na kovových površích při jednopulsním laserovém ozařování. Vyvinuli tříkrokový model, který vysvětluje vývoj povrchového reliéfu počínaje působením ultrakrátkého laserového pulzu až po konečný otisk periodické struktury [26]. První krok popisuje vznik modulací během působení laserového pulzu, které jsou výsledkem interference mezi dopadajícím laserovým pulsem a excitovanými povrchovými rozptýlenými vlnami. Druhý krok je klíčovou částí tohoto modelu, který podrobně charakterizuje tepelnou odezvu elektronové mřížky. Finální třetí krok modelu popisuje relokaci materiálu, které vede k periodické deformaci povrchu, který je vystaven laserovému záření. Druhý krok se při posuzování formace LIPSS obvykle nebere v úvahu. Naši vědci dokázali, že tepelná odezva během ekvilibrace elektronové mřížky funguje jako selekční mechanismus, který určuje konečnou periodicitu LIPSS. K tomu použili jak zjednodušený analytický přístup, tak sofistikované 2D numerické simulace. Byla odhalena zpětná smyčka (obr. 133 (a)), která přispívá k růstu modulační amplitudy mřížkové teploty pro vybrané prostorové režimy. Rychlos-

ti růstu amplitudy byly porovnány pro 3 různé kovy (Au, Al a Mo) s různými termofyzikálními vlastnostmi (obr. 133 (b)). Bylo zjištěno, že u těchto materiálů byly ve druhém kroku vyselektovány podstatně odlišné prostorové periodické struktury, které poskytují lepší pochopení pozorovaného LIPSS.

Vědci z centra HiLASE také provedli rozsáhlé teoretické a experimentální studie [27] týkající se prozkoumání excitace u bandgapových materiálů ultrakrátkými laserovými pulzy s duální vlnovou délkou. Bylo dokázáno, že vhodným výběrem poměru mezi energiemi dvou laserových harmonických vln a časovým zpožděním mezi dvěma pulzy je možné významně zvýšit absorpci při srovnání se samostatnými pulzy jedné z harmonických frekvencí se stejnou celkovou energií. Byly provedeny simulace ozařování dvěma laserovými pulzy u křemenného skla za podmínek povrchové i objemové modifikace a byla odhalena možnost zvýšení a řízení vysoce lokalizované absorpce laserové energie. Byly získány experimentální důkazy o výhodě dvoubarevného ozařování křemíku viditelnými a infračervenými laserovými pulzy s proměnlivým časovým zpožděním mezi nimi.

Naši vědci ve spolupráci s univerzitou ve Virginii a v Trentu publikovali 81stránkovou kapitulu v knize:



Obr. 133 (a) Schéma zpětné smyčky odpovědné za zesílení teplotní modulační mřížky během fáze vazby elektron–mřížka. (b) Vypočtené rychlosti růstu modulační mřížkové teploty na površích Au, Al a Mo pro různé počáteční prostorové periody modulační laserové intenzity.

Handbook of Laser Micro- and Nano-Engineering, která poskytuje přehled základních mechanismů, termodynamických hnacích sil a kinetiky tepelných procesů, které se objevují při interakci laseru s materiály [28]. Tato rozsáhlá publikace je první knihou pokrývající základy i nejmodernější a důležité aplikace dynamické a rychle se rozvíjející disciplíny laserového mikro- a nanoinženýrství.

LITERATURA

- [20] K.A. Drogowska-Horna, I. Mirza, A. Rodriguez, P. Kovaříček, J. Sládek, T. J.-Y. Derrien, M. Gedvilas, G. Račiukaitis, O. Frank, N.M. Bulgakova, Martin Kalbáč, Periodic surface functional group density on graphene via laser-induced substrate patterning at Si/SiO₂ interface, *Nano Research* **13** (2020) 2332-2339. doi.org/10.1007/s12274-020-2852-3
- [21] I. Mirza, K.A. Drogowska, Á. Rodriguez, P. Kovaříček, J. Sládek, T.J.-Y. Derrien, M. Gedvilas, G. Račiukaitis, N. Bulgakova, M. Kalbáč, Periodic surface functional group density on graphene induced by pulsed laser patterning of SiO₂/Si substrate, *Conference on Lasers and Electro-Optics*, OSA Technical Digest (Optical Society of America, 2020), paper SW3G.4. doi.org/10.1364/CLEO_SI.2020.SW3G.4
- [22] H. Sopha, I. Mirza, H. Turčičová, D. Pavlinak, J. Michalicka, M. Krbal, J. Rodriguez-Pereira, L. Hromadko, O. Novák, J. Mužík, M. Smrž, E. Kolibalova, N. Goodfriend, N.M. Bulgakova, T. Mocek and J. M. Macak, Laser-induced crystallization of anodic TiO₂ nanotube layers, *RSC Adv.* **10** (2020) 22126–22136. doi.org/10.1039/D0RA02929G
- [23] S.V. Starinskiy, A.A. Rodionov, Y.G. Shukhov, A.I. Safonov, E.A. Maximovskiy, V.S. Sulyaeva, A.V. Bulgakov, Formation of periodic superhydrophilic microstructures by infrared nanosecond laser processing of single-crystal silicon, *Appl. Surf. Sci.* **512** (2020) 145753. doi.org/10.1016/j.apsusc.2020.145753
- [24] S.V. Starinskiy, A.I. Safonov, V.S. Sulyaeva, A.A. Rodionov, Y.G. Shukhov, A.V. Bulgakov, An optical method for determination of the mass thickness of thin gold films with arbitrary morphology, *Thin Solid Films* **714** (2020) 138392. doi.org/10.1016/j.tsf.2020.138392
- [25] Y.V. Ryabchikov, J. Behrends, Expedient paramagnetic properties of surfactant-free plasmonic silicon-based nanoparticles, *Opt. Quant. Electron.* **52** (2020) 177. doi.org/10.1007/s11082-020-02297-6
- [26] E.L. Gurevich, Y. Levy, N.M. Bulgakova, Three-step description of single-pulse formation of laser-induced periodic surface structures on metals, *Nanomaterials* **10** (2020) 1836. doi.org/10.3390/nano10091836
- [27] N.M. Bulgakova, V.P. Zhukov, J. Sládek, I. Mirza, A.V. Bulgakov, Dual wavelength laser excitation of bandgap materials: Challenges for efficient energy coupling, *Conference on Lasers and Electro-Optics*, OSA Technical Digest (Optical Society of America, 2020), paper STh1H.4. doi.org/10.1364/CLEO_SI.2020.STh1H.4
- [28] M.V. Shugaev, M. He, Y. Levy, A. Mazzi, A. Miotello, N.M. Bulgakova, L.V. Zhigilei, Laser-Induced Thermal Processes: Heat Transfer, Generation of Stresses, Melting and Solidification, Vaporization, and Phase Explosion, *Handbook of Laser Micro- and Nano-Engineering*, K. Sugioka (ed.), Springer Nature Switzerland AG (2020). doi.org/10.1007/978-3-319-69537-2



2.5.8 Oddělení epitaxního grafenu od substrátu pomocí SXR laseru

Grafen je nevšední materiál s mnoha výjimečnými vlastnostmi, mimo jiné velmi vysokou pohyblivostí nositelů náboje. K výrobě velkých grafenových zrn se používá dnes již hojně rozšířená metoda termální dekompozice na karbidu křemíku (SiC). První atomární vrstva grafenu se však k SiC váže silnými kovalentními vazbami a tvoří tzv. buffer. Za první skutečně grafenovou vrstvu může však být považována až druhá atomární vrstva uhlíků. Kovalentní vazby mezi substrátem a bufferem způsobují to, že nositelé náboje v grafenu interagují s fonony substrátu. Tím dochází k jejich rozptylu – výraznému snížení jejich pohyblivosti. Pro udržení vysoké pohyblivosti nositelů náboje je tedy důležité odstínit vliv substrátových fononů, čehož lze nejlépe docílit porušením kovalentních vazeb mezi SiC a první uhlíkovou monovrstvou, tedy bufferem.

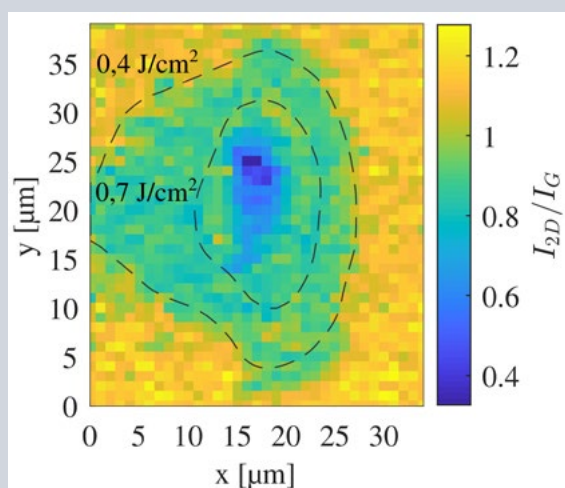
Oddělení grafenové vrstvy včetně bufferu bylo pozorováno po ozáření vzorku intenzivními sub-nanosekundovými impulzy SXR laserového záření o vlnové délce 21,2 nm (laserová akce probíhá na Ne-podobných iontech Zn kolizně čerpaných v plazmatu generovaném v Centru PALS) a fluencích 0,4–0,7 J/cm² [29]. Vzorky byly analyzovány pomocí několika mikroskopických i spektroskopických metod jako je například interferometrie v bílém světle či mikro-Ramanova spektroskopie. Jedním z hlavních důkazů oddělení grafenové vrstvy včetně bufferu od SiC je to, že pozorujeme přírůstek jedné grafenové vrstvy v ozářené oblasti, jíž je právě oddělený buffer. Obr. 134 zobrazuje poměr intenzit 2D a G píku, který je nepřímo úměrný

počtu vrstev. Z obrázku lze tedy jednoznačně usoudit, že při ozáření fluencí v rozmezí 0,4–0,7 J/cm² (naznačeno čárkovanými izofluenčními konturami) vrstva přibývá. Při vyšších fluencích (tj. > 0,7 J/cm²) poměr ve středu kráteru dále klesá, to je však způsobeno amorfizací SiC substrátu a porušením grafenové vrstvy.

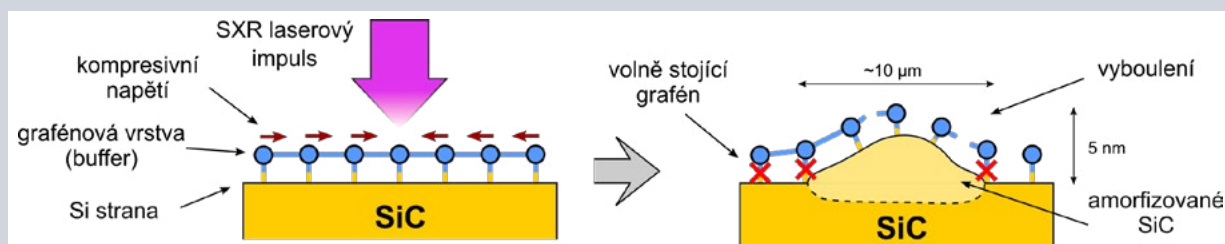
Zjednodušené schéma na obr. 135 [29] zobrazuje interakci rentgenového záření s epitaxním grafenem. Energie laserového impulsu projde průhlednou grafenovou vrstvou a deponuje se především do SiC substrátu. Pokud je fluence vysoká, dojde k amorfizaci SiC, jež expanduje a namísto typického ablačního kráteru vytvoří vyboulení s výškou kolem 5 nm. Grafen na jeho povrchu je potrhán. Při nižší fluenci, zde na okrajích ozářené oblasti, však zůstane grafenová vrstva zachována a pouze se oddělí od SiC.

LITERATURA

- [29] V. Vozda, N. Medvedev, J. Chalupský, J. Čechal, T. Burian, V. Hájková, L. Juha, M. Krůs, and J. Kunc, Detachment of epitaxial graphene from SiC substrate by XUV laser radiation, *Carbon* 161 (2020) 36–43.
[dx.doi.org/10.1016/j.carbon.2020.01.028](https://doi.org/10.1016/j.carbon.2020.01.028)



Obr. 134 Mapa poměru intenzit 2D a G píku. Pokles poměru a tedy přírůstek grafenové vrstvy lze pozorovat v rozmezí 0,4–0,7 J/cm².



Obr. 135 Schéma interakce měkkého rentgenového záření s epitaxním grafenem na substrátu SiC.

2.5.9 Časově rozlišené studium absorpce SXR záření v hustém hliníkovém plazmatu

Inverzní brzdná absorpce (*inverse bremsstrahlung*) na kvazivolných elektronech (*free-free transition*) je v hliníku hlavním absorpčním mechanismem těch fotonů, jejichž energie se nachází mezi plazmovou frekvencí (15 eV) a L-hranou (73 eV). Ačkolí se studiem vlastností pevných látek vystavených působení laserového SXR záření zabývalo již několik publikací, velmi rychlé procesy následující po izochorickém zahřátí pomocí velmi krátkých intenzivních SXR impulsů zůstávají stále z větší části neobjasněné. Proto byl před lety naplánován první experiment na měření absorpce na kvazivolných elektronech v hliníkové WDM využívající metody čerpání a sondování děleným svazkem SXR laseru na volných elektronech.

Schéma experimentu [30], kde byl přichodí svazek o vlnové délce 32 nm rozdělen v autokorelátoru na čerpací a sondovací, je zobrazeno na obr. 136. Čerpací svazek fokusovaný parabolickým zrcadlem zahřál tenkou hliníkovou folii na elektronové teploty dosahující až 20 eV. Se vzrůstající energií impulsu zde byl pozorován pokles transmise samotného čerpacího svazku. To odpovídá skutečnosti, že čelo čerpacího impulsu významně zahřeje elektrony a jeho následná část již prochází zahřátým hliníkovým plazmatem, které má díky srážkám vyšší absorpci. Vzhledem k délce impulsu (100–150 fs) je tedy zřejmé, že ohřev elektronů probíhá na femtosekundové škále. Nárůst absorpce je

dobře patrný se vzrůstající hustotou energie až nad 10^{11} J/m^3 .

Časově rozlišená transmise je zobrazená na obr. 137 [30]. V tomto případě je měřena transmise sondovacího svazku, který byl vzhledem k čerpacímu zpoždění o přesně definovanou dobu. Výrazný pokles absorpce lze pozorovat kolem času 0 fs, kdy na terč přichází oba impulsy současně. Zatímco pokles transmise do času 1 ps odpovídá zahřátí elektronů, následující pokles odpovídá pomalejšímu ohřevu krystalické mřížky. Experimentální data jsou zde doplněna také o výsledky z teoretických simulací vycházející z prvních principů (získaných pomocí tzv. „forward modelu“), která jsou v dobré shodě s experimentem.

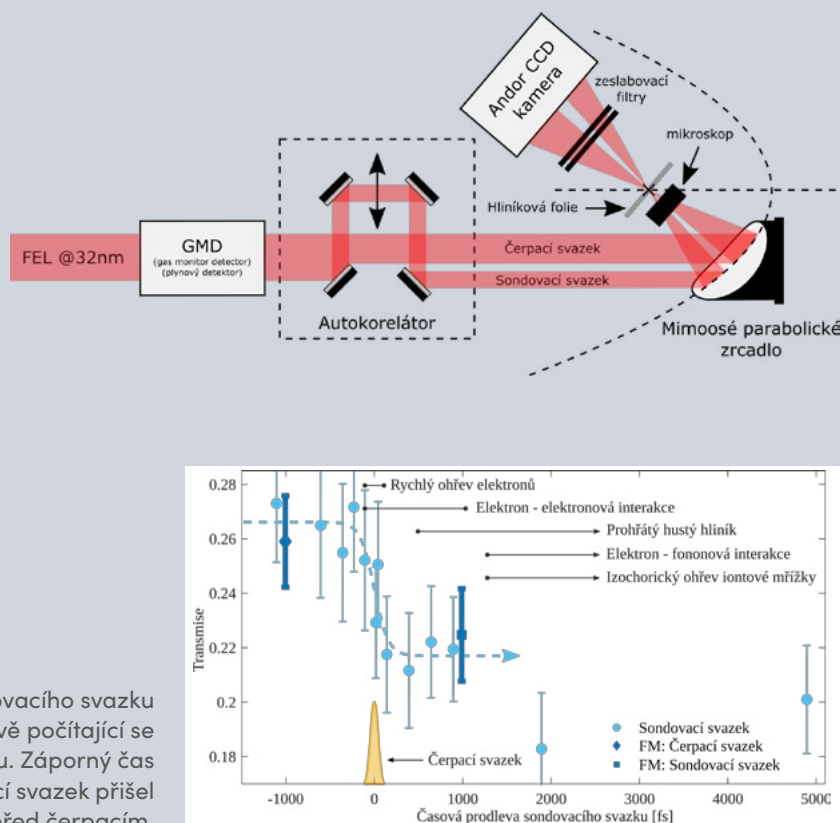
LITERATURA

- [30] S. M. Vinko, V. Vozda, J. Andreasson, S. Bajt, J. Bielecki, T. Burian, J. Chalupský, O. Ciricosta, M. P. Desjarlais, H. Fleckenstein, J. Hajdu, V. Hájková, P. Hollebon, L. Juha, M. F. Kasim, E. E. McBride, K. Muehlig, T. R. Preston, D. S. Rackstraw, S. Roling, S. Toleikis, J. S. Wark, and H. Zacharias, Time-resolved XUV opacity measurements of warm dense aluminum, *Phys. Rev. Lett.* **124** (2020) 225002.
doi.org/10.1103/PhysRevLett.124.225002

Obr. 136 Schéma experimentu:

Energie dopadajícího SXR FEL svazku je nejprve změřena v plynovém detektoru (GMD), jímž většina záření prochází. Pomocí autokorelátoru je pak svazek rozdělen na čerpací a sondovací, přičemž je zde nastaveno také jejich vzájemné zpoždění. Dva paralelní svazky rozdělené jak v čase, tak i v prostoru jsou dále fokusovány mimoosým parabolickým zrcadlem s multivrstvým reflexním pokrytím na terč reprezentovaný tenkou hliníkovou fólií, za níž je umístěna rentgenová CCD kamera zaznamenávající prošlé SXR FEL záření.

Obr. 137 Transmise sondovacího svazku v závislosti na časové prodlevě počítající se od příchodu čerpacího svazku. Záporný čas odpovídá případu, kdy sondovací svazek přišel před čerpacím.



2.5.10 Charakterizace megahertzových svazků EUV laserů s volnými elektrony

Charakterizace intenzivních rentgenových impulzů je důležitá jak pro experimentální práci, tak i pro zajištění bezpečnosti distribuční optiky. Naše práce [31] se zaměřila na charakterizaci nefokusovaných impulzů na vlnové délce 13,5 nm, které přichází na megahertzové opakovací frekvenci. K pozorování tohoto svazku byla využita metoda desorpčních otisků v PMMA, přičemž na každé místo bylo akumulováno několik desítek až tisíce impulzů, jejichž energie byla vždy pod ablačním prahem.

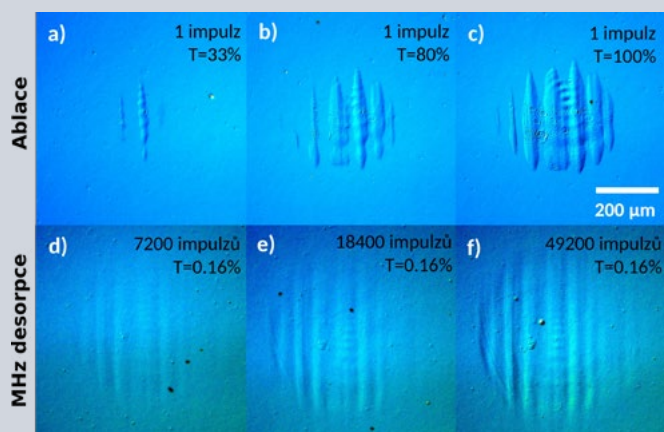
Porovnání ablačních otisků na různé úrovni atenuace a desorpčních otisků indukovaných různým počtem impulzů je zobrazeno na obr. 138. Jak jde vidět, ablační otisky mají přesné ohrazení dané ablačním prahem a nízkointenzivní části svazku zde nelze pozorovat ani při plné energii. Akumulace mnoha tisíc impulzů, z nichž energie každého je pod ablačním prahem, vede naopak k získání desorpčního otisku, který zachycuje celý svazek včetně jeho nízkointenzivních částí. Jak ovšem ukazuje obr. 139, hloubka desorpčního imprintu je závislá na akumulované dávce nelineárně. To je důsledkem postupného tvrdnutí materiálu a přímá rekonstrukce fluenčního profilu svazku z takového otisku není možná. Z toho důvodu jsme vyvinuli NoReFry (z angl. „Non-linear response function recovery“) algo-

ritmus, pomocí kterého lze získat funkci odezvy a tím pádem i přesný fluenční profil. Získaná data byla nafiťována teoretickým modelem popisující funkci odezvy.

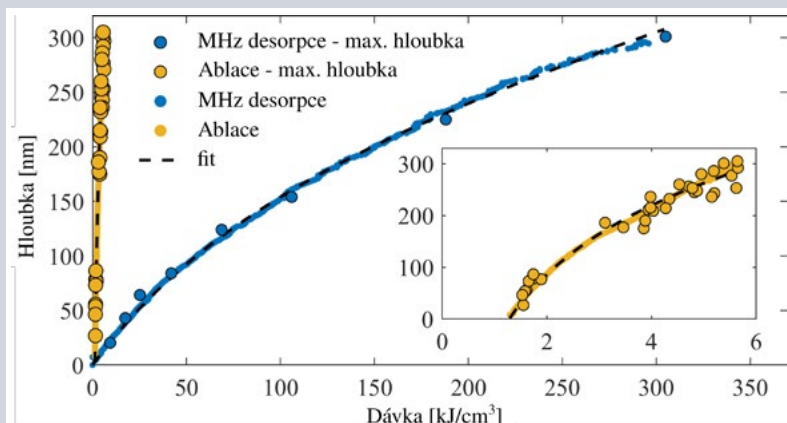
Vyvinutý NoReFry algoritmus je použitelný kdekoliv, kde funkce odezvy monotónně, avšak nelineárně roste s absorbovanou dávkou. To zahrnuje například fluorescenční signál z ozářeného LiF krystalu či radioluminiscenci z Ce:YAG, který při vyšších intenzitách vykazuje saturaci. Dobrá reprodukovatelnost výsledků získaných při různých podmínkách navíc ukazuje, že materiál PMMA může být použit jako absolutně kalibrováný dozimetr.

LITERATURA

- [31] V. Vozda, T. Burian, V. Hájková, L. Juha, H. Enkisch, B. Faatz, M. Hermann, I. Jacyna, M. Jurek, B. Keitel, D. Klinger, R. Loch, E. Louis, I. A. Makhotkin, E. Plönjes, K. Saksl, F. Siewert, R. Sobierajski, S. Strobel, K. Tiedtke, S. Toleikis, G. de Vries, Z. Zelinger, and J. Chalupský, Characterization of megahertz X-ray laser beams by multishot desorption imprints in PMMA, *Opt. Express* **28** (2020) 25664. doi.org/10.1364/OE.396755



Obr. 138 Fotografie z Nomarského mikroskopu zachycující ablační a desorpční otisky v PMMA.



Obr. 139 Závislost hloubky otisku na akumulované dávce.

2.5.11 Teorie a počítačové modelování netermálních fázových přechodů v pevných látkách různých typů

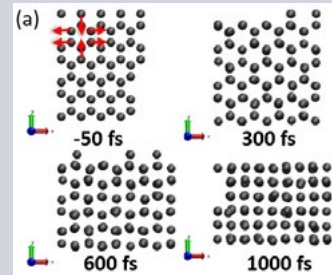
Obecně je ve vědecké obci známo, že při ozařování ve femtosekundovém režimu dochází v polovodiivých prvcích k netermálnímu tavení, kdežto v kovových prvcích nikoliv; jiné druhy materiálů nebyly dosud studovány. K ověření této domněnky jsme použili hybridní model XTANT [32]. Ten nám posloužil ke studiu rozličných materiálů za podmínek ultrarychlého ozařování v rentgenovém oboru. Podařilo se nám prokázat, že k netermálnímu tavení může docházet u kovů v nanometrovém měřítku (jakými jsou ultratenké vrstvy nebo nanočástice). Netermální poškození je spojeno s jejich schopností rychlé expanze při ozaření: elektronová excitace, vyvolaná ultrarychlou depozicí energie zvýší elektronový tlak vedoucí k expanzi materiálu [33]. Expandující mřížka kovu se pak stane nestabilní, aniž by se sama zahřála, což vede k netermálnímu poškození. Navíc, podařilo se nám zjistit, že v nanometrovém měřítku fcc kovy se netermálně taví, kdežto hcp kovy přecházejí nejprve do bcc fáze a až potom se termálně taví díky elektron-fononové interakci, viz obr. 140 [33].

Dále jsme objevili, že oxidy [34] a ozařené iontové krystaly [35] mohou rovněž prodělat netermální fázový přechod. Tyto výsledky potvrdily, že netermální fázové přechody se netýkají jen čistých prvků a kovalentně vázaných materiálů, ale mohou se vyskytnout zcela obecně. Ve sloučeninách, kde jsou přítomny různé atomy, se dokonce mohou vyskytnout netermálně generované fáze, které v čistých prvcích nemohou existovat. Například v Al_2O_3 během elektronové excitace může přechodně vzniknout superioronová fáze: stav, kde spolu koexistují kapalná a pevná fáze [36]. V případě Al_2O_3 , kyslíkový subsystém se taví na kapalinu, zatímco hliník zůstává v krystalickém stavu, viz obr. 141. Naše výpočty též demonstrují překvapivé zjištění, že při vysokém vnějším tlaku dojde k potlačení superioronového stavu, který přechází do smíšené krystalicky-amorfni fáze [36].

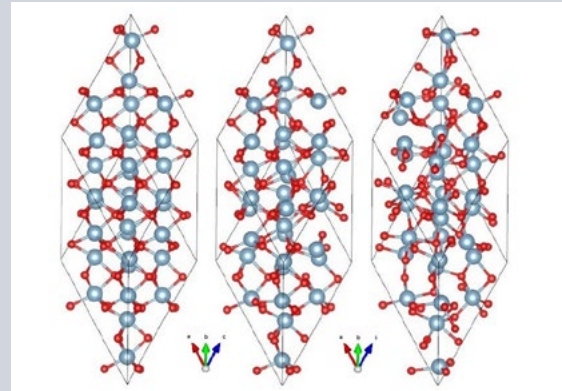
Rovněž jsme početně vyhodnocovali vazbový parametr elektron fotonové interakce u řady kovových prvků periodické tabulky [37]. Nová námi vyvinutá metoda umožnila nalezení hodnot vazbového parametru, který je v dobrém souhlasu s experimentálními daty v oboru zvýšených elektronových teplot, kde většina standardních metod dává poněkud vyšší nesprávné hodnoty. Prokázali jsme, že vazbový parametr nezávisí jen na elektronové teplotě, ale je i funkcí několika dalších parametrů jako atomové teploty, struktury a hustoty [37]. Výsledky pro zhruba 40 různých kovových prvků dovolily najít trendy závislosti vazbového parametru na atomovém čísle, viz obr. 142.

LITERATURA

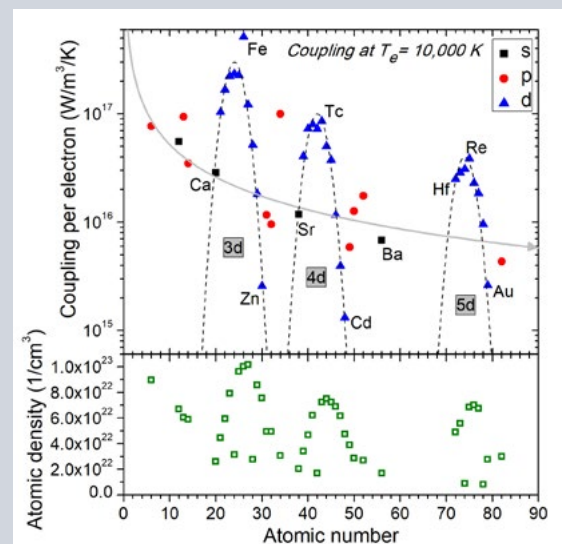
- [32] N. Medvedev, V. Tkachenko, V. Lipp, Z. Li, and B. Ziaja, Various damage mechanisms in carbon and silicon materials under femtosecond X-ray irradiation, *4open* 1 (2018) 3.
doi.org/10.1051/FOPEN/2018003



Obr. 140
Momentky atomové mříže dané výpočtem v rutheniu ozařovaném XFEL, v dávce 3,5 eV/atom. Převzato z [33].



Obr. 141 Vypočtené momentky chování atomové mříže Al_2O_3 při elektronových teplotách 0 eV (vlevo), 2,625 eV (uprostřed; pod prahem poškození), a 2,75 eV (vpravo; nad prahem poškození). Modré kuličky jsou atomy hliníku, červené kuličky jsou kyslíkové atomy. Převzato z [36].



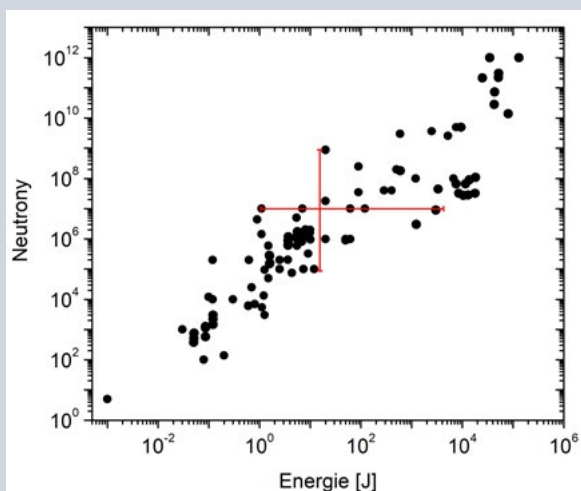
Obr. 142 Vazbový parametr elektron-fononové interakce při elektronové teplotě 10 000 K označený zvláštními symboly pro s-, p- a d-elektronové kovy (nahore) a atomová hustota (dole). Trendy závislosti jsou pro názornost proloženy plnou a čárkovanými křivkami. Převzato z [37].



- [33] N. Medvedev and I. Milov, Nonthermal phase transitions in metals, *Sci. Rep.* **10** (2020) 12775. doi.org/10.1038/s41598-020-69604-9
- [34] N. Medvedev, Nonthermal phase transitions in irradiated oxides, *J. Phys. – Condens. Mat.* **32** (2020) 435401. doi.org/10.1088/1361-648X/aba389
- [35] R. A. Voronkov, N. Medvedev, and A. E. Volkov, Dependence of nonthermal metallization kinetics on bond ionicity of compounds, *Sci. Rep.* **10** (2020) 13070. doi.org/10.1038/s41598-020-70005-1
- [36] R. A. Voronkov, N. Medvedev, and A. E. Volkov, Superionic state in alumina produced by nonthermal melting, *Phys. Stat. Sol. – Rapid Res. Lett.* **14** (2020) 1900641. doi.org/10.1002/pssr.201900641
- [37] N. Medvedev and I. Milov, Electron-phonon coupling in metals at high electronic temperatures, *Phys. Rev. B* **102** (2020) 064302. doi.org/10.1103/PhysRevB.102.064302

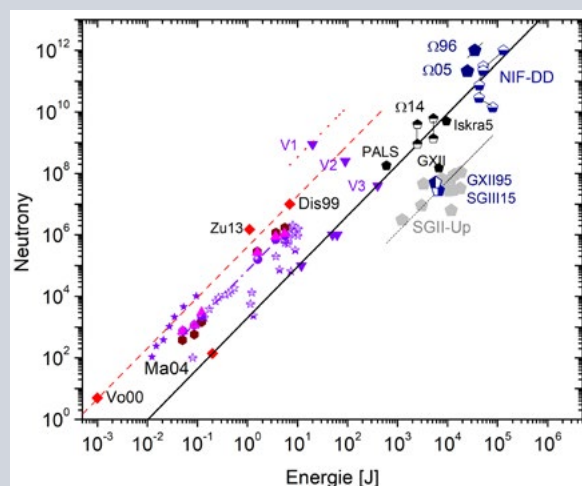
2.5.12 Škálování výtěžku fúzních neutronů z laserového plazmatu

Laserem generované plazma je zdrojem nejen iontů, elektronů, tvrdého a měkkého rentgenového záření, viditelného záření, sto mega až gigahertzových elektromagnetických vln, ale může být i zdrojem např. fúzních neutronů či alfa částic. Neutrony lze generovat ozařováním například deuterovaných terčů nejrozličnějších tvarů pomocí impulsních laserů, a to v rozsahu energií od milijoulů po megajouly. Jednou z nejdůležitějších charakteristik těchto experimentů je počet vygenerovaných fúzních neutronů, Y_n , na jednotku laserem deponované energie: Y_n/E . K porovnání účinnosti jednotlivých experimentů pak slouží závislost Y_n/E na E nebo prostší závislost $Y_n=Y_n(E)$. Obr. 143



Obr. 143 Zisk fúzních neutronů z deuterovaných terčů ozařených různými laserovými systémy v závislosti na deponované laserové energii.

ukazuje Y_n - E diagram, který škáluje zisky neutronů dosažených ozařováním různorodých terčů laserovým zářením o různé vlnové délce, době trvání a kontrastu laserových impulzů, a to v závislosti na laserové energii. Tento diagram ukazuje obrovský rozptyl zisku neutronů. Například při energii 15 J je poměr mezi největší a nejmenší hodnotou zisku 10000 (10^5 až 10^9 neutronů, viz svislá čára) nebo k zisku neutronů $1 \cdot 10^7$ stačila v jednom experimentu energie pouhý 1 J, zatímco jiný systém potřeboval k docílení stejného zisku 4500 J. Tento diagram též ukazuje obecný trend růstu zisku neutronů s energií laseru, který lze vyjádřit pomocí mocninné funkce $Y=Q E^a$.



Obr. 144 Y_n - E diagram charakterizující různé laserové experimenty pomocí funkce $Y=Q \cdot E^{1,65}$, kde Y je počet fúzních DD-neutronů a E je energie laseru fokusovaná na deuterovaný terč [38].

Zisk dosud provedených fúzních experimentů se pohybuje v rozmezí 10^0 – 10^{12} DD neutronů na jeden výstřel. Při přenosu energie laserového svazku do plazmatu a následně deuteronům se však objevuje řada nelineárních procesů, které mohou generaci neutronů nejen zvyšovat, ale i snižovat. Obtížná měřitelnost či dokonce neměřitelnost všech těchto procesů může být částečně nahrazena škálováním, jak ukazuje obr. 144 [38]. Zde je škálování provedeno pomocí funkce $Y_n = Q E^{1,65}$, kde hodnota exponentu 1,65 definuje podobnost experimentů a koeficient Q kvantifikuje nelineární jevy, které ovlivňují fúzi deuteronů. Exponent 1,65 byl určen empiricky, a to v pracích kolektivů Madison et al., Krása et al. a Zhang et al., citovaných v [38]. Plná černá čára na obr. 144 s $Q=2000$ propojuje zisky experimentů realizovaných pomocí nanosekundových laserů, kde nelineární interakce laserového svazku s produkovaným plazmatem zvyšuje počet deuteronů urychlených na optimální energii a tím zvyšuje i hodnotu Y_n . Naopak experimenty, kde tyto jevy jsou zřej-

mě minoritní, mají $Q=14$, jak ukazuje čárkovaná šedá čára u bodů SGII-up. V experimentech s pikosekundovými lasery může neutronový zisk dokonce klesat s rostoucí energií laseru, jak ukazují body V1 až V3 získané v experimentech se systémem Vulcan (RAL, UK). S rostoucí energií laseru a nedostatečným snižováním kontrastu laserového impulsu roste tloušťka generovaného preplazmatu, což snižuje vliv např. ponderomotivních sil na urychlování iontů. V daných experimentech kleslo Q z hodnoty $7,5 \times 10^6$ na hodnotu 2000, tedy pokles byl 3750násobný, přičemž energie pikosekundového impulsu vzrostla dvacetkrát, a sice z 20 na 400 J.

LITERATURA

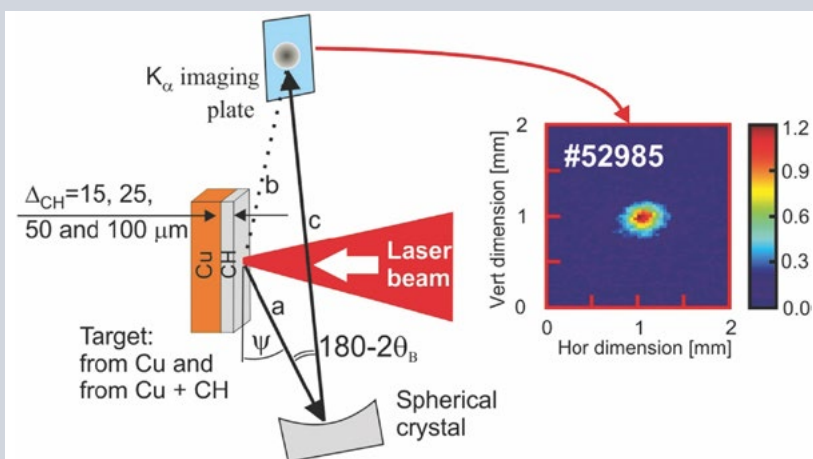
- [38] J. Krása and D. Klír, Scaling of laser fusion experiments for DD-neutron yield, *Front. Phys.* 8 (2020) 310.
doi.org/10.3389/fphy.2020.00310

2.5.13 Emise rychlých elektronů a energetických fotonů z vysokoparametrového laserového plazmatu

Laserové plazma vzniklé interakcí intenzivních laserových svazků s hmotou hraje důležitou roli při studiu systémů o vysoké hustotě energie, jež nabízejí četné praktické aplikace. Relativistické plazma generované terawattovými laserovými systémy je charakterizováno supersonickými toky nabitých částic a tvorbou silných magnetických polí. Komplexní studium těchto jevů prováděné na jódovém laserovém systému PALS ve spolupráci s vědeckými týmy z Polska, Ruska, Francie, Itálie a Velké Británie poskytlo experimentální výsledky, jež umožňují verifikovat teoretické modely vývoje horkého hustého plazmatu. Zvláštní pozornost se soustředila na kvantitativní popis generace horkých elektronů a jejich zadržování v plazmatu, tj. jevu, který vystupuje jako okrajová podmínka ve většině modelů expandujícího plazmatu. Charakteristiky volných

elektronů s energiemi desítek keV až jednotek MeV byly studovány metodami komplexní optické interferometrie, měření částicových spekter a rentgenového zobrazování (viz obr. 145). Získané výsledky ukazují, že emise elektronů vně interakční oblasti je silně potlačena elektrostatickým potenciálem expandujícího plazmatu. Fontánový efekt zpětného elektronového toku ovlivňuje prakticky celou populaci horkých elektronů [39].

Druhý výsledek dosažený rentgenovou spektroskopickou diagnostikou plazmatu je významný pro verifikaci atomových modelů vysoce ionizovaných materiálů s vyššími protonovými čísly Z . Tyto extrémně komplexní modely se zpravidla ověřují porovnáním teoreticky odvozené spektrální emise He- a Li-podobných iontů s experimentálními daty. Spektrální přechody



Obr. 145 Schéma diagnostiky horkých elektronů založené na principu dvoudimenzionálního zobrazování rentgenové emise z terčů obsahujících Cu. Typická experimentální data demonstrují distribuci horkých elektronů na povrchu laserem ozářeného vrstevnatého terče.

iontů s $Z > 15$ se však opět obtížně modelují, navrženým východiskem je měření referenčních spekter zahrnujících emisi vodíku podobných iontů s nižším Z , jež jsou známy velmi přesně. Tento přístup byl úspěšně ověřen studiem rentgenové emise laserem ozářených terčů ortoklasu (KAlSi_3O_8 ; draselný živec), v níž referenční spektrální čáry iontů Al a Si kalibrují rezonanční a satelitní přechody v draslíku (obr. 146). Aplikace této metody umožňuje studovat skladbu energetických hladin minerálů obsahujících prvky s vyšším protonovým číslem Z [40].

LITERATURA

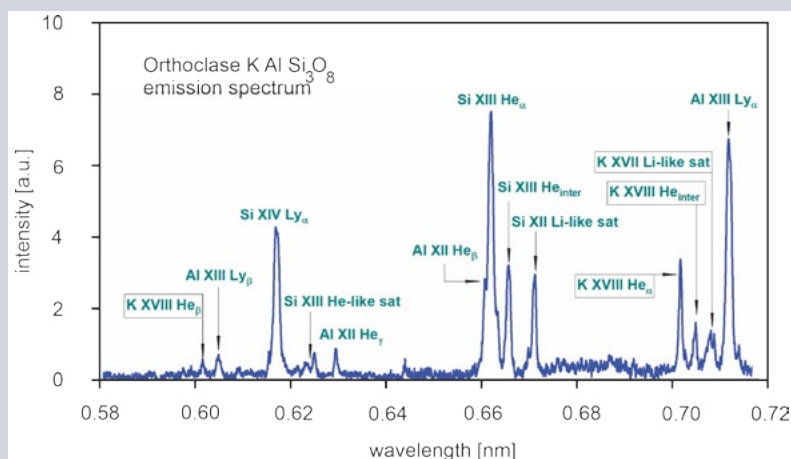
- [39] T. Pisarczyk, M. Kalal, S. Yu. Gus'kov, D. Batani, O. Renner, J. Santos, R. Dudzak, A. Zaras-Szydłowska, T. Chodukowski, Z. Rusiniak, J. Dostal, J. Krasa, M. Krupka, Iu. Kochetkov,

S. Singh, J. Cikhardt, T. Burian, M. Krus, M. Pfeifer, G. Cristoforetti, L. A. Gizzi, F. Baffigi, L. Antonelli, N. N. Demchenko, M. Rosinski, D. Terwinska, S. Borodziuk, P. Kubes, M. Ehret, L. Juha, J. Skala, and Ph. Korneev, Hot electron retention in laser plasma created under terawatt subnanosecond irradiation of Cu targets, *Plasma Phys. Control. Fusion* **62** (2020) 115020.

doi.org/10.1088/1361-6587/abb74b

- [40] S. N. Ryazantsev, I. Yu. Skobelev, E.D. Filippov, A. S. Martynenko, M. D. Mishchenko, M. Krus, O. Renner, and S.A. Pikuz, Precise wavelength measurements of potassium He- and Li-like satellites emitted from the laser plasma of a mineral target, *Matter and Radiation at Extremes* **6** (2021) 014402.

doi.org/10.1063/5.0019496



Obr. 146 Spektrum krystalu ortoklasu ozářeného fokusovaným svazkem výkonového laserového systému PALS. Spektrální přechody mezi energetickými hladinami draslíku jsou kalibrovány čarami H- a He-podobných iontů Al a Si.

2.5.14 Studium meteorických spekter pomocí laboratorně generovaného laserového plazmatu

Analýza meteorických spekter je jednou z hlavních metod studia elementárního složení meziplanetární hmoty dopadající na naši planetu. Ačkoli je pro tento účel možno využít přímo vzorky meteoritů nalezených po dopadu na povrch Země, množství takovýchto nálezů je nesrovnatelně menší v porovnání s počtem těles, které v atmosféře bezesbýtku shoří. V takovém případě je jediná dostupná informace o složení dopadajícího tělesa obsažena v záření emitovaném vzniklým plazmatem (meteorem). Proto je systematická observace meteorických impaktů v atmosféře cenným zdrojem informací o složení meziplanetární hmoty ve Sluneční soustavě. Interpretace takovýchto meteorických spekter však není triviální a vyžaduje jak značnou zkušenost v tomto oboru, tak potřebná referenční spektrální data. Právě v tomto ohledu přispěla naše studie [41] k porozumění typickým spektrálním projevům meteorického plazmatu.

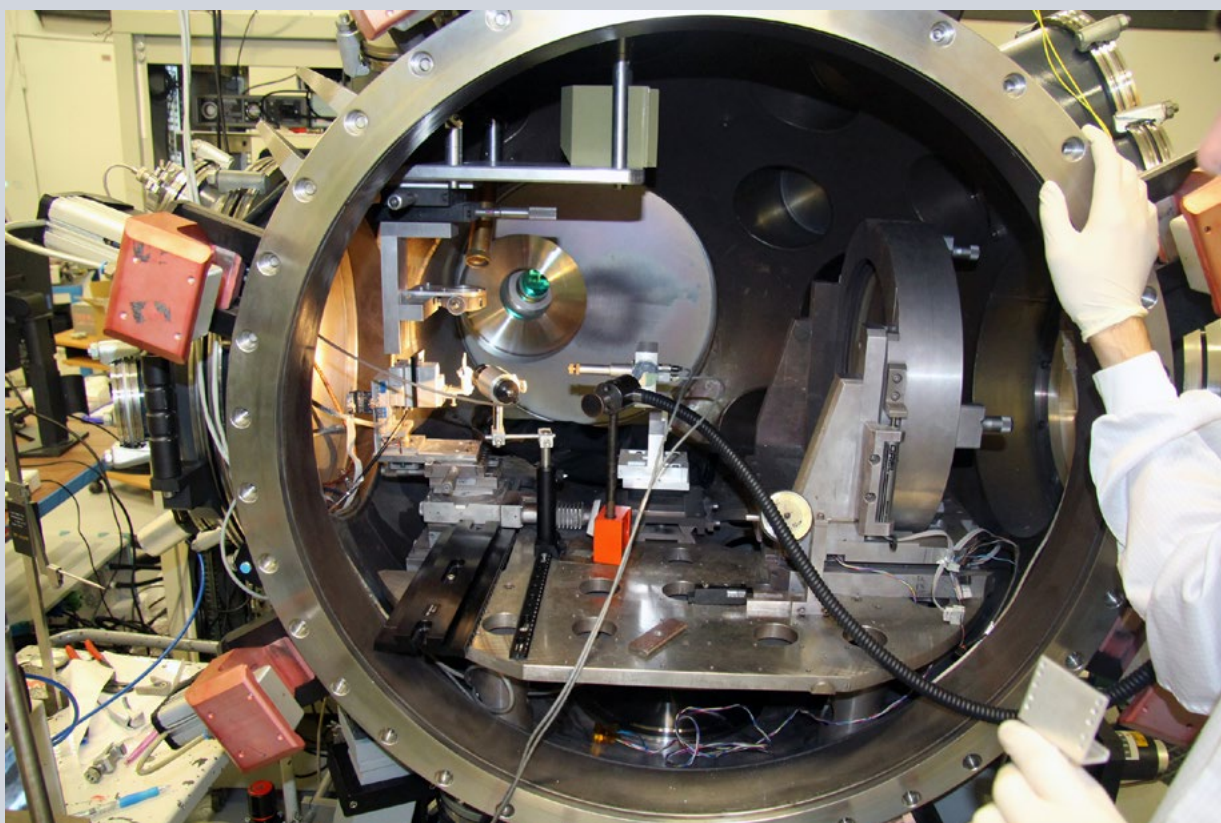
Meteorické plazma bylo simulováno laboratorně pomocí výkonového jódového fotodisociačního laserového systému v Centru PALS (Prague Asterix Laser System). Vzorky chondritických meteoritů byly tímto laserem ablaovány a záření emitované vygenerovaným plazmatem bylo analyzováno pomocí vysoce spektrálně rozlišujícího echelle spektrometru. Zaznamenané spektrální linie byly přiřazeny odpovídajícím energetickým přechodům jednotlivých atomů a iontů vzniklých v plazmatu. Experimentálně získaná spektra byla doplněna rovněž jejich numerickými simulacemi a prezentována ve formě přehledného atlasu emisních spektrálních linií typických pro meteorické plazma.

Tato práce je zdrojem referenčních dat pro kalibraci spekter reálných meteorů. Zároveň však poskytuje nástroj pro samotnou interpretaci a porozumění spektrům pořízeným při observaci impaktů meziplanetární hmoty do zemské atmosféry.

LITERATURA

- [41] M. Ferus, P. Kubelík, L. Petera, L. Lenža, J. Koukal, A. Křivková, V. Laitl, A. Knížek, H. Saeidfirozeh, A. Pastorek, T. Kalvoda, L. Juha, R. Dudžák, S. Civiš,

E. Chatzitheodoridis, and M. Krūs, Main spectral features of meteors studied using a terawatt-class high-power laser, *Astronom. Astrophys.* **630** (2019) A127.
doi.org/10.1051/0004-6361/201935816



Obr. 147 Příprava experimentu zaměřeného na laboratorní simulaci meteorického plazmatu pomocí jódového výkonového laserového systému PALS – sférická interakční komora s nainstalovaným držákem meteorických vzorků a spektrometrickou diagnostikou.

2.5.15 Laboratorní simulace chemických projevů exoplanetárních událostí o vysoké hustotě energie

Předpokládá se, že chemické prostředí mladých planet je do značné míry ovlivněno dopady těles pohybujících se (po zániku protoplanetárního disku) na nestabilních trajektoriích. Důsledky dopadů této meziplanetární hmoty do redukčních planetárních atmosfér (především na jejich chemické složení) byly studovány pomocí výkonového laseru. Samotný experiment byl navržen tak, aby umožnil simulovat vznik horkého plazmatu a tlakové vlny, které se vytvářejí kolem tělesa vstupujícího velkou rychlostí do planetární atmosféry. Výstupy chemické analýzy takto modifikovaných modelových atmosfér byly následně použity jako vstup do teoretických atmosférických modelů zahrnujících rovněž vliv impaktů meziplanetární hmoty. Výsledky této analýzy [42] ukazují, že intenzivní bombardování planety meziplanetární hmotou může mít vliv na che-

mické složení její atmosféry. Významné je především zvýšení koncentrace acetyleny (C_2H_2), který by mohl být v budoucnu pozorován přímo na exoplanetách.

LITERATURA

- [42] P.B. Rimmer, M. Ferus, I.P. Waldmann, A. Knížek, D. Kalvaitis, O. Ivanek, P. Kubelík, S.N. Yurchenko, T. Burian, J. Dostál, L. Juha, R. Dudžák, M. Krūs, J. Tennyson, S. Civiš, A.T. Archibald, and A. Granville-Willett, Identifiable acetylene features predicted for young Earth-like exoplanets with reducing atmospheres undergoing heavy bombardment, *Astrophys. J.* **888** (2019) 21.
doi.org/10.3847/1538-4357/ab55e8



2.5.16 Stanovení radiačně chemického výtěžku OH radikálu ve vodním okně

Výsek měkkého rentgenového oboru označovaný jako tzv. vodní okno je charakteristický tím, že absorpční koeficient uhlíku je zde o řád vyšší než u kyslíku. Této vlastnosti se hojně využívá v mikroskopických zobrazovacích metodách využívajících fotony, jejichž energie spadají právě do spektrální oblasti vodního okna, tedy mezi 284 eV (absorpční hrana uhlíku) a 543 eV (absorpční hrana kyslíku). Výhodou těchto technik je dosažení vysokého kontrastu při transmisních zobrazování biologicky zajímavých struktur obsahující uhlíkaté látky ve vodním prostředí, tedy nejčastěji buňky.

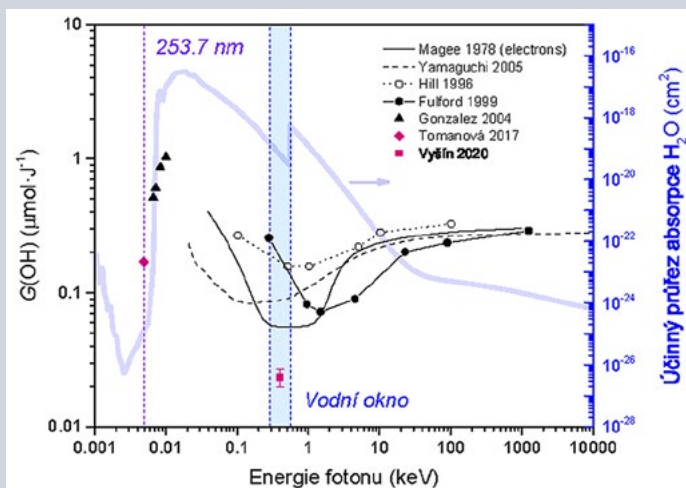
Naším cílem bylo ukázat, jakým způsobem je absorbovaná energie, dodaná v podobě fotonů vodního okna, v ozařovaném systému distribuována. K tomu jsme použili chemické dozimetrie: standardní Frickeho dozimetr (vodný roztok Fe^{2+}) umožňuje stanovit absorbovanou dávku na základě sledu chemických reakcí iniciovaných depozicí energie a tereftalátový fluorescenční dozimetr, který reaguje selektivně pouze s jedním z radikálů, jsou po depozici energie vytvořeny. Kombinací těchto dvou dozimetrů jsme stanovili absorbovanou dávku záření a výtěžek OH radikálu, který je považován za nejreaktivnější radikál radiolýzy vody. Práce je unikátní tím, že naměřená data bylo zatím možno získat pouze teoreticky či pomocí nepřímých pozorování. Praktické provedení experimentu bylo umožněno díky unikátní konstrukci zdroje záření dovolující exponovat fotonovým svazkem kapalné vzorky.

Na obr. 148 jsou vyneseny teoreticky předpovězené a experimentálně získané průběhy radiačně chemických výtěžků OH radikálu jako funkce energie fotonů [43, 44]. Je zde dobře patrný pokles výtěžku s klesající energií fotonů rentgenového záření, což koreluje se snižujícím se dosahem sekundárních elektronů a s tím související větší hustotou ionizací. Naopak zvýšení energie fotonu směrem od ultrafialového spektra vede

k růstu výtěžku OH radikálu spojenému se strmým nárůstem účinného průřezu absorpce molekuly vody.

LITERATURA

- [43] L. Vyšín, P. Wachulak, M. Toufarová, N. Medvedev, R. Voronkov, A. Bartnik, H. Fiedorowicz, and L. Juha, Chemical dosimetry in the “water window”: Ferric ions and hydroxyl radicals produced by intense soft X rays, *Rad. Res.* **193** (2020) 372–382.
doi.org/10.1667/RR15520.1
- [44] K. Tomanová, M. Precek, V. Múčka, L. Vyšín, L. Juha, and V. Čuba, At the crossroad of photochemistry and radiation chemistry: formation of hydroxyl radicals in diluted aqueous solutions exposed to ultraviolet radiation, *Phys. Chem. Chem. Phys.* **19** (2017) 29402.
doi.org/10.1039/c7cp05125e



Obr. 148 Závislost radiačně chemického výtěžku OH radikálu (levá osa) a účinného průřezu absorpce záření (pravá osa) na energii fotonů ve vodě a různých vodných roztocích. Červeně jsou vyznačené hodnoty publikované v pracích [43, 44].

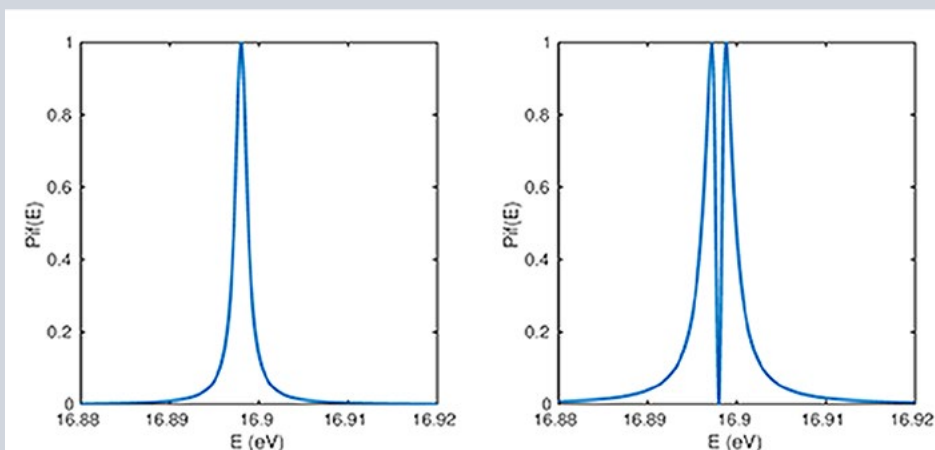
2.5.17 Laserem řízené rezonanční tunelování zvláštním bodem

Jev rezonančního tunelování byl objeven Breitem a Wignerem před více než 80 lety. Breit-Wignerova formule ukazuje, že tunelování potenciálovou bariérou je výrazně zesíleno, pokud energie tunelované částice odpovídá rezonanční energii. Nejjednodušším a nejdůležitějším příkladem tohoto jevu je průchod částice dvoubariérovým potenciálem. Důsledkem tohoto efektu může být i dramatické zvýšení vodivosti, což se využívá v mnoha oborech fyziky a inženýrství, například při návrhu funkčních materiálů.

V teoretické studii [45] bylo ukázáno, jak slabý kontinuální laser může kvalitativně změnit charakter rezonančního tunelování tím, že se indukují zvláštní bod (exceptional point, EP – jedná se o speciální případ nehermitovské degenerace, kdy dochází k degeneraci nejen energií dvou stavů, ale také stavových vektorů.). Na obr. 149 je ukázáno, jak se změni pravděpodobnosti průchodu částice o energii E dvoubariérovým potenciálem po zapnutí laseru. Oproti předchozím studiím zvláštních bodů je zásadní, že změna charakteru rezonančního tunelování je přítomna i v případě, kdy parametry laseru nejsou přesně vyladěny.

LITERATURA

- [45] A. Ben-Asher, D. Šimsa, T. Uhlířová, M. Šindelka, and N. Moiseyev, Laser control of resonance tunneling via an exceptional point, *Phys. Rev. Lett.* **124** (2020) 253202.
doi.org/10.1103/PhysRevLett.124.253202



Obr. 149

Pravděpodobnost $P_{if}(E)$ průchodu částice o energii E skrz potenciálovou bariéru popsanou vztahem $V(x) = (0,5 \times x^2 - 0,8) \exp(-0,1 \times x^2)$ rel. jedn. (a.u.). Vlevo je vykreslena pravděpodobnost před a vpravo po zapnutí vyladěného kontinuálního laseru.

2.6 Sekce realizace projektu ELI Beamlines v roce 2020

134

Centru ELI Beamlines se podařilo v roce 2020 dosáhnout řady mimořádných úspěchů a splnit prioritní milníky týkající se postupného přechodu na plný uživatelský provoz.

Jako součást evropské výzkumné infrastruktury posiluje ELI Beamlines pozici Evropy ve světovém laserovém výzkumu a vytváří taktéž nové příležitosti pro evropský průmysl. Kromě základního výzkumu a vývoje v oblasti laserů pokrývá aplikovaný výzkum v ELI Beamlines oblasti od zlepšení onkologické léčby, lékařské zobrazovací techniky nebo rychlé elektroniky až po studium stárnutí materiálů jaderného reaktoru nebo pro vývoj nových metod zpracování jaderného odpadu. ČR se tak v důsledku stává hostitelskou zemí špičkového mezinárodního výzkumu, což představuje významný potenciál (nejen) pro přilákání dalších investic do vyspělých technologií s vysokou přidanou hodnotou.

ELI Beamlines disponuje významným mezinárodně uznávaným zařízením, které do ČR přilákává excelentní výzkumné pracovníky a podniky. V plném provozu budou jednotlivá laserová experimentální zařízení poskytovat v souhrnu téměř 300 týdnů experimentálního času ročně. Český optický a fotonický průmysl hraje významnou roli při vývoji součástí potřebných při výstavbě ELI Beamlines a údržbě a dalším rozvoji zařízení. ELI Beamlines je proto i pilířem v rozvoji regionálních inovačních iniciativ.

V centru ELI Beamlines je zprovozněno hned několik celosvětově unikátních systémů a byla již také zahájena experimentální činnost na vybraných výzkumných stanicích. Vzhledem k široké škále využití ELI Beamlines a souvisejících požadavků na integraci technologií bylo potřeba celý proces jejich uvádění do provozu realizovat postupně.

V průběhu 2020 byly vyhlášeny další 2 výzvy pro externí uživatele ELI Beamlines. Podstatná část infrastruktury ELI Beamlines byla převedena do režimu uživa-

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

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 s Univerzitou v Rochesteru (Laboratory for Laser Energetics, USA), Ósackou univerzitou (Japonsko), Národní výzkumnou jadernou univerzitou (MEPhI, Rusko), Vratlavskou univerzitou (Polsko).

ELI Beamlines tým v roce 2020 úspěšně dokončil velký výzkumný projekt ELISus podpořený z Národního programu udržitelnosti II. Projekt s rozpočtem přesahujícím 700 mil. Kč pokrýval v průběhu let 2016–2020 všechna hlavní vědecká zaměření ELI Beamlines. Nejvýznamnější investiční aktivity pokračovaly v rámci projektů ADONIS, HiFI a ELIBIO podpořených z Operačního programu Výzkum, vývoj a inovace administrovaného Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy.

Po mnoha letech příprav byla Českou republikou v zastoupení Maďarska, Itálie, Litvy, Německa a Bulharska předložena v červnu 2020 formální žádost o vznik evropského výzkumného infrastrukturního konsorcia ELI ERIC, v jehož rámci dojde k postupné integraci jednotlivých ELI pilířů a jež převezme hlavní odpovědnost za jejich provoz a další rozvoj.

Za excelentní výsledky své celoživotní činnosti prof. János Hajdú, vedoucí projektu ELIBIO, obdržel Cenu Gregorího Aminoffa. Významného úspěchu docílil též dr. Miroslav Klož, když obdržel Junior STAR projekt udělovaný Grantovou agenturou ČR.

Zabývali jsme se také dlouhodobou perspektivou, abychom udrželi ELI Beamlines jako přední zařízení pro výzkum laserů. Představili jsme projekt ELAN, je-

hož cílem je další posílení klíčových kompetencí a kapacit ELI Beamlines v souladu s celosvětovými trendy, a to spojením vynikajících výzkumných potřeb se širokou škálou možných aplikací v průmyslu a lékařství v perspektivě příštího desetiletí.

Uživatelé v ELI Beamlines

V roce 2020 otevřelo Centrum laserového výzkumu ELI Beamlines pro vědeckou komunitu dvě výzvy k předkládání návrhů experimentů zaměřených na výzkum

související s aplikacemi v molekulárních, biomedicínských a materiálových vědách, včetně covid-19 výzvy. Celkem bylo provedeno 20 experimentálních kampaní na 4 uživatelských stanicích.

2.6.1 Vědecké oddělení a výzkumné projekty

V roce 2020 došlo přetransformování velkého oddělení 92 do několika menších oddělení lépe fokusovaných pro specifické výzkumné úkoly. Tato transformace v budoucnosti zefektivní podporu uživatelů přijíždějících do ELI Beamlines řešit své projekty. Nová vědecká oddělení jsou:

- Oddělení 86: radiační fyziky a urychlování elektronů
- Oddělení 87: urychlování iontů a aplikací vysokoenergetických částic
- Oddělení 88: strukturní dynamiky
- Oddělení 89: fyziky plazmatu a interakcí s ultravysokou intenzitou

Kromě těchto vědeckých oddělení vzniklo nové oddělení 97 technické infrastruktury a přístrojových služeb, které soustředilo několik technických podpůrných týmů.

Do konce roku 2020 byly v provozu tři velké laserové zdroje, tři menší podpůrné lasery, rentgenový zdroj a jeden urychlovač částic, stejně jako šest experimentálních stanic, které byly také k dispozici uživatelům k uskutečnění mnoha pokročilých experimentů.

2.6.2 Oddělení 86: radiační fyziky a urychlování elektronů

Výzkumný program rentgenových zdrojů

V systému dvoubarevného čerpání při generaci vysokých harmonických frekvencí (HHG) se podařilo rozšíření dosažitelných vlnových délek HHG zdroje a zvýšení počtu generovaných fotonů díky zesílení jednoatomové odezvy. Byly vyvinuty numerické nástroje předpovídající experimentální výsledky a byla implementována možnost dvoubarevného čerpání do HHG Beamline. To umožnilo rozšíření dosažitelných vlnových délek generovaných na tomto zařízení o sudé harmonické řady, které se jednobarevným polem generovat nedají.

Cílem aplikace elektronových svazků v medicíně byl výzkum a vývoj in-situ diagnostiky pro potenciální integrované zařízení, které se využije v medicínských léčebných a diagnostických aplikacích. Byla zkoumána generace sekundárních částic ve vodním paprsku ozářeném elektronovými svazky. Studie byla provedena za pomoci Monte Carlo počítačových simulací. Laboratorní experiment, odložený kvůli pandemii covid-19, je naplánován na jaro 2021.

Výzkumný program LUIS

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.

Byla vyvinuta diagnostika plazmového terče svazku LUX pro měření parametrů plazmatu s vysokým rozlišením umožňující testování experimentální sestavy pro charakterizaci výbojového plazmatu v kapiláře a srovnání se simulacemi popisujícími jeho dynamiku. Simulace k modelování dynamiky výbojového plazmatu v kapiláře probíhá ve spolupráci týmů LUIS, HiFi (ELI Beamlines) a ústavem KIAM RAS (Moskva, Rusko). Po dokončení optické sestavy budou provedena měření hustoty výbojového plazmatu v kapiláře pomocí emisní spektroskopie.

Byla vyvinuta rovněž pokročilá elektronová optika a diagnostika pro paprsek LUX pro základní a pokročilou diagnostiku elektronového paprsku pro nastavení LUIS včetně testu hlavních komponent na elektronovém paprsku v DESY (Německo) a INFN (Itálie). Všechny komponenty pro diagnostiku elektronového paprsku LUIS jsou připraveny. Všechny komponenty pro nastavení LUIS Phase0 jsou nainstalovány v experimentální hale ELI-BL E5, elektronový paprskový spektrometr byl testován na elektronovém paprsku na DESY jako součást nastavení LUX vyvinutý ve spolu-



práci mezi UHH-DESY a ELI Beamlines Na INFN byla[1] rovněž uspořádána jedna experimentální kampaň za účelem testování pokročilého nastavení OTR.

Projekt HiFi – Výzkum velmi intenzivních polí

Projekt HiFi vznikl v roce 2017 a jeho hlavním tématem je výzkum velmi intenzivních elektromagnetických polí. Tento projekt tvoří silná teoretická skupina, která poskytuje základ pro realizaci nových experimentů, a současně buduje synergii mezi teorií a experimentem pomocí analytického modelování a rozsáhlých numerických simulací na vysokovýkonných počítačových klastrech. Projekt HiFi si klade za cíl studium nových fyzikálních režimů, při nichž radiační reakční síla a kvantově-elektrodynamické procesy (např. tvorba elektron-pozitronových párů či polarizace vakua) hrají nezanedbatelnou roli, a dále také výzkum týkající se např. laboratorní astrofyziky. Nové poznatky aktivně využívá pro rozvoj fyziky v oblastech urychlování nabitých částic a produkce vysokoenergetických fotonů. Členové projektu HiFi během roku 2020 vyprodukovali celkem 34 publikací v mezinárodních impaktovaných časopisech.

Urychlování nabitých částic (elektronů a iontů):

Výsledkem výzkumné spolupráce věnující se teoretickému studiu kapilárních výbojů v plazmatu, které generují kanály pro navádění intenzivních laserových impulsů, je světový rekord v obdržené energii elektronového svazku (8 GeV) urychleného pomocí mechanismu brázdového pole laseru.

A. J. Gonsalves *et al.* Laser-heated capillary discharge plasma waveguides for electron acceleration to 8 GeV, *Physics of Plasmas* **27** (2020) 053102.

<https://doi.org/10.1063/5.0002769>

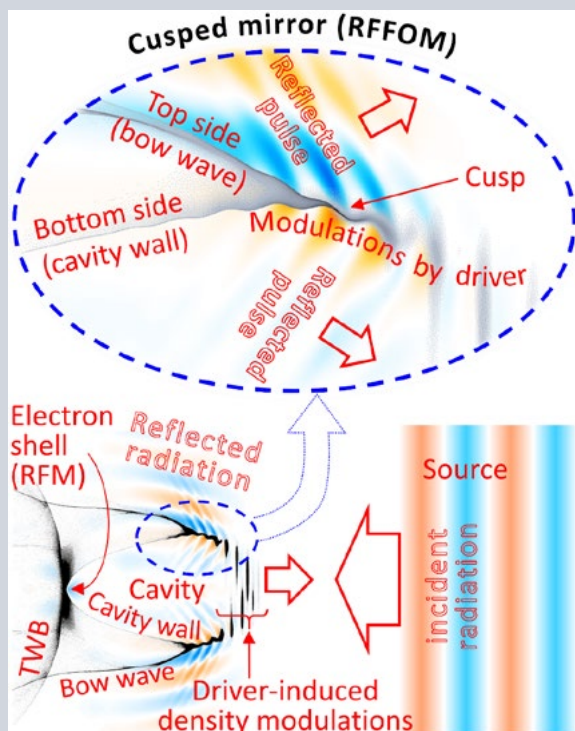
Analytické modelování a počítačové simulace urychlování elektronů pomocí brázdového pole laseru v podmínkách současných laserových systémů s vysokou opakovací frekvencí (jako je např. laser L1 na ELI Beamlines) dále prokázaly, že dochází k dosud nepopsaným periodickým změnám brázdového pole, a to zejména vlivem disperze a jí přidruženému rozdílu v rychlosti šíření fáze a obálky budící elektromagnetické vlny. Obdržené poznatky mohou být v budoucnu využity k optimalizaci řady kritických parametrů urychlených elektronových svazků.

[2] P. Valenta *et al.* Polarity reversal of wakefields driven by ultrashort pulse laser, *Physical Review E* **102** (2020) 053216.

doi.org/10.1103/PhysRevE.102.053216

Produkce vysokoenergetických fotonů:

Zdroje koherentního krátkovlnného záření (od rentgenového spektra až po záření gama) mohou být založeny na principu relativistického zrcadla, kdy první laserový impuls vytvoří plazmovou vlnu, která se šíří téměř rychlostí světla, a druhý, laserový impuls v opačném směru, je od této vlny odražen. Dopplerův jev při této interakci způsobí výrazné zkrácení a zesílení od-



Obr. 150 Schéma pro realizaci relativistických zrcadel pomocí singularit v laserovém plazmatu: Budící laserový impuls vytváří v podkritickém plazmatu hustotní kavitu, jejíž stěny mohou sloužit jako relativistické zrcadlo pro protijdoucí laserový impuls. Okolí hustotní singularity je detailně zobrazeno v poli ohraničeném modrou čarou. Singularita provádí nucené kmity a její tvar je zároveň modulován vlivem elektromagnetického pole budícího laseru. Odražené záření má z tohoto důvodu velmi komplexní časoprostorové rozložení obsahující vysoké harmonické frekvence a intenzivní místa formovaná vlivem konstruktivní interference.

raženého impulsu. Pomocí analytického modelování[5] a počítačových simulací se podařilo popsat vlivy zpětného rázu takto vytvořeného zrcadla a nalézt hranici pro parametry dopadajícího svazku, za níž dochází k destrukci zrcadla a s ní spojeným výrazným poklesem reflektivního koeficientu.

- [3] P. Valenta *et al.* Recoil effects on reflection from relativistic mirrors in laser plasmas, *Physics of Plasmas* **27** (2020) 032109.
doi.org/10.1063/1.5142084

Dále bylo nalezeno a popsáno nové schéma pro realizaci relativistických zrcadel, a to pomocí singularit v laserovém plazmatu. V okolí čela laserového impulsu šířícího se podkritickým plazmatem může vzniknout významná hustotní singularita, která navíc provádí nucené kmity indukované elektromagnetickým polem laseru. Záření odražené od takto vzniklé singularity je tudíž obohaceno o vysoké harmonické frekvence. Výzkum na toto téma dále prokázal, že tyto singularity je možné zobrazovat pomocí šlírové fotografie, což přináší nové možnosti pro pozorování Lampova-Penroseova-Terrellova jevu.

- [4] J. Mu *et al.* Relativistic flying forcibly oscillating reflective diffraction grating, *Phys. Rev. E* **102** (2020) 053202.
[doi/10.1103/PhysRevE.102.053202](https://doi.org/10.1103/PhysRevE.102.053202)

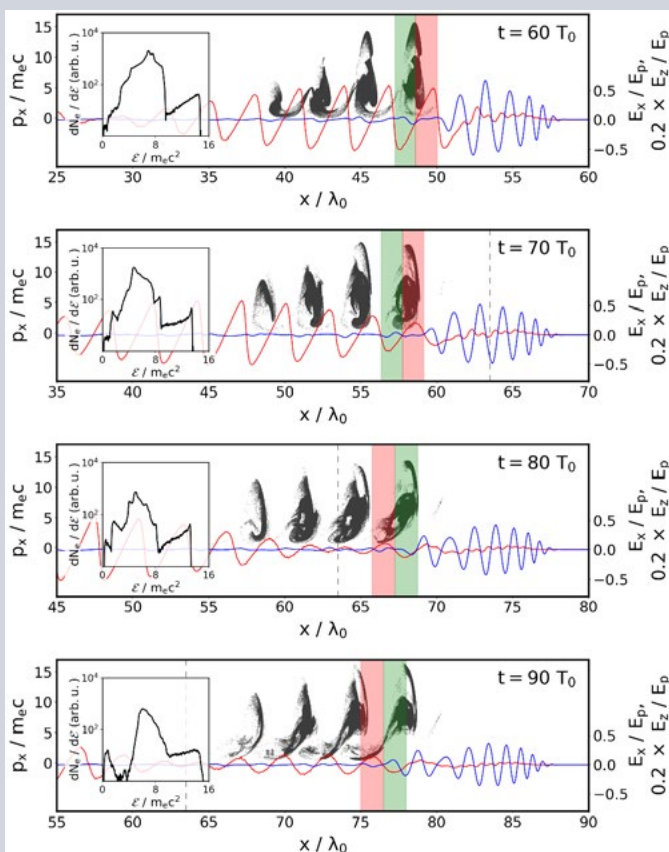
- T. Zh. Esirkepov *et al.* Optical probing of relativistic plasma singularities, *Physics of Plasmas* **27** (2020) 052103.
doi.org/10.1063/5.0004525

Výzkum kvantově-elektrodynamických procesů:

Na základě Eulerova-Heisenbergova lagranžiánu byly získány tenzory permitivity a permeability vakua v podmínkách sférické fokusace silného elektromagnetického pole, které poukazují na nelineární vlastnosti kvantově-elektrodynamického vakua. S využitím rozptylu testovací elektromagnetické vlny při průchodu ohniskem byl dále získán diferenciální účinný průřez nelineárního dvojlomu vakua a počet rozptýlených fotonů.

- [6] T. M. Jeong *et al.* 4π -spherically focused electromagnetic wave: diffraction optics approach and high-power limits, *Opt. Express* **28** (2020) 13991.
[7] T. M. Jeong *et al.* Photon scattering by a 4π -spherically-focused ultrastrong electromagnetic wave, *Phys. Rev. A* **102** (2020) 023504.
doi.org/10.1364/OE.387654

Kvantově-elektrodynamické vakuum se v přítomnosti elektromagnetické vlny s malým, ale konečným vln-



Obr. 151 Změna polarizace brázdrového pole a její vliv na parametry elektronového svazku: Fázový prostor elektronů (černě), osový řez brázdrovým polem (červeně) a osový řez elektrickým polem budícího laseru (modře) ve čtyřech po sobě jdoucích časových okamžicích trojrozměrné částicové simulace. Vložený graf zobrazuje energetické spektrum elektronů zachycených v první periodě brázdrového pole. Urychlující a zpomalující fáze první periody brázdrového pole jsou zvýrazněny zeleným, resp. červeným pruhem. Souřadnice přepólování brázdrového pole je vyznačena čárkovanou čarou.

vým číslem chová jako disperzní prostředí. Pomocí analytického modelu bylo prokázáno, že souhra mezi polarizací vakua a nelineárními jevy při interakci dvou protichůdných elektromagnetických vln může vést ke vzniku solitonů, tedy osamocených vln šířících se daným prostředím na dlouhé vzdálenosti beze změny tvaru.

- [8] S. V. Bulanov *et al.* Electromagnetic Solitons in Quantum Vacuum, *Physical Review D* **101** (2020) 016016.
[doi/10.1103/PhysRevD.101.016016](https://doi.org/10.1103/PhysRevD.101.016016)

Výzkumný program ELBA:

Stavba nejvýkonnějších LWFA elektronových urychlovačů na světě

Sestavování a instalace komponentů ELI-ELBA beamline v experimentální hale E5 pokračují hladce. Dokončeny a úspěšně otestovány byly systémy elektroinstalace, HW pro sběr dat, vodní chlazení a přípojky centrálního rozvodu vakua. Hlavní dvě vakuové komory o celkové vnitřní ploše 30 m² byly posunuty do finální pozice umožňující využít fokusaci laseru uvnitř komor s ohniskovou vzdáleností >10 metrů.

Jakmile bude urychlovač ELI-ELBA uveden do provozu, bude s ním možné urychlovat elektronové svaz-

ky na energie v řádu GeV s opakovací frekvencí 3,3 Hz. Takovéto parametry umožní provádět experimenty nelineární kvantové elektrodynamiky s unikátní opakovací frekvencí.

Jednou z aktivit ELI-ELBA týmu v roce 2020 bylo také sestavení a uvedení do provozu uživatelské platformy ALFA. Platforma ALFA umožňuje produkci elektronových svazků s energií 100 MeV při extrémně vysoké opakovací frekvenci 1 kHz. Využívá k tomu unikátní laser L1-Allegria instalovaný v ELI-Beamlines.

Výzkumný program FLAX:

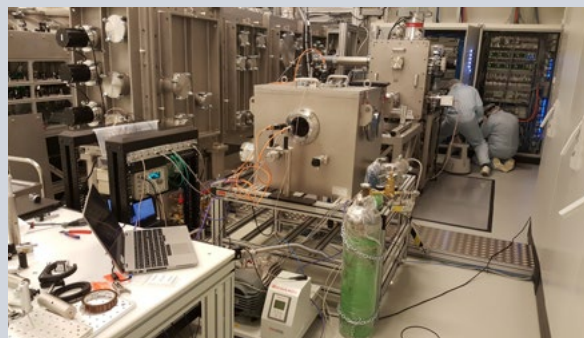
Laserem buzené zdroje rentgenového záření

V rámci tohoto programu probíhalo vylepšování a uživatelský provoz kHz XUV zdroje na principu generace vysokých harmonických frekvencí v plynném prostředí. Tento zdroj byl použit např. ke studiím ve vědách atomové, molekulární a optické fyziky nebo ke koherentnímu difrakčnímu zobrazování (obr. 154).

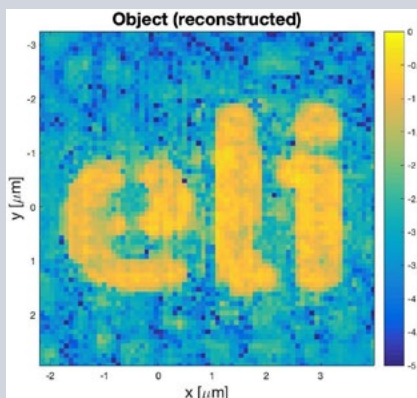
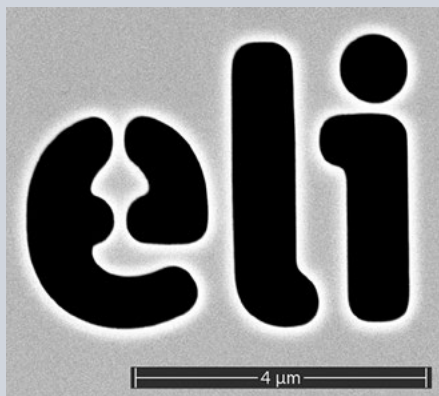
Během výzkumu plazmových rentgenových laserů se pak ve spolupráci s francouzskou laboratoří LOA podařilo demonstrovat dvoubarevné zesilování vysokých harmonických v kryptonovém plazmatu.



Obr. 152 ELI-ELBA Beamline v experimentální hale E5 (listopad 2020)



Obr. 153 Platforma ALFA (prosinec 2020)

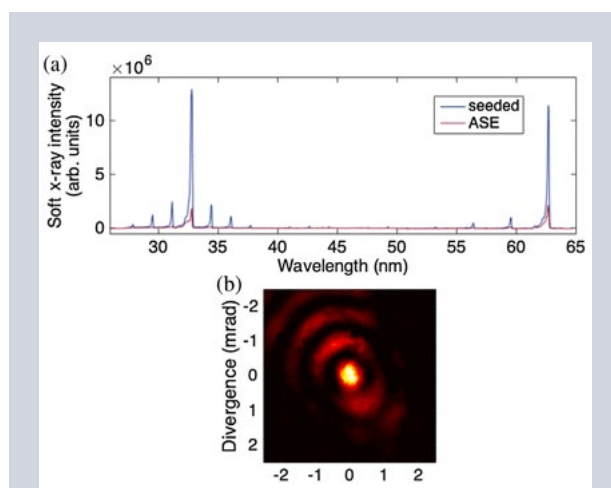


Obr. 154 Obrázek objektu v rastrovacím elektronovém mikroskopu (vlevo). Rekonstrukce obrázku tohoto objektu osvětleného 21. harmonickou frekvencí Ti:S laseru s vlnovou délkou 38 nm (vpravo).

- [9] F. Tissandier, J. Gautier, J.-P. Goddet, A. Kabacinski, S. Sebban, J. Nejd, M. Kozlová, and G. Maynard, Two-Color Soft X-Ray Lasing in a High-Density Nickel-like Krypton Plasma, *Phys. Rev. Lett.* **124** (2020) 133902. [doi/10.1103/PhysRevLett.124.133902](https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.124.133902)

Dále probíhaly přípravy na zprovoznění laserových zdrojů tvrdého rentgenového záření, konkrétně plazmového zdroje s kHz opakovací frekvencí a zdroje založeného na záření relativistických elektronů (plazmový betatron) buzeného PW laserem L3 HAPLS. Pokročilé schéma druhého ze zmiňovaných zdrojů se speciálním profilem hustoty plynného terče bylo publikováno.

- [10] M. Kozlová *et al.* Hard X Rays from Laser-Wakefield Accelerators in Density Tailored Plasmas, *Phys. Rev. X* **10** (2020) 011061 [doi/10.1103/PhysRevX.10.011061](https://doi.org/10.1103/PhysRevX.10.011061)



Obr. 155 Spektrum dvoubarevného Kr rentgenového laseru fungujícího na principu ASE a spektrum zesílených harmonických injektovaných do tohoto plazmatu (a) a intenzitní profil takto generovaného XUV svazku (b).

2.6.3 Oddělení 87: Urychlování iontů a aplikací vysokoenergetických částic

Laserový svazek L3-HAPLS úspěšně přiveden k uživatelským stanicím

V průběhu roku 2020 byl svazek z laseru L3-HAPLS o nižší energii doveden do interakční komory ELIMIA beamline. Tím byla demonstrována technická připravenost celého řetězce transportu laserového svazku od zdroje laserového pulsu až k uživatelské stanici. Tím také začala naplno fáze uvádění do plného provozu urychlovače iontů.

Experimentální terčová oblast TERESA spuštěna v hale L2

Do provozu byla úspěšně uvedena experimentální terčová oblast TERESA (TEStbed for high REpetition-rate Sources of Accelerated particles, česky Testovací zařízení poskytující zdroje urychlených částic o vysoké opakovací frekvenci, viz obr. 156) zaměřená na interakci laserových impulsů s plazmatem. Jejím hlavním cílem je výzkum a testování inovativních řešení výměny terčů pro experimenty s vysokou opakovací frekvencí (až 10 Hz), stejně jako diagnostika takových měření. TERESA využívá kruhovou subaperturu laseru L3-HAPLS, jehož plný špičkový výkon dosahuje 1 PW a bude dostupný uživatelům v jiných experimentálních stanicích, které se právě spouštějí.

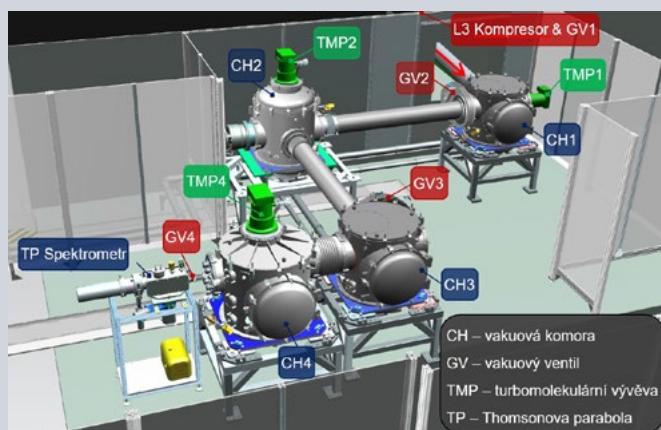
Terčová oblast TERESA je umístěna v laserové hale L2 (vedle laserové haly L3, kde se nachází laserový systém), tedy na druhém patře laserové budovy ELI Beamlines. Toto umístění je výhodné vzhledem ke krátké dráze laserového svazku do terčové oblasti a jednoduchému vakuovému propojení s kompresorem lase-

ru L3-HAPLS. TERESA je navržena pro experimenty ve vysokém vakuu ($\sim 10^{-6}$ mbar). Její vakuový systém tvoří čtyři navzájem propojené komory. První dvě komory jsou určeny především k transportu laserového svazku, zatímco druhé dvě obsahují fokusační optiku a různou diagnostiku vzhledem k tomu, že právě zde dochází k interakci laserového impulsu s terčem. Detailní popis terčové oblasti TERESA zahrnující veškeré informace o laseru, transportu svazku, kontrolních a vakuových systémech, stejně jako o dostupné diagnostice a terčovém systému, je k dispozici v [1].

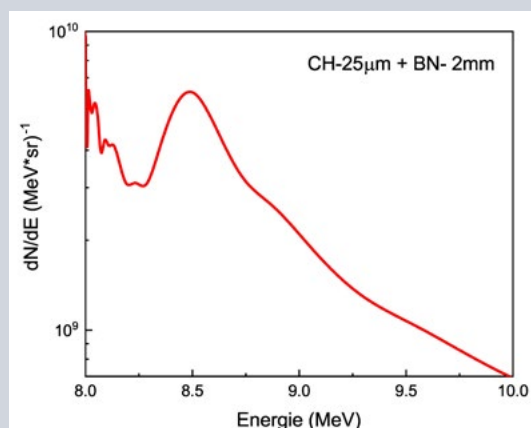
- [1] M. Tryus, F. Grepl, T. Chagovets, A. Velyhan, L. Giuffrida, S. Stancek, V. Kantarelou, V. Istokskaja, F. Schillaci, M. Zakova, J. Psikal, M. Nevrla, C. M. Lazzarini, G.M., Grittani, L. Goncalves, M.F. Nawaz, J. Cupal, L. Koubíková, S. Buck, J. Weiss, D. Peceli, P. Sztokowski, K. Majer, J.A. Naylor, J.T., Green, D. Kramer, B. Rus, G. Korn, T. Levato, D. Margarone, TERESA Target Area at ELI Beamlines, *Quantum Beam Science*, **4**(4) (2020) 37. doi.org/10.3390/qubs4040037

Laserem řízené generování částic a z proton-borové fúzní reakce

Laserem řízená proton borová reakce termojaderné fúze (pB) v poslední době přitáhla mnoho pozornosti díky vysokému počtu různých aplikací vyžadujících vysokou energii a vysoký proud produkovaných částic



Obr. 156 Celkový pohled na terčovou oblast TERESA (Testbed for high REpetition-rate Sources of Accelerated particles) v hale L2. Šipka zobrazuje směr přicházejícího laserového svazku.



Obr. 157: Energetické spektrum částic α konvertované z jejich toku, který byl měřen pomocí detektoru CR39 umístěného proti zadní straně BN terče. Výsledky byly zprůměrované přes 10 různých oblastí stejného detektoru. Celkový počet částic a dosáhl podle metody počítání iontových drah hodnoty $5 \times 10^9/\text{sr} \pm 20\%$.

140

α (např. aplikace v jaderné fyzice, inovativní pohony, materiálové vědy, medicína aj.). Členové týmu oddělení 87 jsou zahrnuti ve výzkumných aktivitách týkajících se pB fúzní reakce již od roku 2014. Během minulého roku se uskutečnil experiment [2] v Institute of Laser Engineering v Osace za použití petawatového laserového systému LFEX s krátkým pulsem, vysokou intenzitou i energií v impulsu. V experimentu byl laserový impuls fokusován na tenkou plastovou fólii (pitcher), ze které se tímto způsobem urychlil protonový svazek dobře známým TNSA mechanismem. Tento svazek následně narazil do bor-nitridového terče (BN catcher) za účelem generování částic α jako produktů proton-borové termonukleární fúzní reakce. Získané

výsledky demonstrují generaci částic α s energiemi mezi 8–10 MeV a tokem kolem $5 \times 10^9 \text{ sr}^{-1}$.

- [1] D. Margarone, A. Morace, J. Bonvalet, Y. Abe, V. Kantarelou, D. Raffestin, L. Giuffrida, P. Nicolai, M. Tosca, A. Picciotto, G. Petringa, G. A. P. Cirrone, Y. Fukuda, Y. Kuramitsu, H. Habara, Y. Arikawa, S. Fujioka, E. D’Humieres, G. Korn, Batani D., Generation of α -Particle Beams With a Multi-kJ, Peta-Watt Class Laser System, *Frontiers in Physics*, 8 (2020) 343.
doi.org/10.3389/fphy.2020.00343

2.6.4 Oddělení 88: strukturní dynamiky

Cílem oddělení 88 v roce 2020 bylo provozovat a dále rozvíjet uživatelské stanice pro výzkum struktury, dynamiky a funkce vzorků – od izolovaných atomů až po složité biologické vzorky a pevné látky. Pro tento účel se používají ultrakrátké impulzy z laserem řízených XUV a rentgenových zdrojů, stejně jako impulzy z primárních infračervených laserů. Hlavní experimentální technologie zahrnují časem odlišenou difrakci i rozptyl a zobrazovací techniky, spektroskopii v oblastech optického (IČ až hluboké UV), XUV a rentgenového záření, jakož i iontovou a elektronovou spektroskopii. Uživatelský provoz s otevřeným přístupem je ústřední úlohou pro oddělení 88. V roce 2020 jsme provedli dvě otevřené výzvy pro uživatelskou komunitu. Jednu pro obecné využití vědeckých zdrojů oddělení 88 a jednu zaměřenou specificky na výzkum covid-19.

Hlavní výsledky oddělení 88:

Dynamika flavinmononukleotidu v oblasti femtosekund až nanosekund sledovaná stimulovanou Ramanovou spektroskopií a simulacemi

Flavinmononukleotid (FMN) patří do velké rodiny flavinů, všudypřítomných žlutě zbarvených biologických chromoforů, které obsahují cyklický systém izoalloxazinu. Ultrarychlé přechody excitovaného FMN byly sledovány společným použitím femtosekundové stimulované Ramanovy spektroskopie (FSRS) a transientní absorpční spektroskopii v časovém okně od 0 ps až po 6 ns s časovým rozlišením po 50 fs. Globální analýza získané transientní viditelné absorpce a transientního Ramanova spektra v kombinaci s rozsáhlými kvanto-

vě chemickými výpočty jednoznačně identifikovala singletové a tripletové populace FMN a řešila účinky dynamiky rozpouštědel. Naše výsledky představují první kroky ke složitějším experimentům zaměřeným na sledování strukturálních změn FMN odehrávajících se při fotoexcitaci světlem indukovatelných proteinů.

- [1] P. C. Andrikopoulos, Yi. Liu, A. Picchiotti, N. Lenngren, M. Kloz, A. S. Chaudhari, M. Precek, M. Rebarz, J. Andreasson, J. Hajdu, B. Schneider and G. Fuertes, *Phys. Chem. Chem. Phys.*, **22** (2020) 6538–6552.
doi.org/10.1039/C9CP04918E

Ultrarychlá dynamika horkých nosičů náboje v oxidickém polovodiči sondovaném femtosekundovou spektroskopickou elipsometrií

Mnoho propojených procesů probíhá současně v silně buzených polovodičích, jako je například vnitropásmová a mezipásmová absorpce, rozptyl elektronů a děr vyhřívanou mřížkou, Pauliho blokování, renormalizace zakázaného pásu a tvorba Mahanových excitonů. V této práci odhalujeme jejich dynamiku a příspěvky k optické odezvě tenkého filmu ZnO s využitím širokopásmové pump-probe elipsometrie (buzení – sonda). Naše výsledky dláždí cestu k novým způsobům, jak chápat nerovnovážnou dynamiku nosičů náboje v materiálech tím, že spolehlivě rozlišují mezi změnami

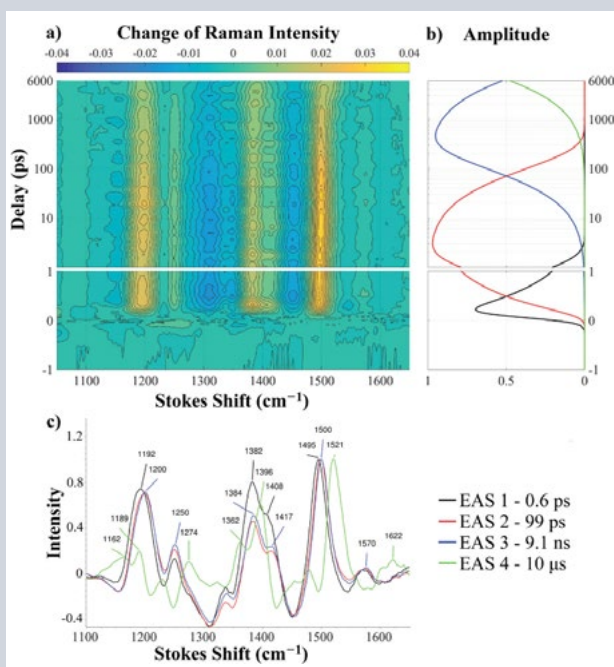
absorpčního koeficientu a indexu lomu, čímž oddělují konkurenční procesy.

- [2] Steffen Richter *et. al.*, Ultrafast dynamics of hot charge carriers in an oxide semiconductor probed by femtosecond spectroscopic ellipsometry, *New J. Phys.* **22** (2020) 083066.
doi.org/10.1088/1367-2630/aba7f3

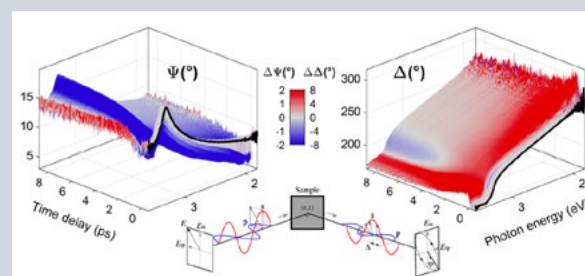
Projekt ELIBIO

Biologická laboratoř uvedena do provozu

Biolaboratoř projektu ELIBIO má za úkol podpořit a rozvíjet biomolekulární a biologický výzkum v centru ELI Beamlines prostřednictvím vlastního nového experimentálního analytického vybavení a umožnit přípravu a skladování vlastních biomolekulárních (proteiny) a biologických vzorků (buňky, bakterie, biologické částice, viry, apod.). V roce 2020 byla již nová biolaboratoř v provozu, navzdory omezením v cestování způsobeným pandemií covid-19. V březnu, těsně před plošnou karanténou, byla dodána řada významných zařízení, zejména systém environmentálního skenovacího elektronového mikroskopu včetně stanice pro kryogenní přípravu vzorků a zobrazovací systém pro DNA a proteiny. Kompletní instalace nábytku v biolaboratoři byla dokončena v červnu a od této doby je laboratoř v plném provozu. Všechny op-



Obr. 158 Časově rozlišená femtosekundová stimulovaná Ramanova (FSRS) spektra FMN v nepufrované vodě s Ramanovým čerpáním na 800 nm. (a) Konturový graf Stokesových FSRS spekter při různých časových odstupech po fotoexcitaci 400 nm. (b) Amplitudy z globální regrese pomocí sekvenčního kinetického schématu zobrazujícího čtyři ramanovské složky o životnosti $t_1 = 0,6$ ps (černá), $t_2 = 99$ ps (červená), $t_3 = 9,1$ ns (modrá) a složku $t_4 = 10$ ms (zelená). V (a) a (b) je časové měřítko lineární až do 1 ps a poté logaritmické. (c) Normalizovaná evolučně provázaná spektra (EAS) zmíněných čtyř složek.



Obr. 159 Časová evoluce eliptometrických úhlů Ψ (amplitudový poměr) a Δ (fázový rozdíl) tenkého filmu ZnO po nerezonančním UV vybuzení měřeném při 60° úhlu dopadu. Přírůstky vzhledem k počátečnímu spektru před excitací (černá) jsou zobrazeny modře, poklesy červeně. Schéma v dolní části ilustruje význam eliptometrických parametrů.

tické mikroskopy byly nyní přeneseny na svá pracovní místa. Byly nainstalovány kyslíkové monitory. V laboratoři BSL2 byly zahájeny práce na vývoji účinných vstřikovačů vzorků a nových diagnostických přístrojů. Podpůrná laboratoř laserové optické spektroskopie je v provozu a na špičkové mezinárodní úrovni.

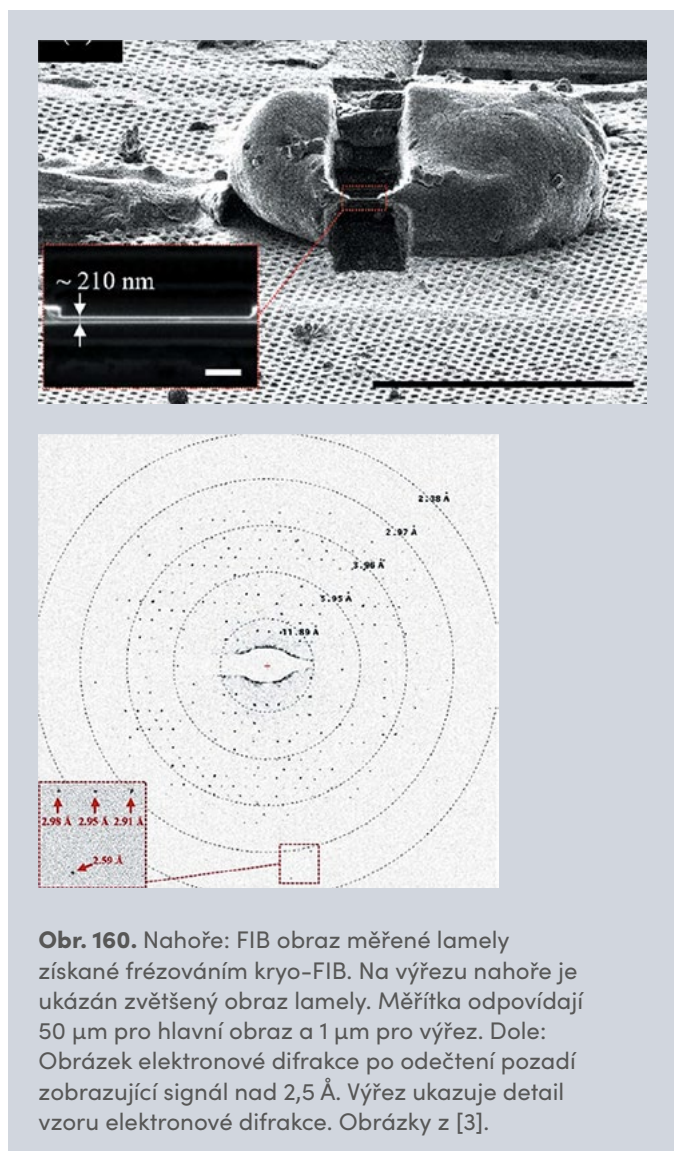
Demonstrace metody elektronové difrakce z membránových proteinových krystalů pěstovaných v lipidové mezofázi po přípravě lamely soustředěným frézováním iontového paprsku při kryogenních teplotách.

Elektronová krystalografie na krystalech rozpustných proteinů se nedávno prosadila jako cenná oblast strukturální biologie. Tato metoda však není vhodná pro zkoumání membránových proteinových krystalů vypěstovaných z lipidových kubických fází, nejčastějšího média pro krystalické membránové proteiny. Tyto krystaly jsou pokryty silnou vrstvou lipidů z krystalizačního média a elektrony nemohou proniknout hus-

tým vzorkem. V práci Dr. Polovinkina a kol. [3] byl použit fokusovaný iontový svazek (FIB) při kryogenních teplotách k odstranění lipidové vrstvy z krystalů tak, aby byly z těchto krystalů vytvořeny tenké lamely. Tato metoda byla předvedena na krystalech bakteriorhodopsinu kontrolovaně pěstovaných v lipidové kubické mezofázi monooleinu až do tloušťky vhodné pro vysoké kvalitní elektronovou difrakci (obr. 160). Podle jednoho z recenzentů práce: „Výsledky lze považovat za milník: membránové proteiny jsou obtížnými cíli pro krystalografii, protože je obtížné je krystalizovat. Tato skutečnost bývala jednou z motivací pro konstrukci laserů na volných elektronech (FEL). Vzhledem k omezené dostupnosti přístrojového času na FELech může být tento rukopis milníkem nové éry v oblasti stanovení struktury membránových proteinů.“ Stojí za zmínku, že asi 70 % všech léků se zaměřuje právě na membránové proteiny.

- [3] V. Polovinkin, K. Khakurel, M. Babiak, B. Angelov, B. Schneider, J. Dohnalek, J. Andreasson and J. Hajdu, Demonstration of electron diffraction from membrane protein crystals grown in a lipidic mesophase after lamella preparation by focused ion beam milling at cryogenic temperatures, *J. Appl. Cryst.* 53 (2020) 1416–1424.

doi.org/10.1107/S1600576720013096



2.6.5 Oddělení 89: fyziky plazmatu a interakcí s ultravysokou intenzitou

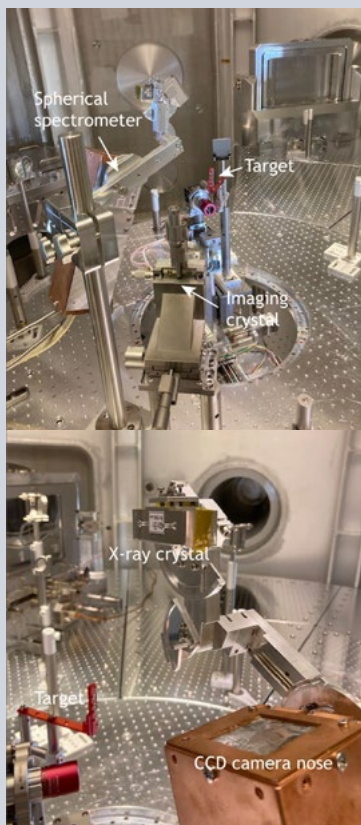
Hlavní činností oddělení Fyziky plazmatu a interakcí s ultravysokou intenzitou bylo připojení laseru L3 (HAPLS) pro umožnění experimentů v komoře P3. Účelem bylo otestovat funkčnost systému přenosu laserového svazku (tzv. laser beam transport), experimentálního systému pro krátkou fokální délku (SFL) s použitím $f/3$ OAP paraboly, diagnostiky a systému sběru dat. Přestože byl použit HAPLS svazek v plném profilu, energie byla prozatím omezena přibližně na 100 mJ. Zprovoznování systému na maximální energii bude pokračovat během roku 2021. Následně bude vydána první otevřená výzva budoucím uživatelům infrastruktury P3.

Obrázek 161 zobrazuje celkový pohled na SFL systém v komoře P3. Detailní snímek diagnostiky a uspořádání terčů je na obrázku 162. Obrázek 163 pak zobrazuje první změřené X-ray spektrum s použitím vanadiového terče. Kromě získání prvních experimentálních dat byla rovněž provedena analýza kvality laserového svazku (například prostorová stabilita svazku, kvalita tzv. laser wavefront a zaostření svazku, atd.).

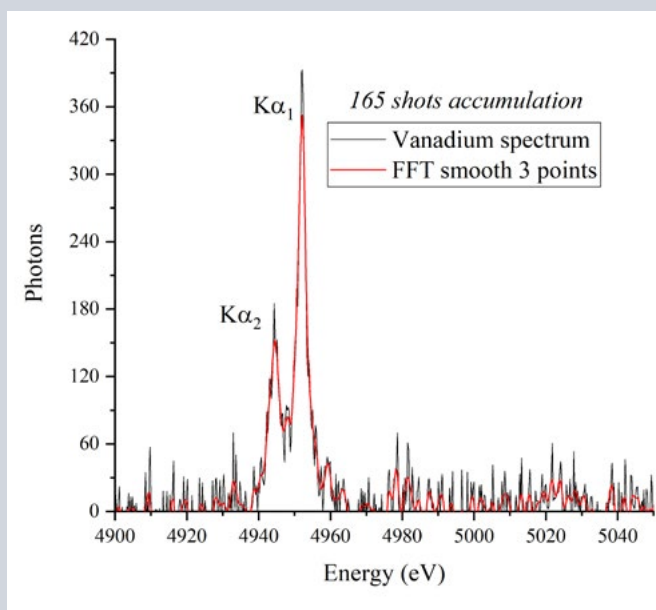
Toto první ověření funkce celého systému lze považovat za úspěšné.



Obr. 161 Uspořádání experimentálního systému pro krátké fokální délky (SFL) v komoře P3.



Obr. 162
Umístění terčů a diagnostiky na optickém stole v komoře P3.



Obr. 163 První změřené X-ray spektrum s použitím vanadiového terče.

2.6.6 Oddělení 91: Laserových systémů

Hlavním cílem tohoto oddělení je stavba a vylepšování parametrů laserových systémů pro uživatele ELI Beamlines a vývoj nových laserových technologií.

Podařilo se zvýšit výkon laserového řetězce L1 Allegra pro uživatelské aplikace, kde jsme prokázali >50 mJ <15 fs pulsy na výstupu, což činí tento systém jedním z nejpokročilejších ve své třídě, poskytující příležitost pro zcela unikátní experimenty s využitím pulsního výkonu několikanásobku 100 TW. V časovém rozpětí projektu byl postupně optimalizován a zvyšován výkon laserového systému s demonstrací požadovaných parametrů jako je délka výstupního pulsu, energie a časový kontrast. V rámci této činnosti byl úspěšně otestován prototyp vícepásmového čerpacího zesilovače, což otevřelo cestu pro další zvyšování energie systému L1. Velké úsilí bylo dále investováno do automatizace laserového systému a bezpečnostních prvků.

Realizace parametrického zesilujícího řetězce OPCPA (Optical Parametric Chirped Pulse Amplification) na dlouhých vlnových délkách umožnila vývoj laserového systému s centrální vlnovou délkou ve střední infračervené oblasti v oblasti $2,2 \mu\text{m}$. Podařilo se vyvinout CEP-stabilní laserový systém, který má na výstupu ultrakrátké pulsy <30 fs s přeladitelnou střední vlnovou délkou mezi $1,9$ a $2,3 \mu\text{m}$ a pasivně stabilizovanou optickou fází (Carrier Envelope Phase, CEP). Díky

zapojení dvou PhD studentů, kteří teoreticky a experimentálně zkoumali stabilitu nelineárních procesů, se podařilo několikanásobně zlepšit stabilitu systému na cca 2 % RMS. V roce 2020 byl pomocí tohoto laserového řetězce realizován první experiment, při kterém byly využity stabilní pulsy na vlnové délce $2,0 \mu\text{m}$ pro generaci širokospektrálního superkontinua s rozsahem spektra několika oktáv.

Významná byla i spolupráce s LLNL na vývoji pokročilých provozních režimů PW laserového systému L3 pro rozšíření provozních možností laserového řetězce L3, čehož bylo dosaženo. V rámci této aktivity byly zejména implementovány dodatečné optické a související komponenty pro generaci dodatečného svazku o průměru 80 mm pro experimentální stanici laserového urychlování iontů L2-TERESA a byly implementovány a otestovány rozšířené možnosti výstřelových sekvencí laseru L3 (režim dávky výstřelů, pokročilý režim pulsního justování atd.). Výsledkem aktivity je několik permanentně instalovaných subsystémů laseru L3, které poskytují vylepšené možnosti jeho provozu pro experimenty.

Hlavním výsledkem optimalizace výkonu L4 laseru a realizace sondovacího svazku je plně funkční komplexní systém diagnostiky výstupních laserových pulsů řetězce L4, který poskytuje kompletní soubor informací o časových a prostorových charakteristikách



Obr. 164 Čelo laserového systému L3-HAPLS (High repetition rate Advanced Petawatt Laser System).

výstupního pulsu respektive svazku L4. Součástí permanentně implementovaných systémů je diagnostický kompresor pro měření délky pulsů. Byly vyrobeny a otestovány přesné optomechanické manipulátory velkoplošných 10PW difrakčních mřížek a zprovozněna obří vakuová komora 10PW kompresoru. Jsou tak vytvořeny všechny podmínky pro plnou kompletaci 10PW kompresoru L4, která bude realizována ihned po dodání difrakčních mřížek v polovině roku 2021.

Byla vyvinuta a implementována femtosekundová synchronizace laserových řetězců L1, L2, L3 a L4. V rámci této aktivity bylo pomocí laserového systému L1 a přesného frekvenčního 100 MHz normálu ověřeno schéma synchronizace dvou oscilátorů (L1 a L2) s přesností cca 100 fs. Bylo rovněž navrženo a realizováno schéma synchronizace pulsů L3 a L4, s referenční pilotní frekvencí poskytovanou stabilizovaným oscilátorem L2. V současném stavu je možné synchronizovat lasery L3 a L4 s přesností lepší než 5 ps, což je zcela dostatečné pro plánované experimenty s kombinovaným využitím 30fs pulsů L3 a pulsů L4 v nanosekundovém režimu. Získané poznatky a testovaná schémata poskytují základ infrastruktury pro dosažení synchronizace repetičních laserů, s využitím finálních korelačních prvků na bázi optických vláken, s přesností cca 10 fs.

Skupina Bezpečnosti a ochrany

Významné výsledky skupiny Bezpečnosti

V roce 2020 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 uživatelským experimentům a koordinací dodavatelů v oblasti bezpečnosti. V roce 2020 byly zahájeny instalace systému kontinuálního monitoringu dávkových příkonů a koncentrací technických plynů, poskytujícího data v reálném čase. Navzdory omezením a problémům způsobeným pandemií se podařilo systém dokončit a zprovoznit pro všechna pracoviště, které v roce 2020 pro svou činnost využívaly ionizující záření nebo technické plyny.

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 je od roku 2019 členkou řídicího výboru Evropské dozimetrické společnosti EURADOS sdružující 80 výzkumných organizací v oboru dozimetrie.

Významné výsledky skupiny Radiační ochrany

V roce 2020 úspěšně pokračoval 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



Obr. 165 Obří vakuový kompresor výstupních laserových pulsů systému L4 pro generaci optického výkonu 10 PW.

pracoviště P3 a ELIMAIA) a získáno povolení k jejich provozu. Dále bylo získáno povolení pro provoz menších experimentálních uspořádání využívajících interakci laseru s terčem pro urychlování částic a povolení pro provoz experimentálního rentgenového zdroje v rámci projektu cultural heritage. Pro experimentální stanice P3 a LUIS byly aktualizovány mapy dávkových příkonů, provedeny doplňující simulace možné aktivační materiálu a radiačního poškození elektroniky a fyzikální design doplňkových stínících prvků. Skupina dále prováděla další simulace a výpočty pro efektivnější průběh experiment výzkumných skupin a teoretické zdůvodnění jimi získaných výsledků.

Významné výsledky skupiny BOZP

Práce na integrovaném bezpečnostním systému PSI (Personal Safety Interlock) byly klíčovým a velmi náročným úkolem tohoto týmu roce 2020. Tým úzce spo-

lupracoval 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.

2.6.7 Oddělení 93: Konstrukční a projekční podpory

Oddělení 93 zajišťuje spolu s dalšími podpůrnými týmy 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. I přes nepříznivé podmínky způsobené dopady pandemie v roce 2020 se podařilo splnit většinu zadaných úkolů.

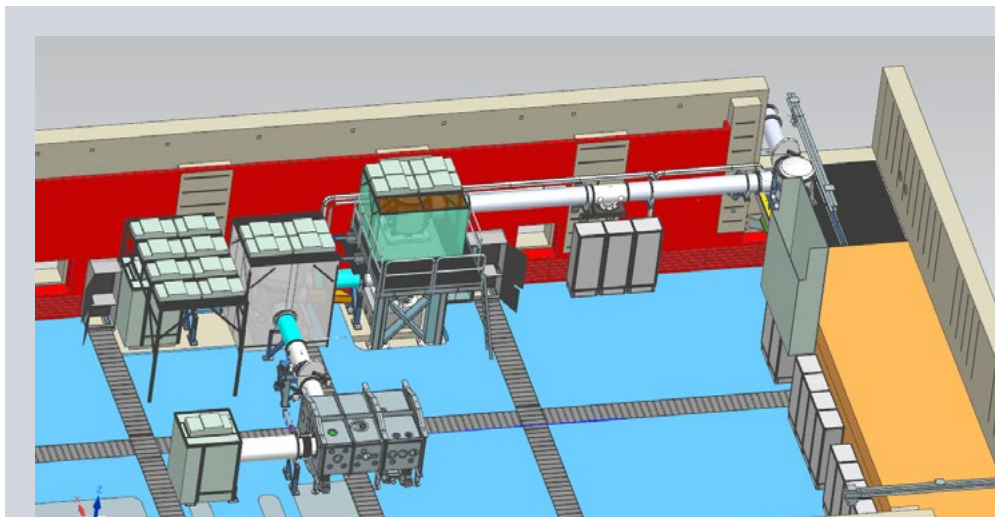
Významné výsledky skupiny Mechanika a optomechanika

Pro L3 Beam Transport (BT) se připravily podklady pro získání statického posudku v halách L4c a E4 a proběhla optimalizace kotvení podle tohoto posudku. Byl navržen design čistoprostorových stanů a ob-

služných plošin pro instalaci L3 BT v halách E5 a E2, byl dotažen koncept změny uspořádání L3 BT v hale E2 do instalační fáze a navrženy chybějící podpůrné konstrukce, obslužné plošiny a byly zajištěny potřebné statické posudky. Byl připraven design OAP paraboly pro L3 BT do E2.

Byly navrženy konstrukce z hliníkových profilů: bezpečnostní a funkční krytování (např. krytování DIRA3 beam transportu pro L1 nebo kryt oscilátoru a seedu), čistoprostorové stany (např. velký stan do haly S2 pro liquid target delivery system). Dále byly navrženy svařované konstrukce, např. stojan pro odložení dveří komory OPCPA během instalace v komoře.

Pro laser L1 byly navrženy pneumaticky ovládané přepínače filtrů, inspekční manipulátory zrcadel pro



Obr. 166 3D model haly E2 s L3 Beam Transportem.

komoru OPA nebo nové SHG držáky s chlazením pro krystal uvnitř komory L1 kompresoru.

Také probíhaly konstrukční práce na optomechanice a krytování svazku L4n v hale E3 mezi periskopovou věží a komorou P3 a práce na návrhu konceptu MOB komory a příprava tendru.

Celkem bylo zpracováno více než 120 požadavků (tzv. Job Requestů). Konstrukční práce byly doplněny více než 50 FEM výpočty a simulacemi navrhovaných konstrukcí jak pro posouzení jejich bezpečnosti, tak i pro optimalizaci z hlediska tuhosti, tvarové a vibrační stability.

Významné výsledky skupiny Vakuum a kryogenika

V laserové budově byl instalován centrální rozvod vakua pro L3 BT pro haly E3 a E4, 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 (viz obr. 168). Vakuová skupina se významně podílela také na samotné instalaci a testování L3 BT.

Dalším významným výsledkem pro projekt ELI Beamlines byla instalace vakuové komory optického kompresoru L4, na kterém se vakuová skupina významně podílela.

Pro experimentální programy byly zajišťovány vakuové instalační práce, včetně detekce netěsností. P3 komora byla osazena vakuovými komponenty, které umožní integraci do řídicího systému a s týmem řídicích systémů byla připravena čerpací a zavzdušňovací sekvence.

Dále vakuová skupina instalovala rozvody stlačeného vzduchu pro ovládání vakuových ventilů a zavzdušnění vakuových systémů pro haly E3 a E4.

Významné výsledky skupiny Elektro a EMP

V roce 2020 se realizovala další etapa elektroinstalačních prací pro optický kompresor laseru L4 v hale L4c a další etapa stavby laseru L2.

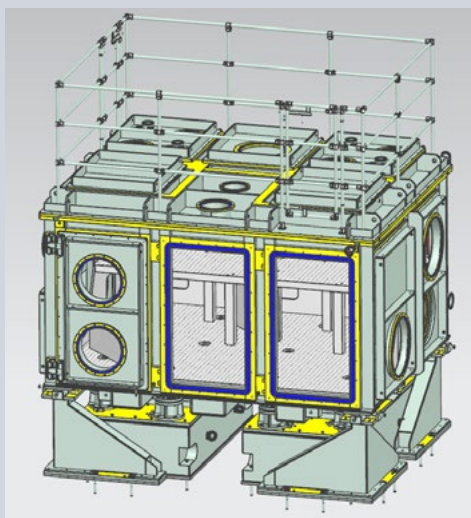
Pro první zkoušky experimentálních technologií v experimentálních halách E3 a E4 byla ve spolupráci s oddělením řídicích systémů vypracována projektová dokumentace pro dočasný interlockový systém a nainstalovány jeho komponenty.

Další spolupráce s oddělením řídicích systémů se týkala vypracování projektové dokumentace, výroby a instalace rozvaděčů pro Beam Transport v halách E3 a E4 včetně instalace a připojení silových napájecích kabelů a signálních kabelů. Byl zajištěn dohled a spolupráce při instalaci monitorovacího systému v halách E3 a E4.

Bylo připraveno zadání pro externí firmu na vypracování projektové dokumentace pro napájecí a optické rozvody, umístění racků a skříní řídicího systému, na návrh kovových kabelových tras v podlahových kanálech pro experimentální halu E2.

Byl zajištěn technický dozor v experimentální hale E5, kde provedla externí firma elektroinstalace napájecích a optických kabelů, instalace rozvodných skříní a rozvaděčů pro řídicí systém.

V průběhu celého roku 2020 byly zajišťovány servisní služby pro všechny laserové i experimentální týmy, týkající se například instalací napájecích kabelů pro HEPA filtry, výroby speciálních prodlužovacích kabelů, úpravy stávající elektroinstalace atd. Dále byly vyrobeny signální kabely, kabely pro ovládání motorů a speciální nízkonapěťové napájecí zdroje a zajištěny elektro revize již nainstalovaných elektrických zařízení v laserových a experimentálních prostorách a revize pro nově nakoupená popř. vyrobená elektrická zařízení.



Obr. 167 3D model MOB komory



Obr. 168 Primární vývěvy pro L3 BT a experimentální komory.



Významné výsledky skupiny Výroba a montáž (dílňy)

V roce 2020 došlo v dílnách ELI k nárůstu podílu výroby náročnějších dílů a sestav, zejména z důvodu jejich větší složitosti a velikosti. Při srovnatelné produktivitě se proto vyrobilo o něco menší množství technologicky složitějších dílů (celkem 6590 dílů). K tomuto účelu byla v tomto roce zprovozněna nová úhlová hlava pro frézování z boku u dílů, jejichž výška přesahuje 500 mm. Interně byl pro úhlovou hlavu vytvořen postprocesor.

Pro výrobu optomechanických dílů byla využívána CNC elektroerozivní drátová řezačka, která je vhodná pro velmi přesnou výrobu tvarově náročných prvků. Došlo k trojnásobnému nárůstu vytížení drátořezu, které si vyžádalo reorganizaci ve výrobě a zvýšení kvalifikace obsluhy strojů. Přes 30 % dílů, které se na ELI v roce 2020 vyrobily, vyžadovalo využití drátořezu.

I v roce 2020 pokračovala spolupráce s dílnami FZÚ na realizaci řady prototypů a finálních zařízení kromě těch, která se z technologických nebo kapacitních důvodů zadávala externě nebo výběrovým řízením.

Mezi nejvýznamnější zakázky v roce 2020 patřila výroba čtyř montáží zrcadel L3 (tzv. L-mountů) pro experimenty v hale E5, flexistolů pro Beam Transport L1, třiceti flexistolů s optomechanikou pro lasery L1 a L2, montáže dichroického zrcadla pro L4n Beam Transport v hale E3, periskopové věže L4n Beam Transportu v hale E3, přípravků pro instalaci montáží zrcadel systému CIS2, redukci pro instalaci 8" optiky do osmi L-mountů experimentu TERESA, mnoha čistoprostorových stanů do hal E2, E4 a E5, radiačního stínění do experimentální komory P3.

148



Obr. 169 Vlevo: Montáže zrcadel L3 (tzv. L-mounty), vpravo: Montáž dichroického zrcadla pro L4n Beam Transport.

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

V průběhu 2020 byla ze strany CITT prováděna průběžná identifikace vhodných výstupů vědecko-výzkumné činnosti vhodné pro ochranu práv duševního vlastnictví. Identifikace výstupů centra ELI Beamlines probíhala formou cílených aktivit CITT směrem k výzkumným týmům RP1–RP6, příp. dalším podpůrným oddělením ELI Beamlines (engineering, safety, radiation protection). Identifikace probíhala v rámci přímé komunikace a strukturovaných rozhovorů s výzkumnými pracovníky, realizací projektů transferu technologií a komercializace a jednotlivých spoluprací s průmyslovými společnostmi.

V oblasti průmyslově-právní ochrany zpracovalo CITT 11 národních patentových přihlášek a přihlášek užitečného vzoru a 3 přihlášky podle PCT. Dále byly zapasány 3 ochranné známky a popsáno několik funkč-

ních vzorků. Všechny tyto výstupy mají aplikační potenciál a jsou nabízeny k dalšímu využití formou transferu technologií.

V oblasti proof-of-concept aktivit realizovalo CITT projekty GAMA2 (TA ČR) a OP Praha – pól růstu ČR. V těchto projektových schématech pracovníci centra ELI Beamlines ve spolupráci s odbornými řešiteli ověřují využití v praxi technologií, zařízení a softwaru, které byly vytvořeny v ELI Beamlines. Jedná se o technologie neinvazivní detekce materiálů využívající laserem urychlené protony, klinického ověření využití proton-borové fúze k léčení nádorových onemocnění, implementace 1kHz detekčního systému pro transientní spektroskopii nebo vývoj dvoustupňového plynového terče pro urychlování elektronů laserem.

V oblasti smluvního výzkumu realizovalo centrum ELI Beamlines významné zakázky pro společnosti Rigaku a ITRI Taiwan, které byly zaměřeny na vypracování konceptu nových zdrojů rentgenového záření generovaného laserovými zdroji.

Konference a uživatelské workshopy

Organizace konferencí a workshopů v ELI Beamlines byla v roce 2020 zásadním způsobem ovlivněna pandemií covidu-19, která znemožnila pořádání většiny plánovaných osobních setkání. Přes tato drastická epidemiologická omezení se podařilo v průběhu 2020 uskutečnit několik významných on-line mezinárodních vědeckých akcí.

Nejvýznamnější publikované výsledky

Některé nejvýznamnější výsledky jsou uvedeny v předchozím textu v kontextu výsledků jednotlivých oddělení.

Další nejvýznamnější výsledky uvádíme zde:

- F. Tissandier *et al.*, Two-color soft X-ray lasing in a high-density nickel-like krypton plasma, *Phys Rev Lett.* **124**, 133902 (2020)], akt. 2d
- Patent: A device, use of the device and a method for high-contrast imaging, LU101150, akt. 2c

- Patentová přihláška: A robotic gantry for radiation therapy comprising tunable compact focusing system, LU102279, akt. 2e
- L. Giuffrida *et al.*, High-current stream of energetic alpha particles from laser-driven proton-boron fusion, *Phys. Rev. E* **101** 2020 013204.
- D. Margarone *et al.*, Generation of α -Particle Beams With a Multi-kJ, Peta-Watt Class Laser System, *Frontiers in Physics*, **8** (2020) 343.
- Patent: Device and Method for High Dose per Pulse Radiotherapy with Real Time Imaging US10603514 (2020).
- S. Espinoza *et al.*, Characterization of the high harmonics source for the VUV ellipsometer at ELI Beamlines, *Journal of Vacuum Science & Technology B* **38** (2020) 024005.
- S. Richter *et al.*, Ultrafast dynamics of hot charge carriers in an oxide semiconductor probed by femtosecond spectroscopic ellipsometry, *New Journal of Physics* **22** (2020) 083066.
- P. C. Andrikopoulos *et al.*, Femtosecond-to-nanosecond dynamics of flavin mononucleotide monitored by stimulated Raman spectroscopy and simulations, *Phys. Chem. Chem. Phys.* (2020) **22** 6538–6552.



Obr. 170 Účastníci „Uživatelského workshopu ELI o laserových zdrojích a aplikacích rentgenového záření“.

2.7 Projekty programů EU řešené na pracovišti v roce 2020

Evropské projekty Horizont 2020:

AIDA 2020 (J. Cvach)

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.

AQUA 3S (M. Pereira)

AQUA 3S je projekt podpořený z evropského programu Horizont 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.

ASPIN (T. Jungwirth)

Cílem projektu je rozvinout nový výzkumný směr založený na anti feromagnetických materiálech s budoucím potenciálním využitím v informačních technologiích. Projekt staví na nedávných výsledcích skupiny v oblasti anti feromagnetické 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.

ATLANTIC (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 pikosekund 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.

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.

HANSOME (M. Nikl)

Běžně dostupné detektory ionizujícího záření používající anorganické pevnolátkové scintilátory neumožňují další technologický pokrok v oblastech detekování vysokoenergetických částic a lékařského zobrazování (jako např. „time-of-flight“ pozitronová emisní tomografie), kde je požadován současně vysoký světelný výtěžek a schopnost rychlého časování. Tato omezení mohou být překonána s použitím scintilujících nanočástic vzhledem k možnosti účinně modifikovat jejich strukturální a luminiscenční vlastnosti. Tyto nanočástice mohou být zabudovány do polymerního nosiče, čímž se připraví objemový transparentní nanokompozitní materiál. Cílem tohoto projektu je vyvinout pokročilý nanokompozitní materiál s nanočásticemi oxidu hafnia s časovou odezvou v řádu nanosekund, s využitím vysoké zachytivé schopnosti ionizujícího záření samotným oxidem hafnia. Radioluminiscence nanočástic oxidu hafnia bude optimalizována uzpůsobenými defekty a specifickými dopanty.

Na povrch nanočástic bude navázáno vysoce efektivní fluorescenční barvivo, které bude aktivováno vlastní emisí nanočástic. Tyto nanoscintilátory budou pak zabudovány do polymerní matrice s cílem připravit vlastnostmi flexibilní a objemově škálovatelný nanokompozitní scintilátor s nízkou cenou, s důrazem na celkovou luminiscenční účinnost a rychlou odezvu.

Tento projekt umožní pokrok v experimentech ve fyzice vysokých energií, kde je potřeba minimalizovat fotonové ztráty při vysokých čítecích rychlostech a současně pomůže řešit potřeby lékařských zobrazovacích technik pro získání vysoce kvalitního zobrazení. Výsledky tohoto výzkumu umožní zásadní technologický pokrok v oblasti detekce ionizujícího záření a v celosvětovém kontextu posílí pozice evropské komunity zabývající se tímto výzkumem.

CHAMPAGNE (O. Hort)

Projekt se zabývá studiem zesilování koherentních impulsů záření ze spektrální oblasti za UV zářením (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.

IMPULSE (R. Hvězda)

Extreme Light Infrastructure (ELI) je nejpokročilejší laserová uživatelská infrastruktura na světě. Patří mezi evropské důležité nové mezinárodní výzkumné infrastruktury, mezník ESFRI. Více než 850 milionů EUR bylo investováno do tří center ve střední Evropě s využitím evropských fondů pro regionální rozvoj. Všechna tři ELI centra se sloučí v efektivně fungující integrovanou organizaci a zajistit udržitelnost této

investice. Postupně přejdou do provozu jako jednotné Evropské výzkumné konsorcium – ERIC. Projekt IMPULSE, financovaný významným příspěvkem z programu EU Horizon 2020, přinese zdroje a zkušenosti z předních evropských laserových zařízení k urychlení přechodu do provozní fáze a zvýší udržitelnost ELI. V rámci projektu budou identifikovány příležitosti pro technické synergie mezi přední evropskými laserovými laboratořemi.

Společný vývoj dobré praxe na podporu uživatelské zkušenosti v rámci projektu zmírní rizika spojená s provozováním nejmodernějších, vysoce výkonných a vysoce opakovacích laserových systémů. Budou vyvíjeny nové technologie, které zajistí odpovídající postavení ELI jako globální platformy pro vysoce výkonné laserové systémy a podporu inovací v této oblasti. Partneři společně zavedou standardy a postupy podporující špičkovou kvalitu a služby pro uživatele. IMPULSE podpoří široké využívání ELI a rozvoj uživatelských programů.

Laserlab-Europe (T. Mocek)

Evropský projekt H2020 K hlavním cílům projektu přibýlo posílání 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.

MAGNELIQ (V. Novotná)

V rámci pětičlenného konsorcia budeme vyvíjet novou magneto-elektrickou kapalinu (ME) pro citlivé senzory. Magneto-elektrický jev objevený v 60. letech minulého století ukázal možnost ovlivňovat elektrické vlastnosti magnetickým polem a magnetické vlastnosti polem elektrickým. Na rozdíl od pevných feroelektrik bude mít ME kapalina, založená na magnetických nanodiscích v prostředí organických molekul, nesporné výhody a umožní větší senzitivitu a excelentní rozlišení.

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 (Accessible), 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).



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.

7. rámcový program EU:**SC2** (J. Wunderlich)

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.

TheMoDS (C. Skordis)

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.

Další řešené projekty:**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.

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.



2.8 Spolupráce s vysokými školami v roce 2020

2.8.1 Spolupráce s VŠ na uskutečňování bakalářských, magisterských a doktorských studijních programů

Forma vědeckého vzdělávání

Celkový počet doktorandů	159
Počet doktorandů k 31. 12. 2020:	19
Počet absolventů v roce 2020:	19
Počet nově přijatých v roce 2020:	25

Z toho zahraniční doktorandi	
Počet doktorandů k 31. 12. 2020:	38
Počet absolventů v roce 2020:	1
Počet nově přijatých v roce 2020:	6

Forma výchovy studentů pregraduálního studia

Počet pregraduálních studentů podílejících se na vědecké činnosti ústavu: 58

Vědecké a vědecko-pedagogické hodnosti zaměstnanců pracoviště

Vědecká hodnost nebo titul DrSc./DSc./CSc., Ph.D., Dr.

Počet k 31. 12. 2020	24/6/522
z toho uděleno v roce 2020	0/0/10

Vědecko-pedagogická hodnost Profesor/docent

Počet k 31. 12. 2020	23/27
z toho uděleno v roce 2020	0/0

153

2.8.2 Pedagogická činnost pracovníků ústavu

Zaměstnanci FZÚ přednášejí na vysokých školách 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 2019/2020:	1197/974/89
Zimní semestr 2020/2021:	1425/1144/248

Počet semestrálních cyklů (přednášek/seminářů/cvičení v bakalářských programech)

Letní semestr 2019/2020:	83/13/35
Zimní semestr 2020/2021:	80/12/36

Počet semestrálních cyklů (přednášek/seminářů/cvičení v magisterských programech)

Letní semestr 2019/2020:	73/16/35
Zimní semestr 2020/2021:	77/19/16

Počet pracovníků ústavu působících na VŠ (v programech bakalářských/magisterských/doktorských)

Letní semestr 2019/2020:	46/49/20
Zimní semestr 2020/2021:	47/52/22

2.8.3 Spolupráce pracoviště s VŠ ve výzkumu

Počet projektů řešených v r. 2020 společně s VŠ (grantové/programové)

Pracoviště AV příjemcem 78/51

Pracoviště AV spolupříjemcem 19/28

2.8.4 Doktorandi a diplomanti, kteří vypracovali doktorskou či diplomovou práci ve Fyzikálním ústavu a obhájili ji v roce 2020

Doktorandi

České vysoké učení technické v Praze:

Ing. Josef Babor

FAKULTA: Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská
NÁZEV PRÁCE: Gamaspektrometrické měření vysokých aktivit ozářených těles, ověření aktivačních modelů
ŠKOLITEL (INSTITUTE): doc. Ing. Petr Průša Ph.D. (ČVUT)
ŠKOLITEL SPECIALISTA (INSTITUTE): Ing. Miloš Kytka (ÚJV Řež a.s.)

Ing. Miroslav David

FAKULTA: Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská
NÁZEV PRÁCE: Využití nových oxidických anorganických scintilátorů k detekci neutronů ve směsných polích neutron/gama
ŠKOLITEL (INSTITUTE): doc. Ing. Petr Průša Ph.D. (ČVUT)

Ing. Kateřina Děcká

FAKULTA: Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská
NÁZEV PRÁCE: Příprava scintilačních metamateriálů s využitím nanočástic cesno-olovnatých halogenidů
ŠKOLITEL (INSTITUTE): doc. Ing. Václav Čuba, Ph.D. (ČVUT)
ŠKOLITEL SPECIALISTA (INSTITUTE): doc. RNDr. Eva Miháková, CSc. (FZÚ)

Ing. Denis Dudáš

FAKULTA: Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská
NÁZEV PRÁCE: Stanovení některých vlastností pixelového detektoru s vyčítacím čipem PHpix a zhodnocení možností jeho využití pro vybrané oblasti
ŠKOLITEL (INSTITUTE): doc. Ing. Petr Průša Ph.D. (ČVUT)

Ing. Miroslav Hýža

FAKULTA: Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská
NÁZEV PRÁCE: Pokročilé metody monitorování radioaktivity ovzduší
ŠKOLITEL (INSTITUTE): doc. Ing. Petr Průša Ph.D. (ČVUT)
ŠKOLITEL SPECIALISTA (INSTITUTE): RNDr. Petr Rulík (Státní ústav radiační ochrany)

Ing. Michal Kočí

FAKULTA: Fakulta elektrotechnická
NÁZEV PRÁCE: Inteligentní mikrosenzory a mikroaktuátory (chemické, biochemické, fyzikální)
ŠKOLITEL (INSTITUTE): prof. Ing. Miroslav Husák, CSc. (ČVUT)
ŠKOLITEL SPECIALISTA (INSTITUTE): doc. Ing. Alexander Kromka, DrSc. (FZÚ)

Ing. Juraj Páterek

FAKULTA: Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská
NÁZEV PRÁCE: Studium luminiscenčního a scintilačního mechanismu materiálů na základě hliníkových granátů
ŠKOLITEL (INSTITUTE): doc. Ing. Martin Nikl, CSc. (FZÚ)
ŠKOLITEL SPECIALISTA (INSTITUTE): doc. Ing. Petr Průša, Ph.D.

Ing. Václav Procházka

FAKULTA: Fakulta elektrotechnická
NÁZEV PRÁCE: Vrstvy nanokrystalického diamantu pro senzorové aplikace
ŠKOLITEL (INSTITUTE): Ing. Pavel Kuha, Ph.D. (ČVUT)
ŠKOLITEL SPECIALISTA (INSTITUTE): doc. Ing. Alexander Kromka, DrSc. (FZÚ)

Univerzita Karlova:

Mgr. Jakub Budil

FAKULTA: Přírodovědecká fakulta
NÁZEV PRÁCE: Interakce nanočástic a antibakteriálních látek s bakteriálním biofilmem: biofyzikální přístupy
ŠKOLITEL (INSTITUTE): Mgr. Petra Lišková, Ph.D. (Univerzita Karlova)
ŠKOLITEL SPECIALISTA (INSTITUTE): doc. Ing. Alexander Kromka, DrSc. (FZÚ)

Mgr. Ing. Jakub Juryšek

FAKULTA: Matematicko-fyzikální fakulta
NÁZEV PRÁCE: The observations of gamma ray sources and calibration of the Cherenkov Telescope Array Observatory
ŠKOLITEL (INSTITUTE): RNDr. Michael Prouza, Ph.D. (FZÚ)

Jesús R. Lopez Redondo

FAKULTA: Matematicko-fyzikální fakulta

NÁZEV PRÁCE: Formation, Functionalization and Characterization of 2D Materials on Crystalline Supports

ŠKOLITEL (INSTITUTE): Mgr. Martin Švec, Ph.D. (FZÚ)

ŠKOLITEL SPECIALISTA (INSTITUTE): doc. Ing. Pavel Jelínek, Ph.D. (FZÚ)

RNDr. Martin Pokorný

FAKULTA: Matematicko-fyzikální fakulta

NÁZEV PRÁCE: Rychlé scintilační materiály na bázi uzpůsobených monokrystalů perovskitů a granátů

ŠKOLITEL (INSTITUTE): doc. Ing. Martin Nikl, CSc. (FZÚ)

ŠKOLITEL SPECIALISTA (INSTITUTE): prof. RNDr. Petr Malý, DrSc. (Univerzita Karlova)

Libor Šmejkal, Ph.D.

FAKULTA: Matematicko-fyzikální fakulta

NÁZEV PRÁCE: Topological band theory of relativistic spintronics in antiferromagnets

ŠKOLITEL (INSTITUTE): prof. Tomáš Jungwirth, Ph.D. (FZÚ)

ŠKOLITEL SPECIALISTA (INSTITUTE): prof. Jairo Sinova, Dr. (FZÚ, University of Mainz)

Jakub Vošmera, MMath

FAKULTA: Matematicko-fyzikální fakulta

NÁZEV PRÁCE: Selected topics in string field theory and physics of D-branes

ŠKOLITEL (INSTITUTE): Mgr. Martin Schnabl, Ph.D. (FZÚ)

Mgr. Vojtěch Vozda, Ph.D.

FAKULTA: Matematicko-fyzikální fakulta

NÁZEV PRÁCE: Interakce krátkovlnných laserových impulsů s hmotou v různých časových škálách

ŠKOLITEL (INSTITUTE): RNDr. Jan Kunc, Ph.D. (Univerzita Karlova)

ŠKOLITEL SPECIALISTA (INSTITUTE): Mgr. Jaromír Chalupský, Ph.D. (FZÚ)

Mgr. Michal Vraštil

FAKULTA: Matematicko-fyzikální fakulta

NÁZEV PRÁCE: Study of dark energy and modified gravity and their influence on the cosmological parameters of the universe.

ŠKOLITEL (INSTITUTE): RNDr. Michael Prouza, Ph.D. (FZÚ)

Univerzita Palackého v Olomouci:**RNDr. Jan Šupík**

FAKULTA: Přírodovědecká fakulta

NÁZEV PRÁCE: Integrovaná koule jako zdroj uniformního záření

ŠKOLITEL (INSTITUTE): prof. RNDr. Miroslav Hrabovský, DrSc. (FZÚ)

ŠKOLITEL SPECIALISTA (INSTITUTE): Mgr. Miroslav Pech, Ph.D. (FZÚ)

Technická univerzita v Liberci:**Ing. Tomáš Hubáček**

FAKULTA: Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií

NÁZEV DOKTORSKÉ PRÁCE: Růst InGaN/GaN scintilačních heterostruktur

ŠKOLITEL: prof. Ing. E. Hulicius, CSc (FZÚ)

ŠKOLITELÉ SPECIALISTÉ: 1) Ing. Alice Hospodková, Ph.D. (FZÚ)

2) RNDr. Jan Touš, Ph.D. (Crytur, spol. s r. o.)

3) prof. Ing. Pavel Mokřý (TU Liberec)

Vysoká škola chemicko-technologická v Praze**Ing. Eva Marešová**

FAKULTA: Fakulta chemicko-inženýrská

NÁZEV PRÁCE: Měření elektrofyzikálních parametrů vrstev organických polovodičů určených pro senzoriku

ŠKOLITEL (INSTITUTE): prof. Dr. Ing. Martin Vrnata, Ústav fyziky a měřicí techniky VŠCHT

ŠKOLITEL SPECIALISTA (INSTITUTE): Dr. Ing. Jiří Bulíř (FZÚ)

Diplomanti**České vysoké učení technické v Praze:****Bc. Lucie Barborková**

FAKULTA: Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská

NÁZEV PRÁCE: Modifikace nanodiamantů laserem

ŠKOLITEL (INSTITUTE): Ing. Kateřina Aubrechtová Dragounová, Ph.D. (ČVUT)

ŠKOLITEL SPECIALISTA (INSTITUTE): Ing. Štěpán Potocký, Ph.D. (FZÚ)

Ing. Martin Cimrman

FAKULTA: Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská

NÁZEV PRÁCE: Testování a optimalizace tenkodiskových modulů a budicího zdroje pro Yb:YAG laser

ŠKOLITEL (INSTITUTE): Ing. Martin Smrž, Ph.D. (FZÚ)

Ing. Kateřina Juráňová

FAKULTA: Fakulta strojní

NÁZEV PRÁCE: Návrh technického řešení a konstrukce opto-mechanického zařízení AbloCAM

ŠKOLITEL (INSTITUTE): doc. Ing. Jan Hošek, Ph.D. (ČVUT)

ŠKOLITEL SPECIALISTA (INSTITUTE): Mgr. Jaromír Chalupský, Ph.D. (FZÚ)

Ing. Miroslav Lebeda

FAKULTA: Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská

NÁZEV PRÁCE: Simulace iontové implantace

ŠKOLITEL (INSTITUTE): Ing. Jan Drahoukoupil, Ph.D. (ČVUT, FZÚ)

ŠKOLITEL SPECIALISTA (INSTITUTE): Ing. Petr Vlčák, Ph.D. (ČVUT)

Jan Král

FAKULTA: Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská



NÁZEV PRÁCE: Syntéza scintilačních nanočástic za zvýšené teploty
ŠKOLITEL (INSTITUTE): Ing. Kateřina Děcká (ČVUT, FZÚ)
KONZULTANT (INSTITUTE): doc. Ing. Václav Čuba, Ph.D. (ČVUT)

Ing. Martin Mydlář

FAKULTA: Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská
NÁZEV PRÁCE: Laserová ablace vícesložkových ochranných tenkých vrstev
ŠKOLITEL (INSTITUTE): Ing. Jan Vanda, Ph.D. (FZÚ)

Bc. Lenka Šterberová

FAKULTA: Fakulta elektrotechnická
NÁZEV PRÁCE: Zhodnocení vlivu účinnosti fotovoltaického modulu na ekonomickou návratnost systému rodinného domu
ŠKOLITEL (INSTITUTE): Jakub Holovský (ČVUT, FZÚ)

Ing. Denisa Štěpánková

FAKULTA: Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská
NÁZEV PRÁCE: Optimalizace časových parametrů a tvarování pulsů vysokovýkonného pikosekundového laserového systému
ŠKOLITEL (INSTITUTE): Ing. Martin Smrž, Ph.D. (FZÚ)

Univerzita Karlova:

Ing. Kristýna Onderková

FAKULTA: Matematicko-fyzikální fakulta
NÁZEV PRÁCE: Martensitické mikrostruktury v tenkých vrstvách a objemových monokrystalech Heuslerových slitin Ni-Mn-Ga
ŠKOLITEL (INSTITUTE): Oleg Heczko, Dr. (FZÚ)

Univerzita Palackého v Olomouci

Mgr. Michal Krejčárek

FAKULTA: Přírodovědecká fakulta
NÁZEV PRÁCE: Degradace 3D tištěných polymerních materiálů
ŠKOLITEL: Mgr. Jan Tomáščík, Ph.D. (FZÚ)

Mgr. Radim Kudělka

FAKULTA: Přírodovědecká fakulta
NÁZEV DIPLOMOVÁ PRÁCE: Měření elastických vlastností materiálů pomocí povrchových akustických vln
ŠKOLITEL: Mgr. Radim Čtvrtlík, Ph.D. (FZÚ)

Mgr. Sabina Malecová

FAKULTA: Přírodovědecká fakulta
NÁZEV PRÁCE: Charakterizace optických tenkých vrstev pomocí optické emisní spektroskopie
ŠKOLITEL: Mgr. Radim Čtvrtlík, Ph.D. (FZÚ)

Mgr. Erik Mikeska

FAKULTA: Přírodovědecká fakulta
NÁZEV PRÁCE: Tandemový interferometr s aktivními optickými prvky
ŠKOLITEL: RNDr. Pavel Pavlíček, Ph.D. (FZÚ)

2.8.5 Společná pracoviště ústavu s účastí VŠ

Společná laboratoř nízkých teplot

Je pracovištěm Ústavu anorganické chemie AV ČR, FZÚ, Matematicko-fyzikální fakulty 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.

Společná laboratoř pro magnetická studia

Společná laboratoř pro magnetická studia FZÚ a Matematicko-fyzikální fakulty Univerzity Karlovy nabízí možnost studia pevných látek v kombinovaných extrémních podmínkách – v teplotním oboru 30 mK–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 Matematicko-fyzikální fakulty Univerzity Karlovy v rámci předchozího Centra nanotechnologií a materiálů pro nanoelektroniku MŠMT. Výzkum je zaměřen na studium magnetooptických vlastností materiálů pro spintroniku a na studium spintronických nanosoučástek s optickou generací a detekcí spinově polarizovaných nosičů. Společná laboratoř je podporována z Advanced Grant of European Research Council OMSPIN.

Centrum studia kovových materiálů s mikro- a nanokrystalickou strukturou

Společné pracoviště FZÚ, Matematicko-fyzikální fakulty Univerzity Karlovy a VŠCHT. 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 a Fakulty strojní 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 senzoriky, biotechnologií (antibakteriálnost), s vysokým aplikačním potenciálem ve stavitelství a architektuře.



2.8.6 Akreditované programy

VŠ	Název fakulty	Studijní obor	Platnost akreditace
UK	Matematicko-fyzikální fakulta	Biofyzika, chemická a makromolekulární fyzika	28. 11. 2023
UK	Matematicko-fyzikální fakulta	Fyzika kondenzovaných látek a materiálový výzkum	28. 11. 2023
UK	Matematicko-fyzikální fakulta	Fyzika plazmatu a ionizovaných prostředí	28. 11. 2028
UK	Matematicko-fyzikální fakulta	Fyzika povrchů a rozhraní	28. 11. 2028
UK	Matematicko-fyzikální fakulta	Kvantová optika a optoelektronika	28. 11. 2028
UK	Matematicko-fyzikální fakulta	Subjaderná fyzika	31. 12. 2024
UK	Matematicko-fyzikální fakulta	Teoretická fyzika, astronomie a astrofyzika	28. 11. 2028
UK	Matematicko-fyzikální fakulta	Fyzika nanostruktur a nanomateriálů	28. 11. 2028
UK	Matematicko-fyzikální fakulta	Fyzika (A)	31. 12. 2024
UK	Matematicko-fyzikální fakulta	Částicová a jaderná fyzika (A)	28. 11. 2028
ČVUT v Praze	Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská	Fyzikální inženýrství	31. 07. 2023
VŠCHT v Praze	Fakulta chemicko-inženýrská	Molekulární chemická fyzika a sensorika (A)	21. 11. 2029

2.8.7 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.

	v roce 2019/ 2020	v roce 2020/ 2021
Počet odpřednášených hodin	219	214
Počet vedených prací (např. SOČ):	4	3
Počet (spolu)organizovaných soutěží:	3	2



2.9 Popularizace, konference, hosté, dohody

2.9.1 Popularizační aktivity FZÚ v roce 2020

Stejně jako mnohé jiné činnosti byly i aktivity pro veřejnost v roce 2020 citelně zasaženy pandemií covid-19. Většinu akcí FZÚ uspořádal v online formátu a některé zrušené, např. Veletrh vědy, byly nahrazeny jinými aktivitami – např. prakticky okamžitě po uzavření škol v březnu 2020 byl pro žáky a učitele vzdělávací připraven soubor online aktivit a informací (dostupný na <https://www.fzu.cz/popularizace/pro-skoly/pro-skoly-studenty>).

Nový web FZÚ

K 1. 6. 2020 FZÚ spustil novou verzi webových stránek www.fzu.cz, která zásadním způsobem proměnil dosavadní on-line prezentaci. Nové webové stránky přehledně sdružují prezentaci mezinárodních vědeckých týmů, aplikační sféry a rozsáhlé popularizační činnosti Fyzikálního ústavu. Kromě nového designu přináší také řadu vylepšení a funkcí, které především umožní vědeckým pracovníkům lépe a poutavěji prezentovat svůj výzkum a výsledky vůči veřejnosti a mezinárodní vědecké komunitě. Budeme rádi, pokud se s námi podělíte o vaše poznatky z brouzdání po našich stránkách na adrese web@fzu.cz.

Vzdělávací web CzechLasers.cz

Novými úpravami a vylepšováním prošel také web CzechLasers.cz se zaměřením na laserovou tematiku a vzdělávání o světle. Výhodou webu je, že si návštěvník může vybrat obsah přesně podle své úrovně – od menších dětí přes středoškolačky až po studenty jaderné fyziky a spřízněných oborů. Střední kategorie webu je vhodná pro běžného návštěvníka, který by si rád v této oblasti rozšířil své obzory a zjistil, co je v oblasti laserové techniky nového.

Zažít město jinak (19. 9.)

Pracoviště FZÚ v Cukrovarnické ulici se podruhé připojilo k festivalu Zažít město jinak, který každoročně organizuje spolek Auto*Mat. Cílem akce je umožnit setkávání obyvatel Prahy a oživit veřejný prostor. Kromě vědeckých popularizačních prezentací si účastníci mohli vyzkoušet ušít sáček, zahrát ping-pong nebo sledovat večerní lasershow. Návštěvníkům byl částečně zpřístupněn areál FZÚ, mohli si na vlastní kůži vyzkoušet pokusy s newtonovskou kapalinou a díky nové spolupráci s Ústavem anorganické chemie AV ČR také s raketovým palivem. Díky zdařilému podvečernímu koncertu a následné lasershow se nezmenšil počet diváků ani přes citelné večerní ochlazení. Pohybující se obrazce na fasádě budovy Fyzikálního ústavu vyzdihly její architektonickou krásu a propojení laserové fyziky s výzkumem fyziky pevných látek pracoviště v Cukrovarnické.

Týden vědy a techniky (2.–8. 11.)

V rámci Týdne vědy a techniky proběhl zcela online „Fyzici v boji proti covid-19“, kde T. Jetmar prezentoval řadu inovací pro boj s covid-19, které vyvinul FZÚ ve spolupráci s průmyslovými partnery. V přednášce byl ukázán vývoj, výroba a testování ochranných pomůcek a biočipů, nový postup dezinfekce filtrů a přípravu antivirových povlaků. Na přednášce „60 let laseru“ představil B. Rus nejen historické a vědecké okolnosti zrodu laseru, ale zejména postupný vývoj laserových technologií u nás i v zahraničí a současné nejvýkonnější lasery světa, které vědcům otevírají zcela nové oblasti fyziky, a umožní tak posouvat hranice lidského poznání.

Speciálním formátem byla venkovní samoobslužná bojovka, při které účastníci procvičili své mozkové

závity a dozvěděli se mnoho zajímavého nejen o laserech.

Noc vědců (27. 11.)

Noc vědců je celoevropskou akcí, která představuje vědecká pracoviště široké veřejnosti v nevšední atmosféře nočních a večerních hodin. Kvůli pandemické situaci byla přesunuta z tradičního zářijového termínu na konec listopadu a naprostá většina programu se konala online. Noc vědců je v ČR známá a zaběhlá akce, jednalo se již o šestnáctý ročník, tentokrát s tématem „Člověk a robot“. Fyzikální ústav se akce zúčastnil již poctvrté, jako jeden z mála ústavů Akademie věd.

Kolem třiceti zájemců se přímo zapojilo do programu Zeptej se fyzika, ve kterém se dva nadšení vědci – Martin Přeček a Martin Ledinský, připojili z pracoviště ve Střešovicích a odpovídali na různorodé dotazy publika.

Zaujala také videopohádka, připravená kolegy z laserového centra HiLASE. A nebyla jenom o laserech! Odborný pracovník Martin Duda svými pokusy dětem (i těm plnoletým) poutavě vysvětlil zákulisí mnoha „nadpřirozených“ schopností účinkujících Dlouhého, Širokého a Bystrozrakého.

Premiéru měla vzdělávací online hra laserLABYrinth. Díky hře poznají účastníci některé nezbytné součástky laserové laboratoře a jejich specifickou roli. Ocitnou se ve virtuální laserové hale a rázem se promění ve vědce, jehož úkolem bude sestavit a otestovat několik laserových experimentů. Nezbytná je logika a rychlost řešení.

Celkem v rámci Noci vědců FZÚ prezentoval téměř dvacet různých programů – přednášek, kvízů, online videí a her. Celková účast v období 27. 11.–12. 12. byla 3000 diváků a návštěvníků.

Učitelé & Vědci

Také v letošním roce jsme pokračovali v organizování série seminářů Učitelé & Vědci, určených pro pedagogickou veřejnost. Semináře probíhají v menších skupinách pro 5–15 účastníků, kteří mohou v neformální atmosféře diskutovat s erudovanými odborníky z oblasti fyziky. Proběhlých 5 setkání uváděli pracovníci FZÚ, případně MFF UK, či Ústavu fyziky plazmatu AV ČR.

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 čtvrtým rokem proto byla spuštěna Talentová Akademie pro nadané středoškoláky se zájmem o vědu a zápallem 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

může zúčastnit finále přímo v laboratořích laserových center, kde si vyzkouší reálnou práci vědců. Studenti musí intenzivní formou získat nové informace a ihned je převádět do praxe, výsledky komplexního projektu pak týmově obhajují před komisí. Z důvodu hygienických opatření bylo finále Talentové Akademie odloženo na rok 2021.

60 let laseru

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. K 60. výročí v roce 2020 byly v průběhu roku uspořádány různé aktivity se zaměřením na laserové technologie a jejich využití ve výzkumu a každodenních aplikacích.

Stáže pro studenty a další akce

Na FZÚ probíhají stáže projektu Otevřená věda, kterých se v roce 2020 zúčastnilo celkem 15 středoškolských studentů. Čtyři úspěšní absolventi předchozích ročníků Talentové akademie také absolvovali letní stáž v laserových centrech ELI Beamlines a HiLASE.

Ve dnech 2. a 3. 7. proběhlo na FZÚ finální soustředění a prezentace účastníků Turnaje mladých fyziků. Soutěž je unikátní tím, že při ní studenti svoje řešení prezentují a v diskusi rozebírají řešení soupeřů; hodnocení je nejen úroveň řešení, ale i kvalita prezentace a diskuse.

Exkurze studentů středních a vysokých škol probíhaly ve FZÚ v omezeném počtu v závislosti na pandemické situaci s celkovým počtem návštěvníků do 500.

Rozhovory pro rozhlasové a televizní vysílání

Pracovníci FZÚ poskytli několik desítek rozhovorů a zúčastnili se vystoupení v pořadech veřejnoprávních i komerčních rozhlasových a televizních stanic a online médiích. Přehledné informace v infografice: obr. 171 a 172.

Československý časopis pro fyziku

Fyzikální ústav zajišťuje práci redakce (vedoucí, výkonný a technický redaktori a sekretariát redakce fungují v rámci FZÚ), časté jsou též příspěvky autorů z FZÚ 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). Od roku 2020 poskytujeme elektronické předplatné časopisu po registraci zcela zdarma.

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).

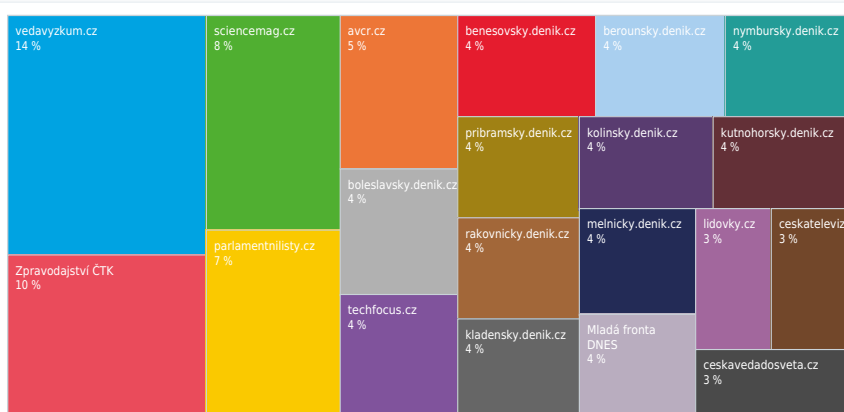
Návštěvnícké centrum FZÚ

V jarních měsících roku 2020 proběhlo vylepšení vstupních a přednáškových prostor v budově FZÚ na Slovance, které slouží jako návštěvnícké centrum FZÚ. Moderní vzhled prostor podporuje prezentaci FZÚ jako špičkové výzkumné instituce a odráží kvalitu výzkumu ve FZÚ. Nové audiovizuální vybavení umožňuje informování návštěvníků o činnosti a aktivitách FZÚ, představení jednotlivých oblastí výzkumu laickou a vizuálně poutavou formou a zejména pořádání online přenášných a nahrávaných akcí. Součástí architektonicko-grafického pojetí prostor jsou vizuální

materiály pocházející přímo z FZÚ, např. snímek tepelně indukovaných martenzitických domén na povrchu slitiny s tvarovou pamětí CuAlNi, či počítačová simulace nanočástice BaTiO₃: topologicky netriviální klubko toku polarizace. Součástí návštěvníckého centra jsou také putovní fyzikální exponáty, např. mlžná komora. Úpravy prostor byly finančně podpořeny projektem OP VVV HR Award (Zkvalitnění strategického řízení Fyzikálního ústavu AV ČR).

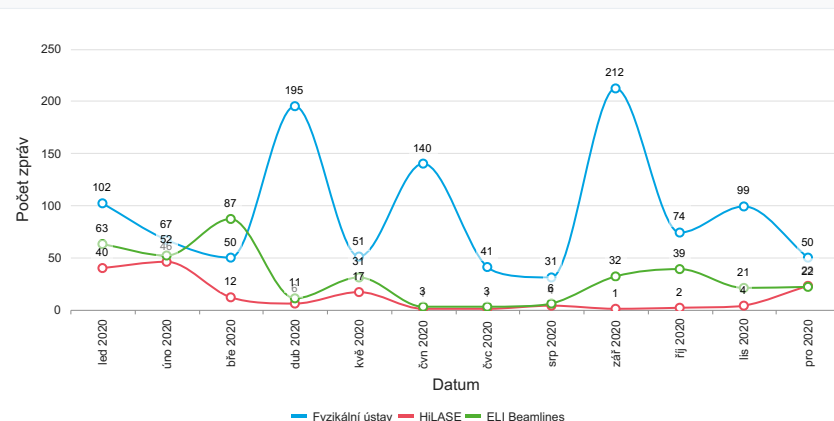
Popularizační aktivity FZÚ jsou podpořeny zejména projekty OP VVV Zkvalitnění strategického řízení Fyzikálního ústavu AV ČR, Strategická tvorba intenzivního rozvoje kapacit Fyzikálního ústavu AV ČR a Světlo ve službách společnosti Strategie AV 21.

TOP Zdroje



Obr. 171 TOP 20 zdrojů znázorňuje rozložení 414 zpráv z celkového počtu 1411.

Vývoj témat v čase



Od 1.1.2020 do 31.12.2020 jsme zaznamenali 1 411 zpráv, průměrně je to 3 zprávy za den. Nejvíce zpráv (119) bylo 7.1.2020. Oproti předcházejícímu období 30.12.2018 až 31.12.2019 to znamená nárůst o 1 211 zpráv.

Obr. 172 V roce 2020 jsme v médiích zaznamenali průměrně tři zprávy za den. Obr. 171 a 172 zdroj: NEWTON Media

2.9.2 Akce s mezinárodní účastí, které pracoviště organizovalo nebo v nich vystupovalo jako spolupořadatel

Analysis of fluorescence data from the FAST telescopes (3. 11. 2020)

SLO a FZÚ, Univerzita Kjóto

Počet účastníků: 11 z toho zahraničních: 2

Copernicus Webinar Series (9. 7.–14. 12. 2020)

Pořadatel: Harvard University, Hong Kong University of Science and Technology, Institut d'Astrophysique de Paris, FZÚ

Počet účastníků: 60 z toho zahraničních: 60

Czech-Bavarian mini-school on large scale facilities and open data (21. 10. 2020)

Pořadatel: ELI Beamlines, Univerzita Karlova a Technická univerzita v Mnichově

Počet účastníků: 42 z toho zahraničních: 42

ELI Beamlines User Conference 2020

(12. 10.–14. 10. 2020)

Pořadatel: ELI Beamlines

Počet účastníků: 400 z toho zahraničních: 300

FAST Analysis Workshop (20. 7.–22. 7. 2020)

Pořadatel: SLO a FZÚ

Počet účastníků: 16 z toho zahraničních: 7

International Conference on High Energy Physics 2020 (ICHEP2020, 28. 7.–6. 8. 2020)

Pořadatel: Univerzita Karlova, FZÚ, České vysoké učení technické v Praze

Počet účastníků: 3000 z toho zahraničních: 2800

Joint European Magnetic Symposia (JEMS 2020, 7. 12.–11. 12. 2020)

Pořadatel: Evropská asociace magnetismu (The European Magnetism Association), president of the International Board of the conference prof. Tomáš Jungwirth, FZÚ

Počet účastníků: 600 z toho zahraničních: 600

Christmas get together – Workshop on electron crystallography (17. 12. 2020)

Pořadatel: Universität Ulm, Italský technologický institut v Pise, Institut Néel – CNRS, FZÚ

Počet účastníků: 500 z toho zahraničních: 250

Porada skupiny pro novou elektroniku Observatoře Pierra Augera (5. 3.–6. 3. 2020)

Pořadatel: Ústav informatiky AV ČR

Počet účastníků: 22 z toho zahraničních: 17

Trends and challenges in laser processing – aerospace (21. 1.–22. 1. 2020)

Pořadatel: HiLASE

Počet účastníků: 30 z toho zahraničních: 15

4. BIATRI workshop (9. 12.–10. 12. 2020)

Pořadatel: HiLASE

Počet účastníků: 31 z toho zahraničních: 22

5th Grandmaster Early-Career Workshop in Physics (7. 9.–11. 9. 2020)

Pořadatel: FZÚ

Počet účastníků: 65 z toho zahraničních: 40

The 39th Ad Hoc Workshop on program Jana: Basics of Jana2020 (7. 12.–8. 12., 14. 12.–15. 12. 2020)

Pořadatel: FZÚ

Počet účastníků: 52 z toho zahraničních: 46

2.9.3 Nejvýznamnější zahraniční vědci a návštěvy přijaté na FZÚ

- J.E. p. **Markus-Alexander Antonietti**, velvyslanec Švýcarské konfederace
- **prof. Ralf Engel**, KIT Karlsruhe, mluvčí Observatoře Pierra Augera, špičkový odborník na kosmické záření
- **Sebastian Gemkow**, Saský státním ministrem pro vědu, vysoké školství a výzkum
- **prof. Anne Green**, University of Nottingham, Británie, světová expertka v oblasti fenomenologie temné hmoty a její možné detekce. Vzhledem k omezením v souvislosti s pandemií covid-19 pouze na on-line semináři.
- **Dr. Jakub Dostálek**, AIT – Austrian Institute of Technology GmbH, Rakousko, špičkový odborník plasmonických biosenzorů a materiálů a navazujících zajímavých aplikací
- **Monika Hohlmeier**, předsedkyně Výboru pro rozpočtovou kontrolu Evropského parlamentu



- **prof. Elias Kiritsis**, APC, Paris, University of Crete, světový expert v oblasti teorie strun a AdS/CFT korespondence
- **prof. Eiichiro Komatsu**, Max-Planck-Institut für Astrophysik (bývalý ředitel), Německo. Světový expert o oblasti kosmologie, teorie inflace, temné hmoty a energie, kosmického mikrovlnného záření, struktur na velkých škálách a klastrů galaxií. Vzhledem k omezením v souvislosti s pandemií covid-19 pouze na online semináři.
- **prof. Vadym Mochalin**, University of Science, Technology Rolla, USA, jeden z předních odborníků ve výzkumu 2D carbidů přechodových kovů tzv MXenů. Během jeho pobytu na pracovišti SAFMAT přednesl dvě celoustavní přednášky: „2D Transition Metal Carbides (MXenes): Synthesis, Properties, and Applications“ a „Nanodiamond: Synthesis, Properties, and Applications“. Navázali jsme novou spolupráci se skupinou profesora a od ledna 2020 začaly probíhat společné experimenty s přípravou a studiem povrchových vlastností MXenových vrstev.
- **Ricardo Sato**, Observatoř Pierra Augera – Malarque, vedoucí sběru dat povrchového detektoru observatoře
- **prof. Tiina Suomijärvi**, Institut de Physique Nucléaire, Orsay, France, špičková odbornice na kosmické záření, vedoucí skupiny elektroniky na Observatoři Pierra Augera

2.9.4 Aktuální meziústavní dvoustranné dohody 2020

BRAZÍLIE

Universidade Estadual Paulista „Júlio de Mesquita Filho“, Instituto de Física Teórica

Cooperation on superstring vertex operators in anti-deSitter backgrounds

ČÍNA

Čínská akademie věd

Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Guo China-US Photonics Lab

- Memorandum of Understanding on Collaborative Program on Development of Theoretical Approaches and Technological and Scientific Applications of Ultrashort Laser-Matter Interaction

Shanghai Institute of Ceramics

- Collaborative research agreement
- Memorandum of Understanding on the terms and conditions of mutual cooperation

Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics

- Memorandum of Understanding regarding scientific and other related cooperation on Laser-Plasma Interaction Experiments using Multi-PW Lasers and associated Theory & Simulation Activities

FRANCIE

Centre Nationale de la Recherche Scientifique

Memorandum of Understanding on the terms and conditions of mutual cooperation

Commissariat à l'Energie Atomique et aux Energies Alternatives, Ústav fyziky plazmatu AV ČR

Letter of Intent for a joint experimental campaign on „Laser driven proton acceleration from H2 cryogenic target“

European Synchrotron Radiation Facility

- Medium Term Arrangement concerning the scientific use of synchrotron radiation for non-proprietary research for the period 2018–2022
- Memorandum of Understanding for TANGO Collaboration
- Memorandum of Understanding 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.
- Memorandum of Understanding – Medium Term Arrangement concerning the scientific use of synchrotron radiation for non-proprietary research for the period 2018–2022
- Studentship Agreement – “In-situ synchrotron X-Ray diffraction studies of smart structures for actuators by shape memory alloys (SMA)”

École Polytechnique, Le Laboratoire de Physique des Interfaces et des Couches Minces,

Memorandum of Understanding on the terms and conditions of mutual cooperation

Institut Polytechnique de Paris, Le Laboratoire d'Optique Appliquée, CNRS, Ecole Polytechnique, ENSTA-ParisTech

Collaboration Agreement – mobility

SIGMA Clermont

Memorandum of Understanding – Framework Agreement for Research and Academic Cooperation

Université Lyon 1, Institute of Light and Matter

Memorandum of Understanding on terms and conditions of mutual cooperation (Solid21)

Université de Lorraine, Institut Jean LaMemorandum of Understanding r

Letter of Intent on Scientific cooperation in the frame of the proposed project

INDIE

Tata Institute of Fundamental Research

Memorandum of Understanding regarding scientific and other related cooperation – high intensity laser matter interaction, laboratory astrophysics with short pulse laser matter interaction

ITÁLIE

DE.TEC.TOR. Devices & Technologies Torino S.r.l.

Memorandum of Understanding mobility of research technical and administrative staff

Elettra – Sincrotrone Trieste S.C.p.A.

Agreement on the access to electron beam

Fondazione Bruno Kessler, Center for Materials and Microsystems

Cooperation on investigation of laser-driven ion sources and on fabrication, design of innovative devices based on silicon compatible technology

Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

Collaboration in framework of particle beam transport, dosimetry and radiobiology

Istituto di Scienza e Tecnologia dei Materiali Ceramici del Consiglio Nazionale delle Ricerche
Scientific Collaboration and Non Disclosure Agreement

Università degli Studi dell'Insubria, Dipartimento di Scienza e Alta Tecnologia

Memorandum of Understanding mobility

JAPONSKO

Frontier Research Institute for Interdisciplinary Sciences

Join Research Agreement

Kumamoto University, Faculty of Advanced Science and Technology

Memorandum of Understanding academic exchange

National Institutes for quantum and radiological science and technology, Kansai Photon Science Institute

Memorandum of Understanding research of high intensity laser physics

Osaka University

The Institute of Scientific and Industrial Research,

- Cooperation on development of laser technologies

Institute of Laser Engineering

- Memorandum of Understanding regarding scientific and other related cooperation – laser driven plasmas

The University of Tokyo, Institute for Solid State Physics

Agreement on academic exchange

Tohoku University

Institute for Materials Research

- Memorandum of Understanding on collaboration

Frontier Research Institute for Interdisciplinary Sciences

- Join Research Agreement

KANADA

Institut National de la Recherche Scientifique

Memorandum of Understanding mobility

Korejská republika:

Advanced Institute of Science and Technology

Memorandum of Understanding on Collaborative Program on Application on Multi-slab, Diode Pumped Solid State Laser to SBS-PCM and Holographic Machining

Advanced Photonics Research Institute

- Memorandum of Understanding on Collaborative Program on Research and Development of Ultra-Intense Lasers and Applications
- Memorandum of Understanding on Collaborative Program on Research and Development of Ultra-Intense Lasers and Applications

Global Institute of Laser Technology, Hangdong Global University

Memorandum of Understanding on Collaborative program development of high energy laser for industry and application of laser shock peening

Hangdong Global University, Global Institute of Laser Technology

Memorandum of Understanding on Collaborative program development of high energy laser for industry and application of laser shock peening

Korea Basic Science Institute

Memorandum of Understanding – collaborative and joint research activities

Korea Institute of Machinery and Materials

Memorandum of Understanding on Collaborative Program on Development of High Power Lasers Technologies for Industrial and Scientific Applications

Philoptics Co Ltd.; Korea Institute of Machinery and Materials (KIMM); Meopta – optika, s. r. o.

Cooperation on development of non-linear absorption driven optical system and process for high throughput TGV formation

LITVA**Center for Physical Sciences and Technology**

Memorandum of Understanding on joint project proposal ELI-SA (H2020)

LOTYŠSKO**Riga Technical University**

Cooperation Agreement

NĚMECKO**Deutsches Elektronen-Synchrotron DESY**

Software licence agreement – XRAYPAC Software

Deutsches Elektronen-Synchrotron DESY a Universität Hamburg

- Cooperation Agreement – Czech Hamburg Advanced Medical and Photonics Project – CHAMPP

European X-Ray Free-Electron Laser Facility GmbH

Memorandum of Understanding on cooperation in the field of Photon Science

Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Lehrstuhl: Korrosion und Oberflächentechnik

Memorandum of Understanding on the terms and conditions of mutual cooperation

Friedrich Schiller Universität Jena

Memorandum of Understanding mobility of research technical and administrative staff

Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie

Memorandum of Understanding on establishing framework and academic cooperation

Cherenkov Telescope Array Observatory gemeinnützige GmbH

Agreement on the SST – 1M mini – array cooperation at the Ondrejov Observatory

Johannes Gutenberg Universität Mainz, Institut für Physik

Memorandum of Understanding – International Mobility of Researchers

Karlsruhe Institute of Technology

Memorandum of Understanding mobility of research technical and administrative staff

Marvel Fusion GmbH

Memorandum of Understanding

Max-Planck-Institut für Chemische Physik fester Stoffe

Memorandum of Understanding – International Mobility of Researchers

Ruhr-Universität Bochum, Lehrstuhl für Laseranwendungstechnik

Memorandum of Understanding on Collaborative Program on Development of High Power Lasers Technologies for Industrial and Scientific Applications

Technische Universität Berlin

Memorandum of Understanding on the terms and conditions of mutual cooperation

Technische Universität Darmstadt, Material- und Geowissenschaften

- Memorandum of Understanding – International Mobility of Researchers
- Letter of Intent cooperation within High Ms nanoparticles for enhanced magnetic fluid hyperthermia in cancer treatment
- Memorandum of Understanding on a scientific collaboration on “Warm Dense Matter physics induced by intense laser and ion beam interaction with matter”

Technische Hochschule Mittelhessen a DIOPTIC GmbH, MEOPTA – optika, s. r. o.

Partnership Agreement – Development of an universal wavefront measuring device on newly-developed wavefront sensor (DHS sensor)



**Technische Hochschule Mittelhessen
a Brueckmann Elektronik GmbH, Rigaku
Innovative Technologies Europe s.r.o.**
Partnership Agreement – Development of an ultrafast,
high-resolution X-ray camera system

Universität Leipzig
Memorandum of Understanding on terms and conditions of mutual cooperation

Universität Stuttgart
Memorandum of Understanding – International Mobility of Researchers

NIZOZEMSKO

Delft University of Technology
Memorandum of Understanding mobility of research technical and administrative staff

POLSKO

Institute of Plasma Physics and Laser Microfusion
Memorandum of Understanding regarding scientific and other related cooperation

Polská akademie věd,
Ústav fyzikální chemie

- Memorandum of Understanding – Agreement on the terms and conditions of mutual cooperation

Astronomické centrum Mikuláše Koperníka

- Memorandum of Understanding mobility of research technical and administrative staff

Technická univerzita ve Vratislavi
Memorandum of Understanding regarding scientific and other related cooperation – optoelectronics

Univerzita v Białymstoku
Memorandum of Understanding on the terms and conditions of mutual cooperation

Univerzita Jana Kochanowského v Kielcích
Memorandum of Understanding on the terms and conditions of mutual cooperation

PORTUGALSKO

Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores para os Microsistemas e as Nanotecnologias
Memorandum of Understanding on the terms and conditions of mutual cooperation

Instituto Superior Técnico
Memorandum of Understanding mobility

RAKOUSKO

AIT Austrian Institute of Technology GmbH
Memorandum of Understanding mobility of research technical and administrative staff

Innotonix GmbH
Research project collaboration: creating optimized thin-disks on cooling substrates

Medizinische Universität Innsbruck
Memorandum of Understanding on the terms and conditions of mutual cooperation

Universität Wien
Academic license for the use of the software package VASP

RUSKO

Keldyšův ústav aplikované matematiky
Agreement joint research and development activities aimed at analysis and planning of modern experiments on the development of compact particle acceleration facilities based on the action of an ultra-fast radiation on plasmas

Moskevská státní univerzita M. V. Lomonosova, Fakulta fyziky
Cooperation on development of advanced lasers and laser based technologies and their industrial

Národní výzkumná jaderná univerzita „MEPhI“
Memorandum of Understanding for a scientific collaboration on „Ultra intense laser matter interaction“

Petrohradská státní univerzita
Memorandum of Understanding on Collaborative Program on Development of High Power Lasers Technologies for Industrial and Scientific Applications

Ruská akademie věd
Institute of Automation and Control Processes

- Letter of Intent on scientific collaboration
- Memorandum of Understanding for Collaborative Program on Research of Materials Surface Structuring by Laser Radiation

Rzhanov Institute of Semiconductor Physics

- Memorandum on Scientific Collaboration

Ioffe Institute

- Memorandum of Understanding on the terms and conditions of mutual cooperation

Státní univerzita Penza
Memorandum of Understanding on Research Collaboration

ŘECKO**Hellenic Mediterranean University**

Cooperation on generation of laser induced functionalization of surfaces of metals

SLOVENSKO**Slovenská Akadémia vied, Fyzikálny ústav**

Cooperation Agreement for implementing the Project Development of Inquiry Based Learning via IYPT

SRBSKO**University of novi Sad, Faculty of Technical Sciences**

Partnership Statement – Project: Microtubules as Biological Nanowires and Pathways for Nanomotors

ŠPANĚLSKO**The Basque Center for Materials, Applications and Nanostructures**

Memorandum of Understanding on the terms and conditions of mutual cooperation

Centro De Laseres Pulsados

Memorandum of Understanding regarding their scientific and other related cooperation

Centro Nacional de Biotecnología of the The Spanish National Research Council

(Agencia Estatal Consejo Superior de Investigaciones Científicas)

Memorandum of Understanding mobility

Instituto de Astrofísica de Canarias

Agreement on the installation and the operation of the FRAM telescope at the Roque de Los Muchachos Observatory

University of Zaragoza

Memorandum of Understanding on the terms and conditions of mutual cooperation

ŠVÉDSKO**Lund University, Department of Chemistry**

Memorandum of Understanding regarding scientific and other related cooperation

Umea University, Department of Physics, Sweden

Memorandum of Understanding – International mobility of research, technical and administrative staff

Uppsala University

- Memorandum of Understanding mobility of research technical and administrative staff

Laboratory of Molecular Biophysics of the Department of Cell and Molecular Biology,

- Memorandum of Understanding on Collaboration in Coherent Diffractive Imaging and Atomic, Molecular and Optical Sciences

ŠVÝCARSKO**CERN – The European Organization for Nuclear Research**

- Memorandum of Understanding for the RD50 Collaboration
- Memorandum on cooperation for the CLIC Detector and Physics Study
- Memorandum of Understanding for collaboration in the field of technology transfer
- Agreement for Accession to the Crystal Clear Collaboration

École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Photovoltaics-Laboratory of Microengineering Institute

Memorandum of Understanding on the terms and conditions of mutual cooperation

Paul Scherrer Institute

Memorandum of Understanding mobility

TCHAJ-WAN**Instrument Technology Research Center, National Applied Research Laboratories**

Memorandum of Understanding on Research Collaboration with a vision to promote bilateral cooperation in science and technology development

Industrial Technology Research Institute

Memorandum of Understanding joint research and workshops, exchange of personnel and technical knowledge

National Applied Research Laboratories, Technology Research Center

Memorandum of Understanding for research collaboration

National Kaohsiung University of Applied Sciences

Memorandum of Understanding on education and academic research



VELKÁ BRITÁNIE

Deep Underground Neutrino Experiment

Letter of Intent on Scientific Collaboration

Queen's University of Belfast

Memorandum of Understanding for a scientific and technological collaboration towards Laser-driven Acceleration and Laser Plasma Physics experiments at ELI-Beamlines

Science and Technology Facilities Council

Consortium Agreement – Teaming Phase 2 – HiLASE Centre of Excellence

UK Research and Innovation

Agreement

University of Southampton

Memorandum of Understanding joint scientific experiments, academic exchanges

The University Edinburgh

Memorandum of Understanding – International Mobility of Researchers

University of London, Royal Holloway and Bedford New College

Memorandum of Understanding on joint research activities in accelerator physics and its application

VIETNAM

Research and Development Center Saigon Hi-Tech Park

Letter of Intent on scientific collaboration: „Development of alternative PECVD technology of hydrogenated silicon thin films for solar cells

Vietnamská akademie věd a technologií

- Ho Chi Minh City Institute of Physics

Letter of Intent 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

- Institute of Applied Material Science

Letter of Intent on Scientific Collaboration – Development of hydrogenated silicon thin films for solar cells and alternative applications

USA

Arizona State University

- Memorandum of Understanding on scientific collaboration (CEICO)
- Memorandum of Understanding mobility of research technical and administrative staff

Brookhaven National Laboratory, Brookhaven Science Associates, LLC

Amendment to Non-proprietary User Agreement

Fermi National Accelerator Laboratory

Non-proprietary User Agreement

Large Synoptic Survey Telescope

Memorandum of Understanding on scientific collaboration

New Mexico State University

- Memorandum of Understanding regarding scientific and other related cooperation
- Memorandum of Understanding – International Mobility of Researchers

SLAC National Accelerator Laboratory, Leland Stanford Junior University

Non-proprietary User Agreement – Contract

University of California, Department of Physics and Astronomy

Memorandum of Understanding mobility

University of Connecticut

Memorandum of Agreement on institutional cooperation

University of Rochester, Laboratory for Laser Energetics

Memorandum of Understanding regarding scientific and other cooperation

VÍCE ZEMÍ

Impulse Consortium Agreement

Memorandum of Understanding Integrated Management and reliable operations for User-based Laser Scientific Excellence

International Particle Physics Outreach Group

MoU Establishing The International Particle Physics Outreach Group Collaboration

European Laser research infrastructures

Laserlab-Europe V Consortium Agreement

2.10 Publikace zaměstnanců FZÚ v roce 2020



2.10.1 Přehled

169

	I. Sekce fyziky elementárních částic	II. Sekce fyziky kondenzovaných látek	III. Sekce fyziky pevných látek	IV. Sekce optiky	V. Sekce výkonových systémů	IX. Sekce realizace projektu ELI Beamlines	Celkem
Kniha, monografie	0	1	0	0	0	0	1
Kapitola v knize	0	2	6	1	1	2	12
Publikace v impaktovaném periodiku	160,2	160,39	269,78	74,23	61,39	85,02	811
Publikace v neimpaktovaném periodiku	2	17,38	30,35	4,27	2	7	63
Publikace v konferenčním sborníku	6	4,4	18,6	5	1	3	38
Patenty	0	0,7	2,8	0,5	3	4	11
Užité a průmyslové vzory	0	0	0	1	0	1	2

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.

2.10.2 Nejvýznamnější výsledky vědecké činnosti FZÚ za rok 2020

Sekce 1

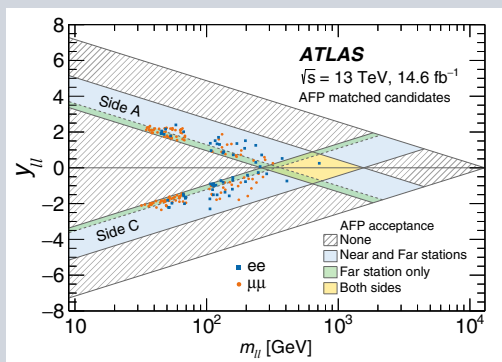
Pozorování a měření rozptylu dopředných protonů ve spojení s leptonovými páry vytvořenými pomocí mechanismu fotonové fúze v detektoru ATLAS

V této práci je prezentováno pozorování a měření rozptylu dopředných protonů ve spojení s leptonovými páry (e^+e^-+p , nebo $\mu^+\mu^-+p$) vytvořenými pomocí mechanismu fotonové fúze. Rozptýlený proton je detekován spektrometrem ATLAS Forward Proton (AFP), zatímco leptony se detekují centrálním detektorem ATLAS. Výsledky pocházejí z analýzy proton-protonových srážek nabraných v roce 2017 při těžišťové energii 13 TeV, v množství odpovídajícím integrované luminozitě 14.6 fb^{-1} . Celkem bylo identifikováno 57 (123) případů s koncovým stavem $ee+p$ ($\mu\mu+p$), což v každém kanálu umožňuje se signifikancí 5 standardních odchylek vyloučit hypotézu, že by pocházely výlučně z pozadí. V měřené oblasti odpovídající akceptancím detektorů ATLAS a AFP byly stanoveny účinné průřezy pro elektronový kanál: $\sigma_{ee+p} = 11.0 \pm 2.6(\text{stat}) \pm 1.2(\text{syst}) \pm 0.3(\text{lumi})$ a pro mionový kanál: $\sigma_{\mu\mu+p} = 7.2 \pm 1.6(\text{stat}) \pm 0.9(\text{syst}) \pm 0.2(\text{lumi}) \text{ fb}$.

KONTAKTNÍ OSOBA: doc. Alexander Kupčo, Ph.D., kupco@fzu.cz

G. Aad *et al.* (ATLAS Collaboration, z FZÚ: J. Chudoba, J. Hejbal, O. Hladik, P. Jacka, T. Jakoubek, O. Kepka, J. Kroll, A. Kupco, M. Lokajicek, R. Lysak, M. Marcisovsky, M. Mikestikova, S. Nemecek, O. Penc, P. Sicho, P. Staroba, M. Svatos, M. Tasevsky), Observation and measurement of forward proton scattering in association with lepton pairs produced via the photon fusion mechanism at ATLAS, *Phys. Rev. Lett.* **125** (2020) no. 26, 261801.

doi.org/10.1103/PhysRevLett.125.261801



Klasifikace dileptonových případů podle akceptancí AFP stanic

Umístění dileptonových případů, splňujících všechna selekční kritéria, v rovině jejich pseudorapidity y_{ll} a m_{ll} . Barevné (šrafované) oblasti odpovídají oblastem akceptance (mimo akceptanci) AFP stanic, jak vysvětleno v legendě. Ostatní oblasti odpovídají nefyzikálním případům.



Nejpřesnější měření energetického spektra kosmického záření ultra-vysokých energií

V roce 2020 zveřejnila Observatoř Pierra Augera zatím nejpřesnější měření energetického spektra kosmického záření ultra-vysokých energií. Data obsahují 215 030 událostí s energií větší než $2,5 \times 10^{18}$ eV zaznamenaných za více než 14 let provozu Observatoře [1, 2]. Naměřené energetické spektrum vykazuje dosud nepozorované vlastnosti. Skupina při FZÚ se na výsledku podílela provozem fluorescenčního detektoru, který je klíčový pro kalibraci energie určené povrchovým detektorem. Doktorand, na kterého dohlížel vědec FZÚ jako konzultant práce, přispěl ve zveřejněných člancích k příslušné analýze dat.

SPOLUPRACUJÍCÍ SUBJEKT: Observatoř Pierra Augera

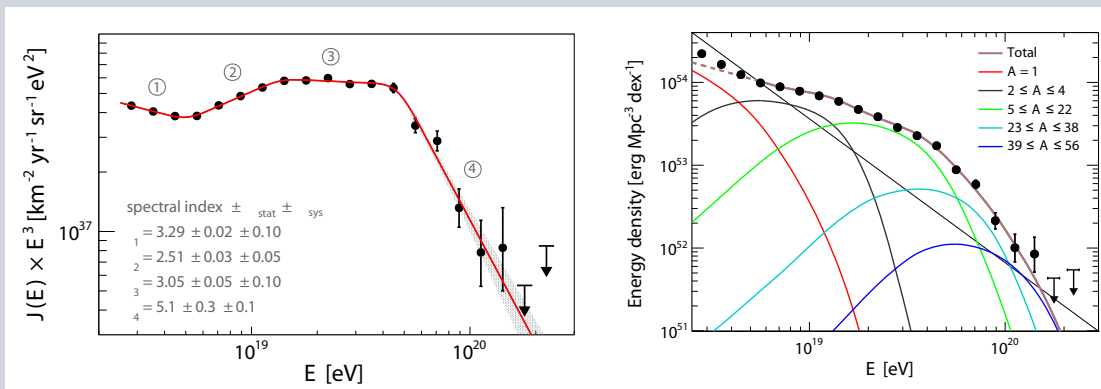
KONTAKTNÍ OSOBA: Roberto Oliveri, Ph.D., roliveri@fzu.cz

A. Aab *et al.* (The Pierre Auger Collaboration, z FZÚ: A. Bakalov., 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) Features of the Energy Spectrum of Cosmic Rays above 2.5×10^{18} eV Using the Pierre Auger Observatory, *Physical Review Letters* **125** (2020) 121106(1)–121106(10).

[doi.10.1103/PhysRevLett.125.121106](https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.125.121106)

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) Measurement of the cosmic-ray energy spectrum above 2.5×10^{18} eV using the Pierre Auger Observatory, *Physical Review D* **102** (2020) 062005(27).

[doi.10.1103/PhysRevD.102.062005](https://doi.org/10.1103/PhysRevD.102.062005)



Energetické spektrum kosmického záření z dat Observatoře Pierra Augera.

Vlevo: Obrázek ukazuje energetické spektrum vynásobené E^3 . Naměřená data jsou nafitována závislostí $(E-\gamma)$ a hodnoty spektrálního indexu γ potvrzují zploštění spektra kolem energie 5×10^{18} eV, tzv. „kotník“ i náhlý pokles kolem 5×10^{19} eV. Kolem energie 10^{19} eV dochází k dalšímu poklesu. Tato vlastnost spektra nebyla dříve nikým pozorována. Vpravo: Energetické spektrum popsané teoretickým modelem s proměnným složením kosmického záření.

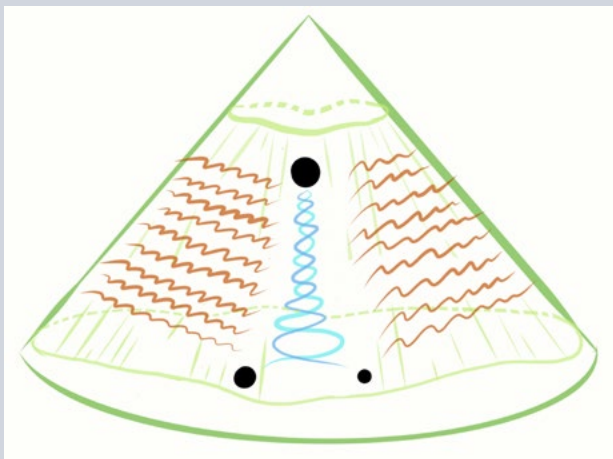
Aplikace Poincarého a BMS tokových balančních zákonů na binární systémy

Navrhujeme tokově balanční zákony pro všechny BMS náboje přidružené k asymptoticky plochým prostorům. Rozlišujeme balanční zákony pro Poincarého a BMS toky přidružené k třem relevantním paměťovým efektům a získáváme jejich přesnou formu pomocí radiačně symetrických bezestopých multipólů. Také ukazujeme, že zákony tokové rovnováhy vedou k integrodiferenciálním podmínkám konzistence na radiačně reakční síly působící na zdroje. Nakonec odvozujeme přesný tvar všech BMS nábojů, jak pro počáteční binární systém Kerrových černých děr, tak i pro finální Kerrovu černou díru. To nám umožňuje odvodit přesné vztahy pro profil gravitačních vln vzniklých v důsledku splnutí černých děr.

KONTAKTNÍ OSOBA: RNDr. Petr Trávníček, Ph.D., travnick@fzu.cz

Geoffrey Compère, Roberto Oliveri and Ali Seraj, The Poincaré and BMS flux-balance laws with application to binary systems, *J. High Energy. Phys.* **116** (2020).
[doi.org/10.1007/JHEP10\(2020\)116](https://doi.org/10.1007/JHEP10(2020)116)

172



Gravitační záření emitované při splnutí dvou černých děr

Dvě černé díry orbitující jedna kolem druhé dokud nesplynou v jednu. Během tohoto procesu emitují gravitační záření šířící se rychlostí světla směrem k horizontu příčinnosti zobrazeného zeleně.

Sekce 2

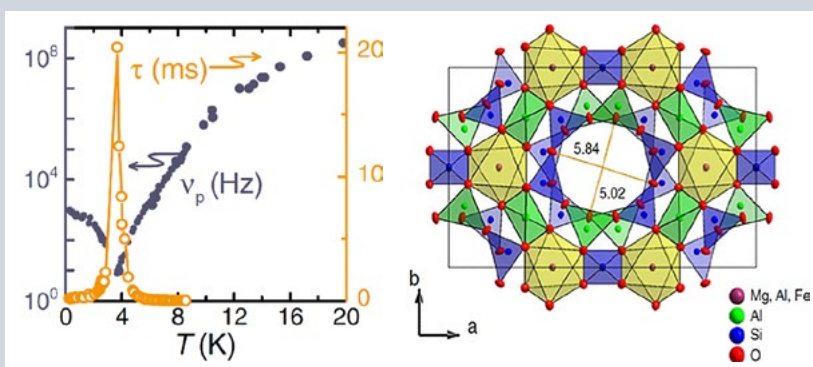
Feroelektrický fázový přechod molekul vody lokalizovaných v minerálu kordieritu

Objevili jsme, že vodíkové vazby se eliminují a Coulombické interakce dominují v molekulách vody lokalizovaných do nanokanálků v minerálu kordieritu. Jejich dipólový moment je orientovaný kolmo na osu kanálku c a naše dielektrická spektroskopie odhalila jejich uspořádání při ~ 3 K. Kritická dielektrická relaxace vyvolávající toto uspořádání je polarizovaná podél osy a a leží v radiofrekvenčním oboru. Měření feroelektrické spontánní polarizace určilo při 0.3 K saturevanou hodnotu $\sim 3 \text{ nC/cm}^2$.

KONTAKTNÍ OSOBA: RNDr. Stanislav Kamba, CSc., kamba@fzu.cz

M. A. Belyanchikov, M. Savinov, Z. V. Bedran, P. Bednyakov, P. Proschek, J. Prokleska, V. A. Abalmasov, J. Petzelt, E. S. Zhukova, V. G. Thomas, A. Dudka, A. Zhugayevych, A. S. Prokhorov, V. B. Anzin, R. K. Kremer, J. K. H. Fishcer, P. Lunkenheimer, A. Loidl, E. Uykur, M. Dressel, B. Gorshunov, Dielectric ordering of water molecules arranged in a dipolar lattice, *Nat. Commun.*, **11** (2020) 3927/1–9. doi.org/10.1038/s41467-020-17832-y

173



Krystalová struktura kordieritu a teplotní závislost frekvence dielektrické relaxace vody v kordieritu.

(a) Feroelektrický fázový přechod vody v kordieritu je vyvolaný kritickou dielektrickou relaxací. ν_p značí frekvence maxim ve spektrech dielektrických ztrát a τ označuje relaxační čas dielektrické relaxace.

(b) Krystalová struktura kordieritu. Studovaná voda byla lokalizována ve volných kanálcích podél osy c.

Cílená modifikace elektronové struktury křemíkových nanokrystalů pomocí organických ligandů

Pomocí kvantově-mechanických výpočtů na bázi funkcionálu hustoty a konceptu „fuzzy“ pásové struktury konečných krystalů jsme ukázali, jak vhodnou volbou organických ligandů optimalizovat přenos elektrického náboje z centra na povrch nanokrystalu tak, aby se maximalizovala pravděpodobnost zářivého přechodu z křemíkových nanokrystalů. Dosažení účinné luminiscence z křemíku a dalších polovodičů s nepřímým zakázaným pásem (C, Ge) umožní integrovat fotonické obvody do současných mikroprocesorů.

SPOLUPRACUJÍCÍ SUBJEKTY:

University of Amsterdam, Netherlands

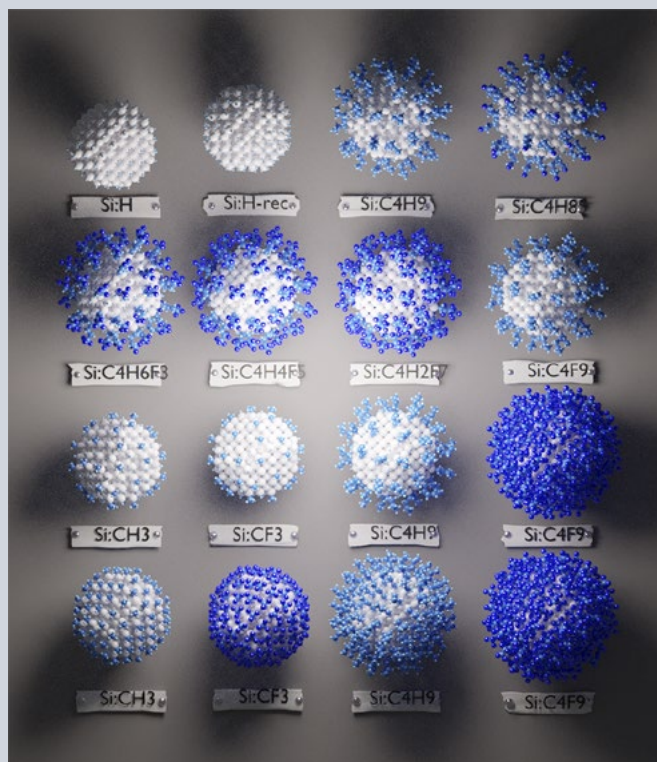
Italian Institute of Technology, Genova, Italy

Kontaktní osoba: Ing. Prokop Hapala, Ph.D., hapala@fzu.cz

K. Dohnalová, P. Hapala, K. Kůsová, I. Infante Electronic Structure Engineering Achieved via Organic Ligands in Silicon Nanocrystals, *Chemistry of Materials* 32 (2020) 6326–6337.

doi.org/10.1021/acs.chemmater.0c00443

174



Symetrická nanočástice s krystalickým jádrem tvořeným 232 atomy křemíku (o průměru 2 nm) pokrytá různými kovalentně vázanými organickými ligandy (vodík, alifatické uhlovodíky, fluorované alifatické uhlovodíky). Sytost modré barvy reprezentuje elektronegativitu prvků, která způsobuje vznik elektrostatického pole a přenos elektronů z jádra nanočástice na povrch. Tímto způsobem jsou vlnové funkce elektronů a dír v krystalu pozměněny tak, že zářivá rekombinace elektronu a díry přestává být zakázanou na rozdíl od objemového materiálu.

Nízkoteplotní syntéza transparentních vodivých diamantových elektrod dopovaných bórem pro optoelektronické aplikace: Role vodíku na elektrické vlastnosti

Opticky transparentní diamantové elektrody ve formě polykrystalických tenkých vrstev byly syntetizovány při nízkých teplotách (250 °C) pomocí chemické depozice z plynné fáze. Nízkoteplotní syntéza otevírá cestu k vývoji široké škály aplikací, které by využily vynikající vlastnosti diamantových vrstev jako korozivzdorný, elektricky vodivý a opticky transparentní funkční povlak.

SPOLUPRACUJÍCÍ SUBJEKTY:

Ústav fyzikální chemie J. Heyrovského AV ČR

Centrum výzkumu Řež

Universidad de Sevilla

Fakulta biomedicínského inženýrství České vysoké učení technické v Praze

KONTAKTNÍ OSOBA: Mgr. Petr Ashcheulov, Ph.D., ashcheulov@fzu.cz

P. Ashcheulov, A. Taylor, Z. Vlček, Živcov., P. Hubík, J. Honolka, M. Vondráček, M. Remzov., J. Kopeček, L. Klimša, J. Lorinčík, M. Davydova, Z. Remeš, M. Kohout, A. M. Beltran, V. Mortet, Low temperature synthesis of transparent conductive boron doped diamond films for optoelectronic applications: Role of hydrogen on the electrical properties, *Applied Materials Today* **19** (2020) 100633–100633. doi.org/10.1016/j.apmt.2020.100633

175

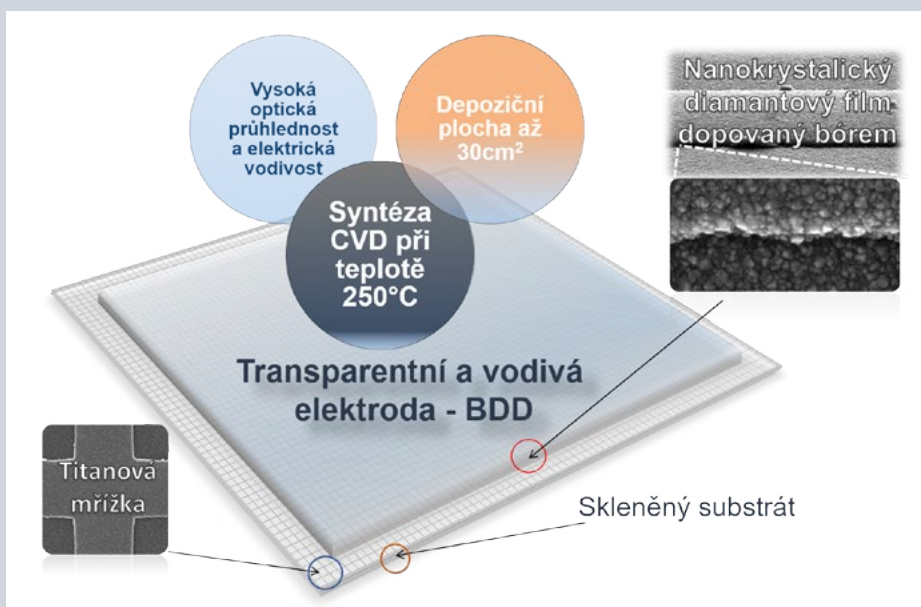


Schéma kompozitní elektrody bórem dopovaný diamant / Ti-mřížka syntetizované při teplotě 250 °C. Implementace Ti mřížky umožňuje dosažení optimálních optoelektrických charakteristik elektrody.

Sekce 3

Antiferomagnetické umělé neurony reagují na femtosekundové laserové záblesky

Vědci z Fyzikálního ústavu a Univerzity Karlovy představili svůj nový experiment, ve kterém se jim podařil zápis informace do antiferomagnetu pomocí záblesků z femtosekundového laseru. Femtosekundu dělí od sekundy podobný počet řádů, jako je mezi sekundou a stářím vesmíru, tedy patnáct. Jejich antiferomagnety se navíc chovají spíše jako součástky, které máme v mozku – neurony – než jako ty klasické, které pracují jen s nulami a jedničkami.

SPOLUPRACUJÍCÍ SUBJEKTY:

Univerzita v Nottinghamu,

ETH Curych

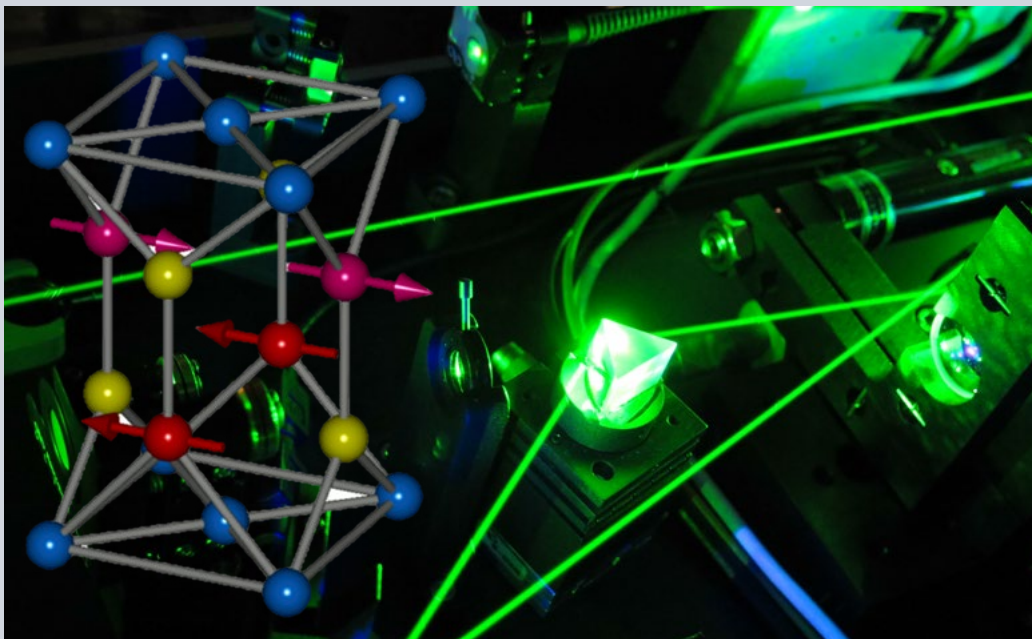
Univerzita v Řezně

Kontaktní osoba: prof. Tomáš Jungwirth, Ph.D., jungw@fzu.cz

Z. Kašpar, M. Surýnek, J. Zub.č, F. Krizek, V. Nov.k, R. P. Campion, M. S. W.rnle, P. Gambardella, X. Mart., P. Němec, K. W. Edmonds, S. Reimers, O. J. Amin, F. Maccherozzi, S. S. Dhesi, P. Wadley, J. Wunderlich, T. Jungwirth, Quenching of an antiferromagnet into high resistivity states using electrical or ultrashort optical pulses, *Nature Electronics*, on-line 30 Nov (2020).

doi.org/10.1038/s41928-020-00506-4

176



Zápis do antiferomagnetu optickým pulzem z femtosekundového laseru.



Hallův jev v antiiferomagnetu

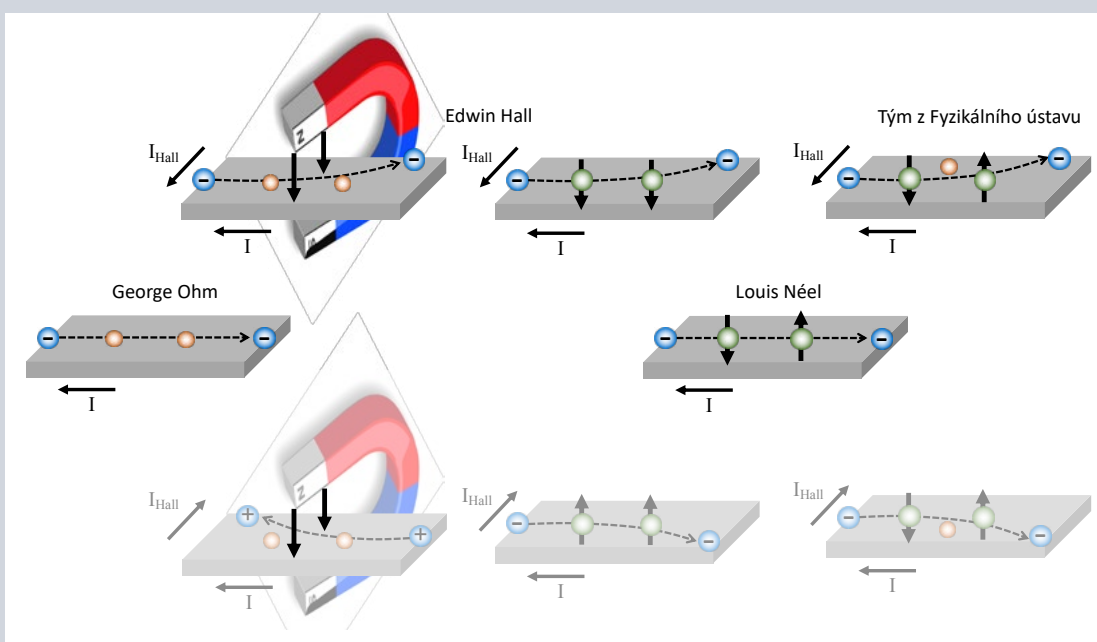
Objev Hallova jevu v antiiferomagnetu porušuje vžitě vědecké představy. Byl učiněn v krystalu se vzájemně se kompenzujícími opačnými atomovými magnety, které by samy o sobě negenerovaly žádný Hallův proud ve shodě s Néelem. Krystal dále obsahuje nemagnetické atomy, které by samotné také umožňovaly jen obyčejný Ohmův proud. Studie ovšem překvapivě ukazuje, že zvláštní kombinace těchto antiiferomagnetických a nemagnetických atomů v krystalu zapříčiní vznik Hallova jevu. Je to výmluvný příklad starověkého: „celek je větší než součet jeho částí“.

SPOLUPRACUJÍCÍ SUBJEKT: Univerzita v Mohuči

KONTAKTNÍ OSOBA: prof. Tomáš Jungwirth, Ph.D., jungw@fzu.cz

Libor Šmejkal, Rafael Gonz.lez-Hern.andez, Tomáš Jungwirth, Jairo Sinova,
Crystal time-reversal symmetry breaking and spontaneous Hall effect in collinear
antiferromagnets, *Science Advances* 6, no. 23 (2020) eaaz8809.

doi.org/10.1126/sciadv.aaz8809



Horní řádek: Nalevo – Hallův jev ve vnějším magnetickém poli působícím na krystal obsahující nemagnetické atomy. Uprostřed – Hallův jev ve feromagnetu, modrý symbol znázorňuje rušivé magnetické pole feromagnetu. Napravo – antiiferomagnetický Hallův jev v krystalu obsahujícím antiiferomagnetické a nemagnetické atomy. Střední řádek: Nalevo – Běžný proud v krystalu obsahujícím pouze nemagnetické atomy. Napravo – Stejně jako nalevo v krystalu obsahujícím pouze antiiferomagnetické atomy. Spodní řádek demonstruje unikátní funkcionality tří Hallových jevů vysvětlených v prvním řádku: Nalevo – děrové(+) nosiče proudu se vychylují opačným směrem než elektrony (-). Uprostřed – otočení magnetizace vychyluje elektrony v opačném směru. Napravo – redistribuce nemagnetických atomů vychyluje elektrony v opačném směru.

Mechano-optické přepínání jediné molekuly s dubletovou emisí

Klíčem k aplikacím v optoelektronice je ovládnutí emise fotonů z jednomolekulárních kvantových zdrojů světla. Ukazujeme zde, že lze reprodukovatelně ladit vlnovou délku emise jednotlivých molekul ftalocyaninu mědi (CuPc) pomocí atomárně přesných manipulací po povrchu iontového krystalu, provedených světelným mikroskopem rastrující sondou. Tento jev vysvětlujeme působením místního rozložení elektrostatického náboje na tento molekulární zdroj světla.

SPOLUPRACUJÍCÍ SUBJEKTY:

Regionální centrum pokročilých technologií a materiálů, Olomouc

Ústav organické chemie a biochemie Akademie věd ČR

Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid, CSIC, Španělsko

Instituto de Física Fundamental, CSIC, Madrid, Španělsko

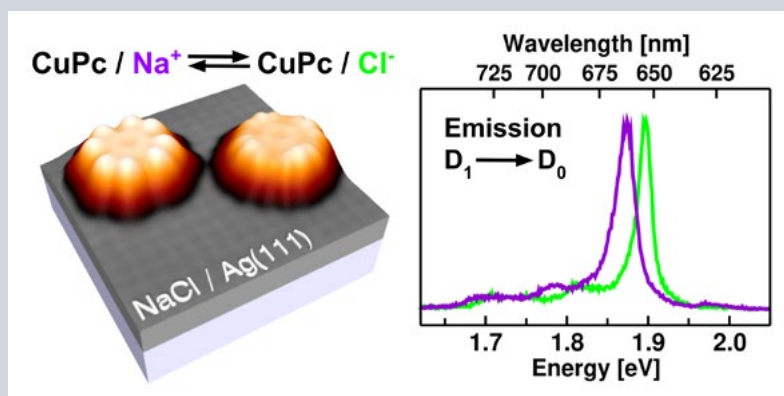
Department of Petrochemistry and Refining, Univerzita v Kinshase, Kinshasa,

Konžská demokratická republika

KONTAKTNÍ OSOBA: Mgr. Martin Švec, Ph.D., svec@fzu.cz

J. Doležal, P. Mutombo, D. Nachtigallova, P. Jelinek, P. Merino, M. Švec, Mechano-Optical Switching of a Single Molecule with Doublet Emission, *ACS Nano* **14** (2020) 8931–8938.

doi.org/10.1021/acsnano.0c03730



Spektrální posuv elektroluminiscence molekul CuPc vlivem změny adsorpční konfigurace na povrchu krystalu soli.

Nová třída kvazimetalických π -konjugovaných topologických polymerů

Navrhli jsme novou třídu vodivých π -konjugovaných polymerů na bázi uhlíku, kde je velikost zakázaného pásu silně modifikována blízkostí kvantového topologického fázového přechodu. Prokázali jsme přímo spojitost mezi rezonanční strukturou π -elektro-nů a topologickou fází polymerů. Syntéza polymerů probíhá teplotně aktivovanou chemickou reakcí aromatických uhlovodíků na povrchu zlata. Nová třída polymerů otvírá nové možnosti v nanoelektronice ale také při studium kvantových fázových přechodů v 1D systémech.

SPOLUPRACUJÍCÍ SUBJEKTY:

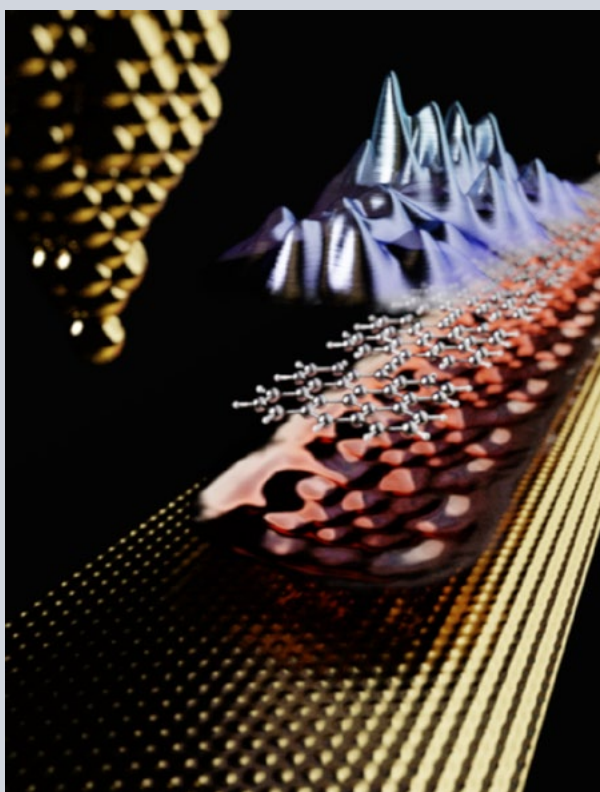
RCPTM Palackého univerzita v Olomouci

IMDEA Nanociencia, Španělsko

Swiss Federal Laboratories for Materials Science and Technology

KONTAKTNÍ OSOBA: doc. Ing. Pavel Jelínek, Ph.D., jelinekp@fzu.cz

B. Cirera, A. Sánchez-Grande, B. de la Torre, J. Santos, Sh. Edalatmanesh, E. Rodríguez-Sánchez, K. Lauwaet, B. Mallada, R. Zbořil, R. Miranda, O. Gröning, P. Jelínek, N. Martín, D. Eciija, Tailoring topological order and π -conjugation to engineer quasi-metallic polymers, *Nature Nanotechnology* **15** (2020) 437–443. doi.org/10.1038/s41565-020-0668-7



Kvazi-metalický polymer na bázi uhlíku s topologicky netriviální fází.
Schematické znázornění chemické struktury uhlíkového polymeru a charakter
hranové elektronového stavu v důsledku netriviální topologické fáze.



Sekce 4

Analýza mechanismů interakcí nanočástic oxidu železitého s buňkami: Cesta od neúspěchu k úspěchu v klinických aplikacích

Počáteční vzrušení z biomedicínských aplikací nanočástic oxidu železa (IONPs) bylo nahrazeno rozčarováním v důsledku stažení klinicky schválených IONP. Kriticky zde hodnotíme potenciální mechanismy interakcí IONPs-buňka. Ukazujeme, že znalost buněčných mechanismů působení IONPs pomohla překonat určité problémy s translací v nanomedicině. Naše kritická analýza naznačuje, že jasné pochopení molekulárních mechanismů interakcí IONPs-buňky poskytne základ pro zvýšení pravděpodobnosti klinického úspěchu IONPs.

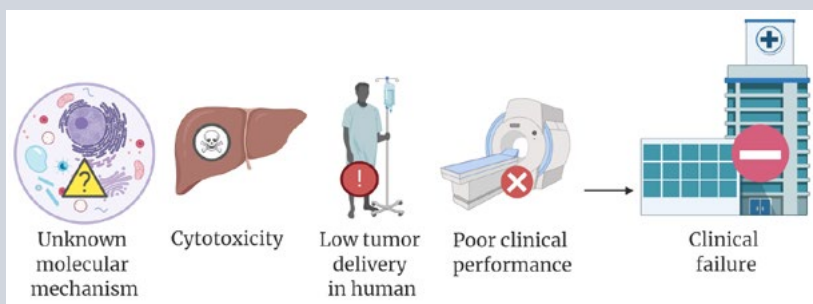
SPOLUPRACUJÍCÍ SUBJEKTY:

Institut klinické a experimentální medicíny

Ústav experimentální medicíny Akademie věd ČR

KONTAKTNÍ OSOBA: Mgr. Oleg Lunov, Ph.D., lunov@fzu.cz

A. Frtús, B. Smolková, M. Uzhytchak, M. Lunova, M. Jirsa, Š. Kubinov., A. Dejneka, O. Lunov, Analyzing the mechanisms of iron oxide nanoparticles interactions with cells: A road from failure to success in clinical applications, *Journal of Controlled Release* **328** (2020) 59–77.
doi.org/10.1016/j.jconrel.2020.08.036



Příčiny klinického selhání IONPs. Obrázek byl vytvořen pomocí BioRender.com.



Přenos náboje a napětí v MoS₂ šupinkách na rozhraní s kovy

Materiálové vlastnosti monovrstevných 2D chalkogenidů přechodových kovů, např. FeSe nebo (Mo,W)S₂ citlivě závisí na interakcích s nosnými kovovými, polokovovými nebo polovodičovými substráty.

Studovali jsme tyto účinky na jednotlivě vybraných ostrůvcích MoS₂ širokých několik mikrometrů na rozhraní s Au a SiO₂ pomocí kombinace ultra vysoké vakuové fotoemise s optickými technikami ex situ: sloučení dat μ -Raman s μ -fotoemisní spektroskopií založenou na NanoESCA jsme objasnili podstatu interakce MoS₂-Au, které umožňuje modifikaci vlastností MoS₂ šupinek pomocí mechanického napětí a přenosu náboje.

SPOLUPRACUJÍCÍ SUBJEKTY:

Ústav fyzikální chemie J. Heyrovského AV ČR

Matematicko-fyzikální fakulta Univerzity Karlovy

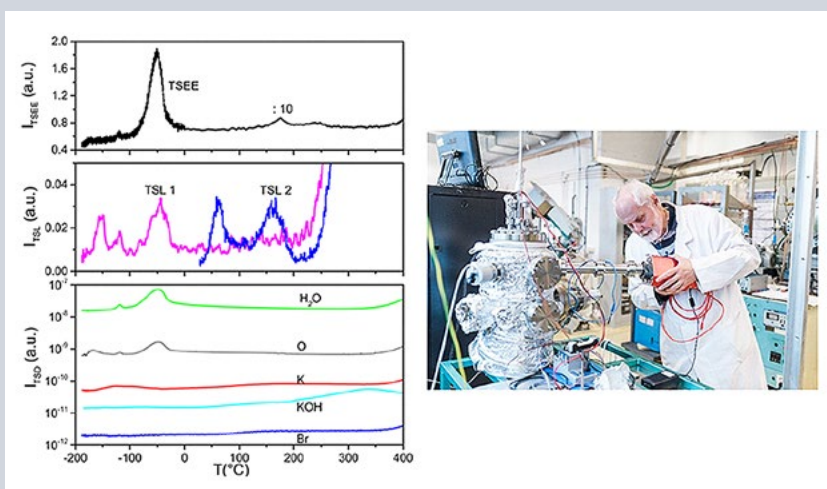
University of Manchester

KONTAKTNÍ OSOBA: Jan Honolka, Ph.D., honolka@fzu.cz

M. Velický, A. Rodriguez, M. Bouša, A. V. Krayev, M. Vondráček, J. Honolka, M. Ahmadi, Gavin E. Donnelly, F. Huang, H. D. Abru.a, K. S. Novoselov, O Frank, Strain and Charge Doping Fingerprints of the Strong Interaction between Monolayer MoS₂ and Gold, *J. Phys.l Chem. Lett.* **11**, 15 (2020) 6112–6118.

doi.org/10.1021/acs.jpcclett.0c01287

181



Kombinace tepelně stimulované exo-elektronové emise (TSEE), luminiscence (TSL) a desorpce (TSD) pro materiál KBr, v celém měřicím rozsahu teplot $\Delta T = \text{LN}_2\text{--}400\text{ }^\circ\text{C}$. RNDr. P. Pokorný, CSc. při nastavování systému pro TSD měření na aparatuře.

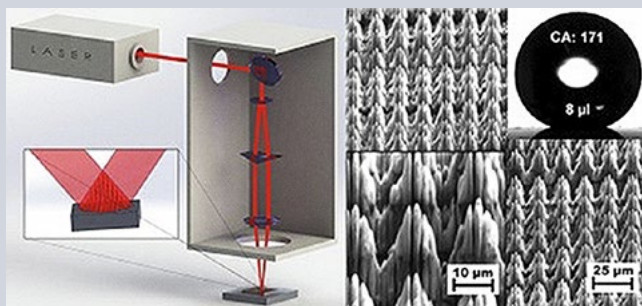
Sekce 5

Výroba funkčních superhydrofóbních povrchů na plastech vyztužených uhlíkovými vlákny metodou IR a UV interferenčního strukturování

Plasty vyztužené uhlíkovými vlákny jsou materiálem budoucnosti pro mnoho průmyslových odvětví, jejich opracování je ale náročné. Naše práce demonstruje vysoký potenciál interferenčního strukturování pro rychlé a velkoformátové mikrostrukturování a funkcionalizaci povrchu, s cílem definovaného ovlivnění smáčivosti povrchu těchto materiálů. Dvousvazková interferenční metoda byla úspěšně aplikována na povrch těchto materiálů pro produkci detailních hierarchických mikrostruktur bez nežádoucího tavení. Povrch s těmito strukturami dosáhl kontaktního úhlu až 171° .

SPOLUPRACUJÍCÍ SUBJEKT: Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS
KONTAKTNÍ OSOBA: Petr Hauschwitz, 314 007 758, petr.hauschwitz@hilase.cz

P. Hauschwitz, R. Jagdheesh, S. Alamri, D. Rostohar, T. Kunze, J. Brajer, J. Kopeček, T. Mocek, Fabrication of functional superhydrophobic surfaces on carbon fibre reinforced plastics by IR and UV direct laser interference patterning *Applied Surface Science* **508** (2020) 144817.
doi.org/10.1016/j.apsusc.2019.144817



Dvousvazkové interferenční obrábění na povrchu CFRP

Schéma experimentálního uspořádání pro dvousvazkové interferenční obrábění (vlevo); Superhydrofóbní hierarchické struktury se záběrem na detail vodní kapky (vpravo)



Oddělení grafenu od substrátu pomocí měkkého rentgenového laseru

Svazkem měkkého rentgenového laseru vlnové délky 21,2 nm byl v Centru PALS ozářen grafen epitaxně rostlý na SiC substrátu. Byly nalezeny ozařovací podmínky, při nichž se grafen nepoškodí, ale oddělí od substrátu. Uvolněné grafenové vrstvy vykazují výrazně lepší elektrické vlastnosti, než ty kovalentně vázané k substrátu. Prahové fluence byly pro zúčastněné procesy stanoveny pomocí pokročilých technik ablačních imprintů a porovnány s hodnotami poskytnutými hybridním počítačovým kódem XTANT.

SPOLUPRACUJÍCÍ SUBJEKTY:

Matematicko-fyzikální fakulta Univerzity Karlovy

Ústav fyziky plazmatu AV ČR

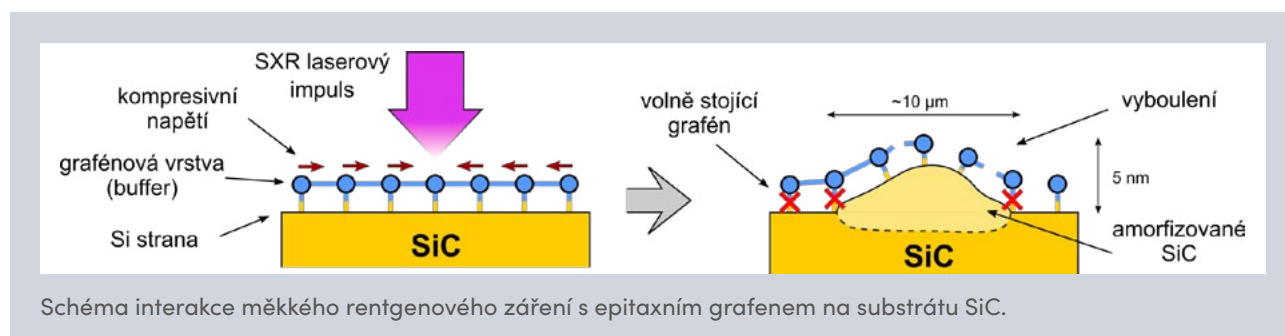
CEITEC

KONTAKTNÍ OSOBA: RNDr. Vojtěch Vozda, Ph.D., vozda@fzu.cz

V. Vozda, N. Medvedev, J. Chalupský, J. Čechal, T. Burian, V. Hájková, L. Juha, M. Krůs, J. Kunc, Detachment of epitaxial graphene from SiC substrate by XUV laser radiation *Carbon* **161** (2020) 36–43.

doi.org/10.1016/j.carbon.2020.01.028

183



Sekce 9

Studium časové dynamiky v oblasti femtosekund až nanosekund flavin adenin mononukleotidu (FMN) metodou stimulovaného Ramanovského rozptylu a kvantovými výpočty

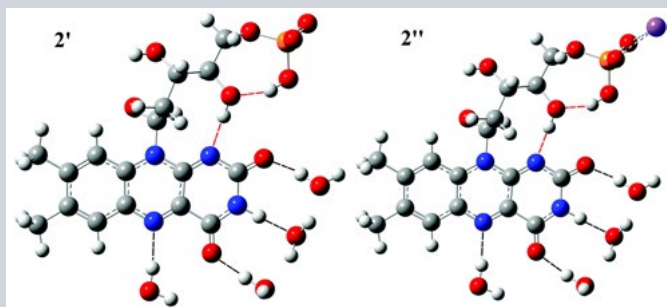
Nukleotidy jsou nejen součástí nukleových kyselin jako DNA a RNA ale i významné kofaktory v některých proteinech. Cílem této práce je hlubší porozumění speciálního nukleotidu FMN, které je startovním bodem pro pochopení jeho funkce v organismech.

SPOLUPRACUJÍCÍ SUBJEKT: Biotechnologický ústav AV ČR

KONTAKTNÍ OSOBA: Mgr. Miroslav Klož, Ph.D., kloz@fzu.cz

Prokopis C. Andrikopoulos, Yingliang Liu, Alessandra Picchiotti, Nils Lenngren, P. C. Andrikopoulos et al., (z FZÚ A. Picchiotti, N. Lenngren, M. Klož, M. Přeček, M. Rebarz, J. Andreasson, J. Hajdu), Femtosecond-to-nanosecond dynamics of flavin mononucleotide monitored by stimulated Raman spectroscopy and simulations *Phys. Chem. Chem. Phys.* **22** (2020) 6538–6552.
doi.org/10.1039/C9CP04918E

184



Trojrozměrná struktura solvatované molekuly flavin adenin nukleotidu (FMN) s a bez stabilizačního sodíkového iontu.

Strukturální model mikro-solvatovaného FMN v kontinuu polarizovatelné vody. Negativně nabitý model 2' s deprotonovanou fosfátovou skupinou je zobrazen na levo. Sodíkem balancovaný ekvivalent 2'' je zobrazen vpravo. Červené přerušované čáry zobrazují vodíkové můstky uvnitř molekuly, zatímco černé mezi jednotlivými molekulami. Barvy atomu: Uhlík: šedá, vodík: bílá, dusík: modrá, kyslík: červená, sodík: fialová.



Generace svazků alfa-částic pomocí petawattového laserového systému s impulsem v řádech kJ

Originální experimentální výsledky generace energetických α -částic produkovaných laserem byly dosaženy experimentálně. Tento experiment proběhl na Institutu Laserového inženýrství (Institute of Laser Engineering) v Osace s vysoko-intenzivním petawattovým laserovým systémem produkujícím krátké impulsy s vysokou energií. Laserový impuls byl zafokusován na tenkou plastovou folii (tzv. „pitcher“), aby takto generoval protonový svazek pomocí dobře známého TNSA mechanismu. Produkovaný protonový svazek následně dopadal na bor-nitridový (BN) terč (tzv. „catcher“), kde vznikají α -částice, jakožto produkt termonukleární fúzní proton-borové reakce. Naše výsledky demonstrují generaci α -částic o vysokých energiích 8–10 MeV a toku okolo $5 \times 10^9 \text{ sr}^{-1}$.

SPOLUPRACUJÍCÍ SUBJEKTY:

Institute of Laser Engineering, Osaka University

Centre of Intense Lasers and Applications, University of Bordeaux

Centre for Plasma Physics, Queen's University of Belfast

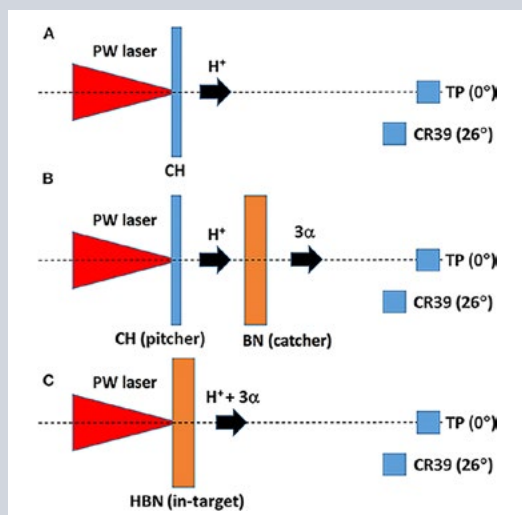
Kansai Photon Science Institute, Kyoto

Southern National Laboratory, Istituto Nazionale Fisica Nucleare, Catania, Italy

Fondazione Bruno Kessler, Trento

KONTAKTNÍ OSOBA: Daniele Margarone, Ph.D., margaron@fzu.cz

Daniele Margarone, Alessio Morace, Julien Bonvalet, Yuki Abe, Vasiliki Kantarelou, Didier Raffestin, Lorenzo Giuffrida, Philippe Nicolai, Marco Tosca, Antonino Picciotto, Giada Petringa, Giuseppe A. P. Cirrone, Yuji Fukuda, Yasuhiro Kuramitsu, Hideaki Habara, Yasunobu Arikawa, Shinsuke Fujioka, Emmanuel D'Humieres, Georg Korn and Dimitri Batani, Generation of alpha-Particle Beams With a Multi-kJ, Peta-Watt Class Laser System *Front. Phys.* 8 (2020) 343.
doi.org/10.3389/fphy.2020.00343



Nákres uspořádání použitých v experimentu

(A) studie generace protonů z plastového terče (B) pB reakce uvnitř terče a (C) pB reakce svazku s terčem. Úhlové umístění spektrometru Thomsonova Parabola a detektoru CR 39 je rovněž znázorněno.

2.10.3 Knihy, monografie

1. **P. Lejček**
Pavel Lejček: *Grain boundary segregation in metals*, Tsinghua University Press, Beijing, 2020.

2.10.4 Kapitoly v knihách

1. **E. Buixaderas, J. Dec:**
Materials and Devices, Vol 5 (1), 2020 Phonons and relaxations in unfilled tetragonal tungsten-bronzes
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
doi.org/10.23647/ca.md20191227
2. **M. F. Ciappina, S. V. Bulanov, T. Ditmire, G. Korn, and S. Weber**
K. Yamanouchi and D. Charalambidis (eds.): *Topics in Applied Physics*, Volume 136, Springer Nature Switzerland AG 2020, Chapter 8 Towards Laser Intensity Calibration Using High-Field Ionization, 149–176.
3. **M. F. Ciappina, M. Lewenstein**
21st Century Nanoscience: A Handbook Nanophysics Sourcebook (Volume One)
4. **V. Jarý, J. Pejchal**
Scintilační materiály, kapitoly Teoretický úvod, Příklady scintilačních materiálů, Aplikace scintilačních materiálů, Technologie přípravy vybraných scintilačních materiálů
5. **S. Kumar, P. Kumar, A. Das and C. S. Pathak**
Recent Advances in Nanophotonics Fundamentals and Applications
doi.org/10.5772/intechopen.92614
6. **K. Kůsová**
21st Century Nanoscience – A Handbook: Advanced Analytic Methods and Instrumentation (Volume 3), kapitola 21
doi.org/10.1201/9780429340420
7. **P. Ondrejko, P. Márton, V. Stepkova and J. Hlinka**
Chapter 4 in *Domain Walls: From Fundamental Properties to Nanotechnology Concepts*, edited by Dennis Meier, Jan Seidel, Marty Gregg, and Ramamoorthy Ramesh, Series on Semiconductor Science and Technology, Oxford University Press, 2020, pp. 76–108.
doi.org/10.1093/oso/9780198862499.003.0001

8. **M. V. Shugaev, M. He, Y. Levy, A. Mazzi, A. Miotello, N. Bulgakova, L. V. Zhigilei**
Handbook of Laser Micro- and Nano-Engineering, 2020, kapitola Laser-Induced Thermal Processes: Heat Transfer, Generation of Stresses, Melting and Solidification, Vaporization, and Phase Explosion
doi.org/10.1007/978-3-319-69537-2
9. **A. Stupakov**
Chapter 2 in *Barkhausen Noise for Nondestructive Testing and Materials Characterization in Low-Carbon Steels*, eds. Tu Le Manh, J.A. Perez-Benitez, J.H. Espina Hernandez and J.M. Hallen Lopez: *Woodhead Publishing Series in Electronic and Optical Materials*, Elsevier, June 2020, p. 25–71.
doi.org/10.1016/B978-0-08-102800-1.00002-2

2.10.5 Publikace v impaktovaných časopisech

Fyzika vysokých energií

1. **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)
Cosmic-Ray Anisotropies in Right Ascension Measured by the Pierre Auger Observatory
Astrophysical Journal **891** (2020) 142(1)-142(10).
doi.org/10.3847/1538-4357/ab7236
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. Tobiška, P. Trávníček, J. Vícha, A. Yushkov)
Direct measurement of the muonic content of extensive air showers between 2×10^{17} and 2×10^{18} eV at the Pierre Auger Observatory
European Physical Journal C – Particles and Fields **80** (2020) 751(1)-751(19).
doi.org/10.1140/epjc/s10052-020-8055-y
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. Tobiška, P. Trávníček, J. Vícha, A. Yushkov)
Studies on the response of a water-Cherenkov detector of the Pierre Auger Observatory to atmospheric muons using an RPC hodoscope
Journal of Instrumentation **15** (2020)



- P09002(1)-P09002(24).
doi.org/10.1088/1748-0221/15/09/P09002
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)
 A Search for Ultra-high-energy Neutrinos from TXS 0506+056 Using the Pierre Auger Observatory
Astrophysical Journal **902** (2020) 105(1)-105(8).
doi.org/10.3847/1538-4357/abb476
 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. Tobiška, P. Trávníček, J. Vícha, A. Yushkov)
 Reconstruction of events recorded with the surface detector of the Pierre Auger Observatory
Journal of Instrumentation **15** (2020) P10021(1)-P10021(36).
doi.org/10.1088/1748-0221/15/10/P10021
 6. 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)
 A 3-Year Sample of Almost 1,600 Elves Recorded Above South America by the Pierre Auger Cosmic-Ray Observatory
Earth and Space Science **7** (2020) EA000582(1)-EA000582(17).
doi.org/10.1029/2019EA000582
 7. 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)
 Search for magnetically-induced signatures in the arrival directions of ultra-high-energy cosmic rays measured at the Pierre Auger Observatory
Journal of Cosmology and Astroparticle Physics **06** (2020) 017(1)-017(26).
doi.org/10.1088/1475-7516/2020/06/017
 8. 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)
 Measurement of the cosmic-ray energy spectrum above 2.5×10^{18} eV using the Pierre Auger Observatory
Physical Review D **102** (2020) 062005(1)-062005(27).
doi.org/10.1103/PhysRevD.102.062005
 9. 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)
 Features of the Energy Spectrum of Cosmic Rays above 2.5×10^{18} eV Using the Pierre Auger Observatory
Physical Review Letters **125** (2020) 121106(1)-121106(10).
doi.org/10.1103/PhysRevLett.125.121106
 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)
 Measurement of J/ψ production in association with a $W^\pm$ boson with pp data at 8 TeV
Journal of High Energy Physics **01** (2020) 095(1)-095(38).
[doi.org/10.1007/JHEP01\(2020\)095](https://doi.org/10.1007/JHEP01(2020)095)
 11. G. Aad *et al.* (ATLAS Collaboration, z FZÚ J. Chudoba, J. Hejbal, O. Hladík, P. Jacka, 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 the Higgs boson inclusive and differential fiducial cross sections in the 4ℓ decay channel at $\sqrt{s} = 13$ TeV
European Physical Journal C – Particles and Fields **80** (2020) 942(1)-942(92).
doi.org/10.1140/epjc/s10052-020-8223-0
 12. G. Aad *et al.* (ATLAS Collaboration, z FZÚ J. Chudoba, J. Hejbal, O. Hladík, P. Jacka, O. Kepka, J. Kroll, A. Kupčo, V. Latoňová, M. Lokajíček, R. Lysák, M. Marčíšovský, M. Mikeščíková, S. Němeček, O. Penc, P. Šícho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský)
 Observation and Measurement of Forward Proton Scattering in Association with Lepton Pairs Produced via the Photon Fusion Mechanism at ATLAS
Physical Review Letters **125** (2020) 261801(1)-261801(21).
doi.org/10.1103/PhysRevLett.125.261801
 13. 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. Šicho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský**
 Search for flavour-changing neutral currents in processes with one top quark and a photon using 81 fb^{-1} of pp collisions at $\sqrt{s} = 13 \text{ TeV}$ with the ATLAS experiment
Physics Letters B **800** (2020) 135082(1)-135082(34).
doi.org/10.1016/j.physletb.2019.135082
14. G. Aad *et al.* (ATLAS Collaboration, z FZÚ **J. Chudoba, J. Hejbal, O. Hladík, P. Jacka, O. Kepka, J. Kroll, A. Kupčo, V. Latoňová, M. Lokajíček, R. Lysák, M. Marčíšovský, M. Mikeščíková, S. Němeček, O. Penc, P. Šicho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský**)
 Operation of the ATLAS trigger system in Run 2
Journal of Instrumentation **15** (2020) P10004(1)-P10004(60).
doi.org/10.1088/1748-0221/15/10/P10004
15. G. Aad *et al.* (ATLAS Collaboration, z FZÚ **J. Chudoba, J. Hejbal, O. Hladík, P. Jacka, O. Kepka, J. Kroll, A. Kupčo, V. Latoňová, M. Lokajíček, R. Lysák, M. Marčíšovský, M. Mikeščíková, S. Němeček, O. Penc, P. Šicho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský**)
 Measurements of inclusive and differential cross-sections of combined $t\bar{t}\gamma$ and $tW\gamma$ production in the $e\mu$ channel at 13 TeV with the ATLAS detector
Journal of High Energy Physics **09** (2020) 049(1)-049(45).
[doi.org/10.1007/JHEP09\(2020\)049](https://doi.org/10.1007/JHEP09(2020)049)
16. G. Aad *et al.* (ATLAS Collaboration, z FZÚ **J. Chudoba, J. Hejbal, O. Hladík, P. Jacka, O. Kepka, J. Kroll, A. Kupčo, M. Lokajíček, R. Lysák, M. Marčíšovský, M. Mikeščíková, S. Němeček, O. Penc, P. Šicho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský**)
 Measurement of the $t\bar{t}$ production cross-section in the lepton+jets channel at $\sqrt{s} = 13 \text{ TeV}$ with the ATLAS experiment
Physics Letters B **810** (2020) 135797(1)-135797(38).
doi.org/10.1016/j.physletb.2020.135797
17. G. Aad *et al.* (ATLAS Collaboration, z FZÚ **J. Chudoba, J. Hejbal, O. Hladík, P. Jacka, O. Kepka, J. Kroll, A. Kupčo, M. Lokajíček, R. Lysák, M. Marčíšovský, M. Mikeščíková, S. Němeček, O. Penc, P. Šicho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský**)
 Performance of the missing transverse momentum triggers for the ATLAS detector during Run-2 data taking
Journal of High Energy Physics **08** (2020) 080(1)-080(53).
[doi.org/10.1007/JHEP08\(2020\)080](https://doi.org/10.1007/JHEP08(2020)080)
18. G. Aad *et al.* (ATLAS Collaboration, z FZÚ **J. Chudoba, J. Hejbal, O. Hladík, P. Jacka, O. Kepka, J. Kroll, A. Kupčo, M. Lokajíček, R. Lysák, M. Marčíšovský, M. Mikeščíková, S. Němeček, O. Penc, P. Šicho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský**)
 A search for the $Z\gamma$ decay mode of the Higgs boson in pp collisions at $\sqrt{s} = 13 \text{ TeV}$ with the ATLAS detector
Physics Letters B **809** (2020) 135754(1)-135754(37).
doi.org/10.1016/j.physletb.2020.135754
19. 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. Šicho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský**)
 Combination of the W boson polarization measurements in top quark decays using ATLAS and CMS data at $\sqrt{s} = 8 \text{ TeV}$
Journal of High Energy Physics **08** (2020) 051(1)-051(63).
[doi.org/10.1007/JHEP08\(2020\)051](https://doi.org/10.1007/JHEP08(2020)051)
20. G. Aad *et al.* (ATLAS Collaboration, z FZÚ **J. Chudoba, J. Hejbal, O. Hladík, P. Jacka, O. Kepka, J. Kroll, A. Kupčo, M. Lokajíček, R. Lysák, M. Marčíšovský, M. Mikeščíková, S. Němeček, O. Penc, P. Šicho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský**)
 Dijet resonance search with weak supervision using $\sqrt{s} = 13 \text{ TeV}$ pp collisions in the ATLAS detector
Physical Review Letters **125** (2020) 131801(1)-131801(23).
doi.org/10.1103/PhysRevLett.125.131801
21. G. Aad *et al.* (ATLAS Collaboration, z FZÚ **J. Chudoba, J. Hejbal, O. Hladík, P. Jacka, O. Kepka, J. Kroll, A. Kupčo, M. Lokajíček, R. Lysák, M. Marčíšovský, M. Mikeščíková, S. Němeček, O. Penc, P. Šicho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský**)
 Search for a scalar partner of the top quark in the all-hadronic $t\bar{t}^-$ plus missing transverse momentum final state at $\sqrt{s} = 13 \text{ TeV}$ with the ATLAS detector
European Physical Journal C – Particles and Fields **80** (2020) 737(1)-737(44).
doi.org/10.1140/epjc/s10052-020-8102-8
22. G. Aad *et al.* (ATLAS Collaboration, z FZÚ **J. Chudoba, J. Hejbal, O. Hladík, P. Jacka, O. Kepka, J. Kroll, A. Kupčo, M. Lokajíček, R. Lysák, M. Marčíšovský, M. Mikeščíková, S. Němeček, O. Penc, P. Šicho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský**)
 Performance of the ATLAS muon triggers in Run 2



- Journal of Instrumentation* **15** (2020) P09015(1)-P09015(58).
doi.org/10.1088/1748-0221/15/09/p09015
23. 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 direct production of electroweakinos in final states with missing transverse momentum and a Higgs boson decaying into photons in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV with the ATLAS detector
Journal of High Energy Physics **10** (2020) 005(1)-005(46).
[doi.org/10.1007/JHEP10\(2020\)005](https://doi.org/10.1007/JHEP10(2020)005)
 24. G. Aad *et al.* (ATLAS Collaboration, z FZÚ J. Chudoba, J. Hejbal, O. Hladík, P. Jacka, 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) CP Properties of Higgs Boson Interactions with Top Quarks in the $t\bar{t}H$ and tH Processes Using $H \rightarrow \gamma\gamma$ with the ATLAS Detector
Physical Review Letters **125** (2020) 061802(1)-061802(21).
doi.org/10.1103/PhysRevLett.125.061802
 25. 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 Lund Jet Plane Using Charged Particles in 13 TeV Proton-Proton Collisions with the ATLAS Detector
Physical Review Materials **124** (2020) 222002(1)-222002(21).
doi.org/10.1103/PhysRevLett.124.222002
 26. 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, massive particles in events with a displaced vertex and a muon with large impact parameter in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV with the ATLAS detector
Physical Review D **102** (2020) 032006(1)-032006(30).
doi.org/10.1103/PhysRevD.102.032006
 27. 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) Measurements of the production cross-section for a ZZZ boson in association with bbb-jets in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV with the ATLAS detector
Journal of High Energy Physics **07** (2020) 044(1)-044(57).
[doi.org/10.1007/JHEP07\(2020\)044](https://doi.org/10.1007/JHEP07(2020)044)
 28. 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 azimuthal anisotropy of muons from charm and bottom hadrons in Pb+Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV with the ATLAS detector
Physics Letters B **807** (2020) 135595(1)-135595(36).
doi.org/10.1016/j.physletb.2020.135595
 29. G. Aad *et al.* (ATLAS Collaboration, z FZÚ J. Chudoba, J. Hejbal, O. Hladík, P. Jacka, 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 new phenomena in final states with large jet multiplicities and missing transverse momentum using $\sqrt{s} = 13$ TeV proton-proton collisions recorded by ATLAS in Run 2 of the LHC
Journal of High Energy Physics **10** (2020) 062(1)-062(49).
[doi.org/10.1007/JHEP10\(2020\)062](https://doi.org/10.1007/JHEP10(2020)062)
 30. G. Aad *et al.* (ATLAS Collaboration, z FZÚ J. Chudoba, J. Hejbal, O. Hladík, P. Jacka, 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 pairs of scalar leptoquarks decaying into quarks and electrons or muons in $\sqrt{s} = 13$ TeV pp collisions with the ATLAS detector
Journal of High Energy Physics **10** (2020) 112(1)-112(45).
[doi.org/10.1007/JHEP10\(2020\)112](https://doi.org/10.1007/JHEP10(2020)112)
 31. G. Aad *et al.* (ATLAS Collaboration, z FZÚ J. Chudoba, J. Hejbal, O. Hladík, P. Jacka, 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 toverline fit resonances in fully

- hadronic final states in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV with the ATLAS detector
Journal of High Energy Physics **10** (2020) 061(1)-061(40).
[doi.org/10.1007/JHEP10\(2020\)061](https://doi.org/10.1007/JHEP10(2020)061)
32. G. Aad *et al.* (ATLAS Collaboration, z FZÚ J. Chudoba, J. Hejbal, O. Hladík, P. Jacka, O. Kepka, J. Kroll, A. Kupčo, M. Lokajíček, R. Lysák, M. Marčíšovský, M. Mikeščíková, S. Němeček, O. Penc, P. Šicho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský)
 Higgs boson production cross-section measurements and their EFT interpretation in the 4ℓ decay channel at $\sqrt{s} = 13$ TeV with the ATLAS detector
European Physical Journal C – Particles and Fields **80** (2020) 957(1)-957(75).
doi.org/10.1140/epjc/s10052-020-8227-9
33. G. Aad *et al.* (ATLAS Collaboration, z FZÚ J. Chudoba, J. Hejbal, O. Hladík, P. Jacka, O. Kepka, J. Kroll, A. Kupčo, M. Lokajíček, R. Lysák, M. Marčíšovský, M. Mikeščíková, S. Němeček, O. Penc, P. Šicho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský)
 Search for heavy Higgs bosons decaying into two tau leptons with the ATLAS detector using pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV
Physical Review Letters **125** (2020) 051801(1)-051801(33).
doi.org/10.1103/PhysRevLett.125.051801
34. 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. Šicho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský)
 Search for dijet resonances in events with an isolated charged lepton using $\sqrt{s}=13$ TeV proton-proton collision data collected by the ATLAS detector
Journal of High Energy Physics **06** (2020) 151(1)-151(41).
[doi.org/10.1007/JHEP06\(2020\)151](https://doi.org/10.1007/JHEP06(2020)151)
35. 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. Šicho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský)
 Observation of the associated production of a top quark and a ZZ boson in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV with the ATLAS detector
Journal of High Energy Physics **07** (2020) 124(1)-124(46).
[doi.org/10.1007/JHEP07\(2020\)124](https://doi.org/10.1007/JHEP07(2020)124)
36. 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. Šicho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský)
 Test of CP invariance in vector-boson fusion production of the Higgs boson in the $H \rightarrow \tau\tau$ channel in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV with the ATLAS detector
Physics Letters B **805** (2020) 135426(1)-135426(44).
doi.org/10.1016/j.physletb.2020.135426
37. 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. Šicho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský)
 Search for the $HH \rightarrow b\bar{b}b\bar{b}$ process via vector-boson fusion production using proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV with the ATLAS detector
Journal of High Energy Physics **07** (2020) 108(1)-108(37).
[doi.org/10.1007/JHEP07\(2020\)108](https://doi.org/10.1007/JHEP07(2020)108)
38. 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. Šicho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský)
 Measurement of soft-drop jet observables in pp collisions with the ATLAS detector at $\sqrt{s} = 13$ TeV
Physical Review D **101** (2020) 052007(1)-052007(53).
doi.org/10.1103/PhysRevD.101.052007
39. 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. Šicho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský)
 Measurement of isolated-photon plus two-jet production in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV with the ATLAS detector
Journal of High Energy Physics **03** (2020) 179(1)-179(49).
[doi.org/10.1007/JHEP03\(2020\)179](https://doi.org/10.1007/JHEP03(2020)179)
40. 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. Šicho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský)
 Search for chargino-neutralino production with mass splittings near the electroweak scale in three-lepton final states in $\sqrt{s} = 13$ TeV pp



- collisions with the ATLAS detector
Physical Review D **101** (2020) 072001(1)-072001(32).
doi.org/10.1103/PhysRevD.101.072001
41. 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. Šicho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský) Measurement of the transverse momentum distribution of Drell–Yan lepton pairs in proton–proton collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV with the ATLAS detector
European Physical Journal C – Particles and Fields **80** (2020) 616(1)-616(28).
doi.org/10.1140/epjc/s10052-020-8001-z
 42. 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. Šicho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský) Searches for electroweak production of supersymmetric particles with compressed mass spectra in $\sqrt{s} = 13$ TeV pp collisions with the ATLAS detector
Physical Review D **101** (2020) 052005(1)-052005(46).
doi.org/10.1103/PhysRevD.101.052005
 43. 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. Šicho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský) Search for long-lived neutral particles produced in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV decaying into displaced hadronic jets in the ATLAS inner detector and muon spectrometer
Physical Review D **101** (2020) 052013(1)-052013(43).
doi.org/10.1103/PhysRevD.101.052013
 44. 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. Šicho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský) Search for direct stau production in events with two hadronic aut-leptons in $\sqrt{s} = 13$ TeV pp collisions with the ATLAS detector
Physical Review D **101** (2020) 032009(1)-032009(30).
doi.org/10.1103/PhysRevD.101.032009
 45. 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. Šicho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský) Measurement of the $Z(\rightarrow \ell^+ \ell^-) \gamma$ production cross-section in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV with the ATLAS detector
Journal of High Energy Physics **03** (2020) 054(1)-054(52).
[doi.org/10.1007/JHEP03\(2020\)054](https://doi.org/10.1007/JHEP03(2020)054)
 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. Šicho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský) ATLAS data quality operations and performance for 2015–2018 data-taking
Journal of Instrumentation **15** (2020) P04003(1)-P04003(43).
doi.org/10.1088/1748-0221/15/04/P04003
 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. Šicho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský) Measurement of differential cross sections for single diffractive dissociation in $\sqrt{s} = 8$ TeV pp collisions using the ATLAS ALFA spectrometer
Journal of High Energy Physics **02** (2020) 042(1)-042(37).
[doi.org/10.1007/JHEP02\(2020\)042](https://doi.org/10.1007/JHEP02(2020)042)
 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. Šicho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský) Transverse momentum and process dependent azimuthal anisotropies in $\sqrt{s_{NN}} = 8.16$ TeV p+Pb collisions with the ATLAS detector
European Physical Journal C – Particles and Fields **80** (2020) 73(1)-73(31).
doi.org/10.1140/epjc/s10052-020-7624-4
 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. Šicho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský) Z boson production in Pb+Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV measured by the ATLAS experiment
Physics Letters B **802** (2020) 135262(1)-

- 135262(23).
doi.org/10.1016/j.physletb.2020.135262
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. Šicho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský) Evidence for electroweak production of two jets in association with a $Z\gamma$ pair in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV with the ATLAS detector *Physics Letters B* **803** (2020) 135341(1)-135341(39).
doi.org/10.1016/j.physletb.2020.135341
 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. Šicho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský) Measurement of the $t\bar{t}$ production cross-section and lepton differential distributions in $e\mu$ dilepton events from pp collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV with the ATLAS detector *European Physical Journal C – Particles and Fields* **80** (2020) 528(1)-528(70).
doi.org/10.1140/epjc/s10052-020-7907-9
 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. Šicho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský) Search for new resonances in mass distributions of jet pairs using 139 fb⁻¹ of pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV with the ATLAS detector *Journal of High Energy Physics* **03** (2020) 145(1)-145(39).
[doi.org/10.1007/JHEP03\(2020\)145](https://doi.org/10.1007/JHEP03(2020)145)
 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. Šicho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský) Search for direct production of electroweakinos in final states with one lepton, missing transverse momentum and a Higgs boson decaying into two $b\bar{b}$ -jets in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV with the ATLAS detector *European Physical Journal C – Particles and Fields* **80** (2020) 691(1)-691(29).
doi.org/10.1140/epjc/s10052-020-8050-3
 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. Šicho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský) Search for the Higgs boson decays $H \rightarrow ee$ and $H \rightarrow e\mu$ in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV with the ATLAS detector *Physics Letters B* **801** (2020) 135148(1)-135148(19).
doi.org/10.1016/j.physletb.2019.135148
 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. Šicho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský) Search for squarks and gluinos in final states with same-sign leptons and jets using 139 fb⁻¹ of data collected with the ATLAS detector *Journal of High Energy Physics* **06** (2020) 046(1)-046(42).
[doi.org/10.1007/JHEP06\(2020\)046](https://doi.org/10.1007/JHEP06(2020)046)
 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. Šicho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský) Combined measurements of Higgs boson production and decay using up to 8080 fb⁻¹ of proton-proton collision data at $\sqrt{s} = 13$ TeV collected with the ATLAS experiment *Physical Review D* **101** (2020) 012002(1)-012002(48).
doi.org/10.1103/PhysRevD.101.012002
 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. Šicho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský) Measurement of azimuthal anisotropy of muons from charm and bottom hadrons in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV with the ATLAS detector *Physical Review Letters* **124** (2020) 082301(1)-082301(20).
doi.org/10.1103/PhysRevLett.124.082301
 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. Šicho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský) Search for light long-lived neutral particles produced in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV and decaying into collimated leptons or light hadrons with the ATLAS detector *European Physical Journal C – Particles and Fields*



- 80 (2020) 450(1)-450(29).
doi.org/10.1140/epjc/s10052-020-7997-4
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. Šicho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský) Performance of electron and photon triggers in ATLAS during LHC Run 2
European Physical Journal C – Particles and Fields 80 (2020) 47(1)-47(56).
doi.org/10.1140/epjc/s10052-019-7500-2
60. G. Aad *et al.* (ATLAS Collaboration, z FZÚ J. Chudoba, J. Hejbal, O. Hladík, P. Jacka, O. Kepka, J. Kroll, A. Kupčo, V. Latoňová, M. Lokajíček, R. Lysák, M. Marčíšovský, M. Mikeščíková, S. Němeček, O. Penc, P. Šicho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský) Evidence for $t\bar{t}\bar{t}$ production in the multilepton final state in proton–proton collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV with the ATLAS detector
European Physical Journal C – Particles and Fields 80 (2020) 1085(1)-1085(32).
doi.org/10.1140/epjc/s10052-020-08509-3
61. G. Aad *et al.* (ATLAS Collaboration, z FZÚ J. Chudoba, J. Hejbal, O. Hladík, P. Jacka, O. Kepka, J. Kroll, A. Kupčo, M. Lokajíček, R. Lysák, M. Marčíšovský, M. Mikeščíková, S. Němeček, O. Penc, P. Šicho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský) Search for new non-resonant phenomena in high-mass dilepton final states with the ATLAS detector
Journal of High Energy Physics 11 (2020) 005(1)-005(37).
[doi.org/10.1007/JHEP11\(2020\)005](https://doi.org/10.1007/JHEP11(2020)005)
62. G. Aad *et al.* (ATLAS Collaboration, z FZÚ J. Chudoba, J. Hejbal, O. Hladík, P. Jacka, O. Kepka, J. Kroll, A. Kupčo, M. Lokajíček, R. Lysák, M. Marčíšovský, M. Mikeščíková, S. Němeček, O. Penc, P. Šicho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský) Search for top squarks in events with a Higgs or ZZZ boson using 139 fb^{-1} of pp collision data at $\sqrt{s} = 13$ TeV with the ATLAS detector
European Physical Journal C – Particles and Fields 80 (2020) 1080(1)-1080(33).
doi.org/10.1140/epjc/s10052-020-08469-8
63. G. Aad *et al.* (ATLAS Collaboration, z FZÚ J. Chudoba, J. Hejbal, O. Hladík, P. Jacka, O. Kepka, J. Kroll, A. Kupčo, M. Lokajíček, R. Lysák, M. Marčíšovský, M. Mikeščíková, S. Němeček, O. Penc, P. Šicho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský) Search for Higgs boson decays into two new low-mass spin-0 particles in the 4bbb channel with the ATLAS detector using pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV
Physical Review D 102 (2020) 112006(1)-112006(40).
doi.org/10.1103/PhysRevD.102.112006
64. G. Aad *et al.* (ATLAS Collaboration, z FZÚ J. Chudoba, J. Hejbal, O. Hladík, P. Jacka, O. Kepka, J. Kroll, A. Kupčo, M. Lokajíček, R. Lysák, M. Marčíšovský, M. Mikeščíková, S. Němeček, O. Penc, P. Šicho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský) Performance of the upgraded PreProcessor of the ATLAS Level-1 Calorimeter Trigger
Journal of Instrumentation 15 (2020) P11016(1)-P11016(48).
doi.org/10.1088/1748-0221/15/11/P11016
65. G. Aad *et al.* (ATLAS Collaboration, z FZÚ J. Chudoba, J. Hejbal, O. Hladík, P. Jacka, O. Kepka, J. Kroll, A. Kupčo, M. Lokajíček, R. Lysák, M. Marčíšovský, M. Mikeščíková, S. Němeček, O. Penc, P. Šicho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský) Search for Higgs boson decays into a ZZZ boson and a light hadronically decaying resonance using 13 TeV pp collision data from the ATLAS detector
Physical Review Letters 125 (2020) 221802(1)-221802(22).
doi.org/10.1103/PhysRevLett.125.221802
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. Šicho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský) Measurement of the azimuthal anisotropy of charged-particle production in Xe+Xe collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.44$ TeV with the ATLAS detector
Physical Review C 101 (2020) 024906(1)-024906(35).
doi.org/10.1103/PhysRevC.101.024906
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. Šicho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský) Search for electroweak production of charginos and sleptons decaying into final states with two leptons and missing transverse momentum in $\sqrt{s} = 13$ TeV pp collisions using the ATLAS detector
European Physical Journal C – Particles and Fields 80 (2020) 123(1)-123(47).
doi.org/10.1140/epjc/s10052-019-7594-6

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. Šicho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský) Search for non-resonant Higgs boson pair production in the $b\bar{b}\nu\bar{\nu}$ final state with the ATLAS detector in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV *Physics Letters B* **801** (2020) 135145(1)-135145(22).
doi.org/10.1016/j.physletb.2019.135145
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. Šicho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský) Erratum: Measurement of angular and momentum distributions of charged particles within and around jets in Pb+Pb and pp collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV with the ATLAS detector *Physical Review D* **101** (2020) 059903(1)-059903(29).
doi.org/10.1103/PhysRevD.101.059903
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. Šicho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský) Search for displaced vertices of oppositely charged leptons from decays of long-lived particles in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV with the ATLAS detector *Physics Letters B* **801** (2020) 135114(1)-135114(21).
doi.org/10.1016/j.physletb.2019.135114
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. Šicho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský) Searches for lepton-flavour-violating decays of the Higgs boson in $\sqrt{s} = 13$ TeV pp collisions with the ATLAS detector *Physics Letters B* **800** (2020) 135069(1)-135069(39).
doi.org/10.1016/j.physletb.2019.135069
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. Šicho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský) Search for heavy neutral Higgs bosons produced in association with $b\bar{b}b$ -quarks and decaying into $b\bar{b}b$ -quarks at $\sqrt{s} = 13$ TeV with the ATLAS detector *Physical Review D* **102** (2020) 032004(1)-032004(47).
doi.org/10.1103/PhysRevD.102.032004
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. Šicho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský) Erratum: Search for diboson resonances in hadronic final states in 139 fb^{-1} of pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV with the ATLAS detector *Journal of High Energy Physics* **06** (2020) 042(1)-042(41).
[doi.org/10.1007/JHEP06\(2020\)042](https://doi.org/10.1007/JHEP06(2020)042)
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. Šicho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský) Measurement of long-range two-particle azimuthal correlations in Z-boson tagged pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ and 13 TeV *European Physical Journal C – Particles and Fields* **80** (2020) 64(1)-64(32).
doi.org/10.1140/epjc/s10052-020-7606-6
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. Šicho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský) Combination of searches for Higgs boson pairs in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV with the ATLAS detector *Physics Letters B* **800** (2020) 135103(1)-135103(23).
doi.org/10.1016/j.physletb.2019.135103
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. Šicho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský) Search for Magnetic Monopoles and Stable High-Electric-Charge Objects in 13 TeV Proton-Proton Collisions with the ATLAS Detector *Physical Review Letters* **124** (2020) 031802(1)-031802(20).
doi.org/10.1103/PhysRevLett.124.031802



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. Šicho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský) Fluctuations of anisotropic flow in Pb+Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV with the ATLAS detector
Journal of High Energy Physics **01** (2020) 051(1)-051(59).
[doi.org/10.1007/JHEP01\(2020\)051](https://doi.org/10.1007/JHEP01(2020)051)
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. Šicho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský) Measurements of top-quark pair spin correlations in the $e\mu$ channel at $\sqrt{s} = 13$ TeV using pp collisions in the ATLAS detector
European Physical Journal C – Particles and Fields **80** (2020) 754(1)-754(43).
doi.org/10.1140/epjc/s10052-020-8181-6
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. Šicho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský) Erratum: Measurement of differential cross sections and W^+/W^- cross-section ratios for WWW boson production in association with jets at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector
Journal of High Energy Physics **10** (2020) 048(1)-048(63).
[doi.org/10.1007/JHEP10\(2020\)048](https://doi.org/10.1007/JHEP10(2020)048)
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. Šicho, P. Staroba, M. Svatoš, M. Taševský) Erratum: Publisher's Note: Measurement of top quark pair differential cross-sections in the dilepton channel in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ and 8 TeV with ATLAS
Physical Review D **101** (2020) 119901(1)-119901(33).
doi.org/10.1103/PhysRevD.101.119901
81. V. M. Abazov *et al.* (D0 Collaboration, z FZÚ A. Kupčo, M. Lokajíček, Ch. Royon) Studies of X(3872) and $\psi(2S)$ production in $p\bar{p}$ collisions at 1.96 TeV
Physical Review D **102** (2020) 072005(1)-072005(14).
doi.org/10.1103/PhysRevD.102.072005
82. B. Abi *et al.* (DUNE Collaboration, z FZÚ: M. Lokajíček, J. Zálešák, J. Zuklín) Deep Underground Neutrino Experiment (DUNE), Far Detector Technical Design Report, Volume III DUNE Far Detector Technical Coordination
Journal of Instrumentation **15** (2020) T08009(1)-T08009(209).
doi.org/10.1088/1748-0221/15/08/T08009
83. B. Abi *et al.* (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
Journal of Instrumentation **15** (2020) T08008(1)-T08008(244).
doi.org/10.1088/1748-0221/15/08/T08008
84. B. Abi *et al.* (DUNE Collaboration, z FZÚ: M. Lokajíček, J. Zálešák, J. Zuklín) Deep Underground Neutrino Experiment (DUNE), Far Detector Technical Design Report, Volume IV Far Detector Single-phase Technology
Journal of Instrumentation **15** (2020) T08010(1)-T08010(673).
doi.org/10.1088/1748-0221/15/08/T08010
85. B. Abi *et al.* (DUNE Collaboration, z FZÚ: M. Lokajíček, J. Zálešák, J. Zuklín) Neutrino interaction classification with a convolutional neural network in the DUNE far detector
Physical Review D **102** (2020) 092003(1)-092003(20).
doi.org/10.1103/PhysRevD.102.092003
86. B. Abi *et al.* (DUNE Collaboration, z FZÚ: M. Lokajíček, J. Zálešák, J. Zuklín) First results on ProtoDUNE-SP liquid argon time projection chamber performance from a beam test at the CERN Neutrino Platform
Journal of Instrumentation **15** (2020) P12004(1)-P12004(104).
doi.org/10.1088/1748-0221/15/12/P12004
87. B. Abi *et al.* (DUNE Collaboration, z FZÚ: M. Lokajíček, J. Zálešák, J. Zuklín) Long-baseline neutrino oscillation physics potential of the DUNE experiment
European Physical Journal E **80** (2020) 978(1)-978(34).
doi.org/10.1140/epjc/s10052-020-08456-z
88. M. A. Acero *et al.* (NoVa Collaboration, z FZÚ: P. Filip, M. Lokajíček, J. Zálešák) Search for multimessenger signals in NOvA coincident with LIGO/Virgo detections
Physical Review D **101** (2020) 112006(1)-112006(11).
doi.org/10.1103/PhysRevD.101.112006

89. M. A. Acero *et al.* (NoVa Collaboration, z FZÚ: P. Filip, M. Lokajíček, J. Zálešák)
Adjusting Neutrino Interaction Models and Evaluating Uncertainties using NOvA Near Detector Data
European Physical Journal C – Particles and Fields **80** (2020) 1119(1)-1119(23).
doi.org/10.1140/epjc/s10052-020-08577-5
90. M. A. Acero *et al.* (NoVa Collaboration, z FZÚ: P. Filip, M. Lokajíček, J. Zálešák)
Supernova neutrino detection in NOvA
Journal of Cosmology and Astroparticle Physics **10** (2020) 014(1)-014(30).
doi.org/10.1088/1475-7516/2020/10/014
91. M. A. Acero *et al.* (NoVa Collaboration, z FZÚ: M. Lokajíček, J. Zálešák)
Measurement of neutrino-induced neutral-current coherent π^0 production in the NOvA near detector
Physical Review D **102** (2020) 012004(1)-012004(11).
doi.org/10.1103/PhysRevD.102.012004
92. S. Acharya *et al.* (ALICE Collaboration, z FZÚ J. A. Mareš, P. Závada)
Unveiling the strong interaction among hadrons at the LHC
Nature **588** (2020) 232–238.
doi.org/10.1038/s41586-020-3001-6
93. S. Acharya *et al.* (ALICE Collaboration, z FZÚ J. A. Mareš, P. Závada)
Measurement of isolated photon-hadron correlations in $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV pp and p-Pb collisions
Physical Review C **102** (2020) 044908(1)-044908(16).
doi.org/10.1103/PhysRevC.102.044908
94. 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
Physics Letters B **800** (2020) 135403(1)-135403(13).
doi.org/10.1016/j.physletb.2019.135043
95. S. Acharya *et al.* (ALICE Collaboration, z FZÚ J. A. Mareš, P. Závada)
Production of ω mesons in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV
European Physical Journal C – Particles and Fields **80** (2020) 1130(1)-1130(16).
doi.org/10.1140/epjc/s10052-020-08651-y
96. S. Acharya *et al.* (ALICE Collaboration, z FZÚ J. A. Mareš, P. Závada)
 J/ψ elliptic and triangular flow in Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV
Journal of High Energy Physics **10** (2020) 141(1)-141(28).
[doi.org/10.1007/JHEP10\(2020\)141](https://doi.org/10.1007/JHEP10(2020)141)
97. S. Acharya *et al.* (ALICE Collaboration, z FZÚ J. A. Mareš, P. Závada)
Elliptic and triangular flow of (anti)deuterons in Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV
Physical Review C **102** (2020) 055203(1)-055203(19).
doi.org/10.1103/PhysRevC.102.055203
98. S. Acharya *et al.* (ALICE Collaboration, z FZÚ J. A. Mareš, P. Závada)
Constraining the Chiral Magnetic Effect with charge-dependent azimuthal correlations in Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ and 5.02 TeV
Journal of High Energy Physics **09** (2020) 160(1)-160(29).
[doi.org/10.1007/JHEP09\(2020\)160](https://doi.org/10.1007/JHEP09(2020)160)
99. S. Acharya *et al.* (ALICE Collaboration, z FZÚ J. A. Mareš, P. Závada)
Dielectron production in proton-proton and proton-lead collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV
Physical Review C **102** (2020) 055204(1)-055204(21).
doi.org/10.1103/PhysRevC.102.055204
100. S. Acharya *et al.* (ALICE Collaboration, z FZÚ J. A. Mareš, P. Závada)
Z-boson production in p-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 8.16$ TeV and Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV
Journal of High Energy Physics **09** (2020) 076(1)-076(22).
[doi.org/10.1007/JHEP09\(2020\)076](https://doi.org/10.1007/JHEP09(2020)076)
101. S. Acharya *et al.* (ALICE Collaboration, z FZÚ J. A. Mareš, P. Závada)
Multiplicity dependence of J/ψ production at midrapidity in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV
Physics Letters B **810** (2020) 135758(1)-135758(14).
doi.org/10.1016/j.physletb.2020.135758
102. S. Acharya *et al.* (ALICE Collaboration, z FZÚ J. A. Mareš, P. Závada)
Measurement of the low-energy antideuteron inelastic cross section
Physical Review Letters **125** (2020) 162001(1)-162001(13).
doi.org/10.1103/PhysRevLett.125.162001
103. S. Acharya *et al.* (ALICE Collaboration, z FZÚ J. A. Mareš, P. Závada)
 J/ψ production as a function of charged-particle multiplicity in p-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 8.16$ TeV
Journal of High Energy Physics **09** (2020) 162(1)-162(29).
[doi.org/10.1007/JHEP09\(2020\)162](https://doi.org/10.1007/JHEP09(2020)162)



104. S. Acharya *et al.* (ALICE Collaboration, z FZÚ J. A. Mareš, P. Závada)
Search for a common baryon source in high-multiplicity pp collisions at the LHC
Physics Letters B **811** (2020) 135849(1)-135849(22).
doi.org/10.1016/j.physletb.2020.135849
105. S. Acharya *et al.* (ALICE Collaboration, z FZÚ J. A. Mareš, P. Závada)
Measurement of nuclear effects on $\psi(2S)$ production in p-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 8.16$ TeV
Journal of High Energy Physics **07** (2020) 237(1)-237(23).
[doi.org/10.1007/JHEP07\(2020\)237](https://doi.org/10.1007/JHEP07(2020)237)
106. S. Acharya *et al.* (ALICE Collaboration, z FZÚ J. A. Mareš, P. Závada)
(Anti-)deuteron production in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV
European Physical Journal C – Particles and Fields **80** (2020) 889(1)-889(17).
doi.org/10.1140/epjc/s10052-020-8256-4
107. S. Acharya *et al.* (ALICE Collaboration, z FZÚ J. A. Mareš, P. Závada)
Multiplicity dependence of π , K, and p production in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV
European Physical Journal C – Particles and Fields **80** (2020) 693(1)-693(20).
doi.org/10.1140/epjc/s10052-020-8125-1
108. S. Acharya *et al.* (ALICE Collaboration, z FZÚ J. A. Mareš, P. Závada)
Coherent photoproduction of ρ^0 vector mesons in ultra-peripheral Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV
Journal of High Energy Physics **06** (2020) 035(1)-035(24).
[doi.org/10.1007/JHEP06\(2020\)035](https://doi.org/10.1007/JHEP06(2020)035)
109. S. Acharya *et al.* (ALICE Collaboration, z FZÚ J. A. Mareš, P. Závada)
Higher harmonic non-linear flow modes of charged hadrons in Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV
Journal of High Energy Physics **05** (2020) 085(1)-085(1).
[doi.org/10.1007/JHEP05\(2020\)085](https://doi.org/10.1007/JHEP05(2020)085)
110. S. Acharya *et al.* (ALICE Collaboration, z FZÚ J. A. Mareš, P. Závada)
Non-linear flow modes of identified particles in Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV
Journal of High Energy Physics **06** (2020) 147(1)-147(45).
[doi.org/10.1007/JHEP06\(2020\)147](https://doi.org/10.1007/JHEP06(2020)147)
111. S. Acharya *et al.* (ALICE Collaboration, z FZÚ J. A. Mareš, P. Závada)
Investigation of the p - Σ^0 interaction via femtoscopy in pp collisions
Physics Letters B **805** (2020) 135419(1)-135419(21).
doi.org/10.1016/j.physletb.2020.135419
112. S. Acharya *et al.* (ALICE Collaboration, z FZÚ J. A. Mareš, P. Závada)
Centrality and transverse momentum dependence of inclusive J/ψ production at midrapidity in Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV
Physics Letters B **805** (2020) 135434(1)-135434(24).
doi.org/10.1016/j.physletb.2020.135434
113. S. Acharya *et al.* (ALICE Collaboration, z FZÚ J. A. Mareš, P. Závada)
Longitudinal and azimuthal evolution of two-particle transverse momentum correlations in Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV
Physics Letters B **804** (2020) 135375(1)-135375(20).
doi.org/10.1016/j.physletb.2020.135375
114. S. Acharya *et al.* (ALICE Collaboration, z FZÚ J. A. Mareš, P. Závada)
Evidence of rescattering effect in Pb-Pb collisions at the LHC through production of $K(892)^0$ and (1020) mesons
Physics Letters B **802** (2020) 135225(1)-135225(14).
doi.org/10.1016/j.physletb.2020.135225
115. S. Acharya *et al.* (ALICE Collaboration, z FZÚ J. A. Mareš, P. Závada)
Production of (anti-) ^3He and (anti-) ^3H in p-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV
Physical Review C **101** (2020) 044906(1)-044906(30).
doi.org/10.1103/PhysRevC.101.044906
116. S. Acharya *et al.* (ALICE Collaboration, z FZÚ J. A. Mareš, P. Závada)
Underlying Event properties in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV
Journal of High Energy Physics **04** (2020) 192(1)-192(30).
[doi.org/10.1007/JHEP04\(2020\)192](https://doi.org/10.1007/JHEP04(2020)192)
117. S. Acharya *et al.* (ALICE Collaboration, z FZÚ J. A. Mareš, P. Závada)
Measurement of electrons from heavy-flavour hadron decays as a function of multiplicity in p-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV
Journal of High Energy Physics **02** (2020) 077(1)-077(29).
[doi.org/10.1007/JHEP02\(2020\)077](https://doi.org/10.1007/JHEP02(2020)077)
118. S. Acharya *et al.* (ALICE Collaboration, z FZÚ J. A. Mareš, P. Závada)
Probing the effects of strong electromagnetic

- fields with charge-dependent directed flow in Pb-Pb collisions at the LHC
Physical Review Letters **125** (2020) 022301(1)-022301(13).
doi.org/10.1103/PhysRevLett.125.022301
119. S. Acharya *et al.* (ALICE Collaboration, z FZÚ J. A. Mareš, P. Závada)
 Y production in p-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 8.16$ TeV
Physics Letters B **806** (2020) 135486(1)-135486(15).
doi.org/10.1016/j.physletb.2020.135486
120. S. Acharya *et al.* (ALICE Collaboration, z FZÚ J. A. Mareš, P. Závada)
 Evidence of Spin-Orbital Angular Momentum Interactions in Relativistic Heavy-Ion Collisions
Physical Review Letters **125** (2020) 012301(1)-012301(12).
doi.org/10.1103/PhysRevLett.125.012301
121. S. Acharya *et al.* (ALICE Collaboration, z FZÚ J. A. Mareš, P. Závada)
 Jet-hadron correlations measured relative to the second order event plane in Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV
Physical Review C **101** (2020) 064901(1)-064901(19).
doi.org/10.1103/PhysRevC.101.064901
122. S. Acharya *et al.* (ALICE Collaboration, z FZÚ J. A. Mareš, P. Závada)
 Multiplicity dependence of $K^*(892)^0$ and (1020) production in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV
Physics Letters B **807** (2020) 135501(1)-135501(24).
doi.org/10.1016/j.physletb.2020.135501
123. S. Acharya *et al.* (ALICE Collaboration, z FZÚ J. A. Mareš, P. Závada)
 Azimuthal correlations of prompt D mesons with charged particles in pp and p-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV
European Physical Journal C – Particles and Fields **80** (2020) 979(1)-979(27).
doi.org/10.1140/epjc/s10052-020-8118-0
124. S. Acharya *et al.* (ALICE Collaboration, z FZÚ J. A. Mareš, P. Závada)
 Global baryon number conservation encoded in net-proton fluctuations measured in Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV
Physics Letters B **807** (2020) 135564(1)-135564(17).
doi.org/10.1016/j.physletb.2020.135564
125. S. Acharya *et al.* (ALICE Collaboration, z FZÚ J. A. Mareš, P. Závada)
 $K(892)^0$ and (1020) production at midrapidity in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV
Physical Review C **102** (2020) 024912(1)-024912(15).
doi.org/10.1103/PhysRevC.102.024912
126. S. Acharya *et al.* (ALICE Collaboration, z FZÚ J. A. Mareš, P. Závada)
 Measurement of electrons from semileptonic heavy-flavour hadron decays at midrapidity in pp and Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV
Physics Letters B **804** (2020) 135377(1)-135377(26).
doi.org/10.1016/j.physletb.2020.135377
127. S. Acharya *et al.* (ALICE Collaboration, z FZÚ J. A. Mareš, P. Závada)
 Measurement of the (anti-) ^3He elliptic flow in Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV
Physics Letters B **805** (2020) 135414(1)-135414(24).
doi.org/10.1016/j.physletb.2020.135414
128. S. Acharya *et al.* (ALICE Collaboration, z FZÚ J. A. Mareš, P. Závada)
 Production of charged pions, kaons, and (anti-) protons in Pb-Pb and inelastic pp collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV
Physical Review C **101** (2020) 044907(1)-044907(27).
doi.org/10.1103/PhysRevC.101.044907
129. S. Acharya *et al.* (ALICE Collaboration, z FZÚ J. A. Mareš, P. Závada)
 Measurements of inclusive jet spectra in pp and central Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV
Physical Review C **101** (2020) 034911(1)-034911(21).
doi.org/10.1103/PhysRevC.101.034911
130. S. Acharya *et al.* (ALICE Collaboration, z FZÚ J. A. Mareš, P. Závada)
 Studies of J/ψ production at forward rapidity in Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV
Journal of High Energy Physics **02** (2020) 041(1)-041(27).
[doi.org/10.1007/JHEP02\(2020\)041](https://doi.org/10.1007/JHEP02(2020)041)
131. S. Acharya *et al.* (ALICE Collaboration, z FZÚ J. A. Mareš, P. Závada)
 Global polarization of Λ $\bar{\Lambda}$ hyperons in Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ and 5.02 TeV
Physical Review C **101** (2020) 044611(1)-044611(14).
doi.org/10.1103/PhysRevC.101.044611
132. S. Acharya *et al.* (ALICE Collaboration, z FZÚ J. A. Mareš, P. Závada)
 Multiplicity dependence of (multi-)strange hadron production in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV
European Physical Journal C – Particles and Fields



- 80 (2020) 167(1)-167(26).
doi.org/10.1140/epjc/s10052-020-7673-8
133. S. Acharya *et al.* (ALICE Collaboration, z FZÚ J. A. Mareš, P. Závada)
 Scattering studies with low-energy kaon-proton femtoscopy in proton-proton collisions at the LHC
Physical Review Letters **124** (2020) 092301(1)-092301(16).
doi.org/10.1103/PhysRevLett.124.092301
134. S. Acharya *et al.* (ALICE Collaboration, z FZÚ J. A. Mareš, P. Závada)
 Exploration of jet substructure using iterative declustering in pp and Pb-Pb collisions at LHC energies
Physics Letters B **802** (2020) 135227(1)-135227(12).
doi.org/10.1016/j.physletb.2020.135227
135. S. Acharya *et al.* (ALICE Collaboration, z FZÚ J. A. Mareš, P. Závada)
 Measurement of strange baryon-antibaryon interactions with femtoscopic correlations
Physics Letters B **802** (2020) 135223(1)-135223(14).
doi.org/10.1016/j.physletb.2020.135223
136. U. Acharya *et al.* (PHENIX Collaboration, z FZÚ: V. Vrba,)
 Production of $b\bar{b}$ at forward rapidity in p + p collisions at $\sqrt{s} = 510$ GeV
Physical Review D **102** (2020) 092002(1)-092002(14).
doi.org/10.1103/PhysRevD.102.092002
137. U. Acharya *et al.* (PHENIX Collaboration, z FZÚ: V. Vrba, M. Tomášek)
 Production of π^0 and η mesons in U+U collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 192$ GeV
Physical Review C **102** (2020) 064905(1)-064905(13).
doi.org/10.1103/PhysRevC.102.064905
138. S. Alexander, L. Jenks, P. Jiroušek, J. Magueijo, T. Złótnik
 Gravity waves in parity-violating Copernican Universes
Physical Review D **102** (2020) 044039(1)-044039(13).
doi.org/10.1103/PhysRevD.102.044039
139. G. Antchev *et al.* (TOTEM Collaboration, z FZÚ: J. Kašpar, V. Kunderát, M. V. Lokajíček, J. Procházka)
 Elastic differential cross-section $d\sigma/dt$ at $\sqrt{s} = 2.76$ TeV and implications on the existence of a colourless C-odd three-gluon compound state
European Physical Journal C – Particles and Fields **80** (2020) 91:1–91:11.
doi.org/10.1140/epjc/s10052-020-7654-y
140. G. Antchev *et al.* (TOTEM Collaboration, z FZÚ: J. Kašpar, V. Kunderát, M. V. Lokajíček)
 Elastic differential cross-section $d\sigma/dt$ at $\sqrt{s} = 2.76$ TeV and implications on the existence of a colourless C-odd three-gluon compound state
European Physical Journal C – Particles and Fields **80** (2020) 91(1)-91(10).
doi.org/10.1140/epjc/s10052-020-7654-y
141. S. Antier, S. Agayeva, M. Almualla, S. Awiphan, A. Baransky, K. Barynova, S. Beradze, M. Blažek, M. Boër, O. Burkhonov, N. Christensen, A. Coleiro, D. Corre, M. W. Coughlin, H. Crisp, T. Dietrich, J. -G. Ducoin, P. -A. Duverne, G. Marchal-Duval, B. Gendre, P. Gokuldass, H. B. Eggenstein, L. Eymar, P. Hello, E. J. Howell, N. Ismailov, D. A. Kann, S. Karpov, A. Klotz, N. Kochiashvili, C. Lachaud, N. Leroy, W. L. Lin, W. X. Li, M. Mašek, J. Mo, R. Menard, D. Morris, K. Noysena, N. B. Orange, M. Prouza, R. Rattanamala, T. Sadibekova, D. Saint-Gelais, M. Serrau, A. Simon, C. Stachie, C. C. Thöne, Y. Tillayev, D. Turpin, A. de Ugarte Postigo, V. Vasylenko, Z. Vidadi, M. Was, X. F. Wang, J. J. Zhang, T. M. Zhang, X. H. Zhang
 GRANDMA observations of advanced LIGO's and advanced Virgo's third observational campaign
Monthly Notices of the Royal Astronomical Society **497** (2020) 5518–5539.
doi.org/10.1093/mnras/staa1846
142. J. M. Armaleo, D. López Nacir, Fe. R. Urban
 Pulsar timing array constraints on spin-2 ULDM
Journal of Cosmology and Astroparticle Physics **09** (2020) 031(1)-031(18).
doi.org/10.1088/1475-7516/2020/09/031
143. J. M. Armaleo, D. López Nacir, F. R. Urban
 Binary pulsars as probes for spin-2 ultralight dark matter
Journal of Cosmology and Astroparticle Physics **01** (2020) 053(1)-053(23).
doi.org/10.1088/1475-7516/2020/01/053
144. E. Aldo Arroyo, M. Kudrna
 Numerical solution for tachyon vacuum in the Schnabl gauge
Journal of High Energy Physics **02** (2020) 065(1)-065(31).
[doi.org/10.1007/JHEP02\(2020\)065](https://doi.org/10.1007/JHEP02(2020)065)
145. T. Azevedo, R. Lipinski Jusinskas, M. Lize
 Bosonic sectorized strings and the $(DF)^2$ theory
Journal of High Energy Physics **01** (2020) 082(1)-082(31).
[doi.org/10.1007/JHEP01\(2020\)082](https://doi.org/10.1007/JHEP01(2020)082)

146. E. Babichev, D. Gorbunov, **S. Ramazanov**, **L. Reverberi**
Gravitational reheating and superheavy Dark Matter creation after inflation with non-minimal coupling
Journal of Cosmology and Astroparticle Physics **09** (2020) 059(1)-059(26).
doi.org/10.1088/1475-7516/2020/09/059
147. E. Babichev, D. Gorbunov, **S. Ramazanov**
Gravitational misalignment mechanism of Dark Matter production
Journal of Cosmology and Astroparticle Physics **08** (2020) 047(1)-047(18).
doi.org/10.1088/1475-7516/2020/08/047
148. S. Bastami, A. V. Efremov, P. Schweitzer, O. V. Teryaev, **P. Závada**
Structure of the nucleon at leading and subleading twist in the covariant parton model
Physical Review D **103** (2020) 014024(1)-014024(20).
doi.org/10.1103/PhysRevD.103.014024
149. T. Bautista, H. Erbin, **M. Kudrna**
BRST cohomology of timelike Liouville theory
Journal of High Energy Physics **05** (2020) 029(1)-029(25).
[doi.org/10.1007/JHEP05\(2020\)029](https://doi.org/10.1007/JHEP05(2020)029)
150. E. Bellini, **I. Sawicki**, M. Zumalacárregui, hi_class: Background Evolution, Initial Conditions and Approximation Schemes
Journal of Cosmology and Astroparticle Physics **02** (2020) 008(1)-008(35).
doi.org/10.1088/1475-7516/2020/02/008
151. J. A. Barrio on behalf of The CTA Consortium (za JOURNAL OF COSMOLOGY AND ASTROPARTICLE PHYSICS: **J. Blazek**, **M. Bohacova**, **J. Chudoba**, **J. Ebr**, **P. Hamal**, **P. Janecek**, **J. Jurysek**, **D. Mandat**, **M. Palatka**, **M. Pech**, **M. Prouza**, **P. Schovaneck**, **P. Travnicek**, **M. Vrstil**, **J. Vicha**)
Status of the large size telescopes and medium size telescopes for the Cherenkov Telescope Array observatory
Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A, **952** (2020).
doi.org/10.1016/j.nima.2018.11.047
152. C. Alispach, J. Borkowski, F. R. Cadoux *et al.* (z FZÚ: **J. Juryšek**, **D. Mandát**, **M. Pech**)
Large scale characterization and calibration strategy of a SiPM-based camera for gamma-ray astronomy
Journal of Instrumentation **15** (2020) P11010(1)-P11010(31).
doi.org/10.1088/1748-0221/15/11/P11010
153. D. Boumediene *et al.* (CALICE Collaboration, z FZÚ: **J. Cvach**, **M. Janata**, **M. Kovalčuk**, **J. Kvasnička**, **I. Polák**, **J. Smolík**, **V. Vrba**, **J. Zálešák**, **J. Zuklín**)
Particle identification using Boosted Decision Trees in the Semi-Digital Hadronic Calorimeter prototype
Journal of Instrumentation **15** (2020) P10009(1)-P10009(17).
doi.org/10.1088/1748-0221/15/10/P10009
154. **L. Nožka**, A. Brandt, K. Černý *et al.* (z FZÚ: **D. Mandát**, **P. Schovánek**, **V. Urbášek**, **J. Zatloukal**)
Performance studies of new optics for the time-of-flight detector of the AFP project
Optics Express **28** (2020) 19783–19796.
doi.org/10.1364/OE.394582
155. F. Camilloni, G. Grignani, T. Harmark, **R. Oliveri**, M. Orselli
Moving away from the Near-Horizon Attractor of the Extreme Kerr Force-Free Magnetosphere
Journal of Cosmology and Astroparticle Physics **10** (2020) 048(1)-048(33).
doi.org/10.1088/1475-7516/2020/10/048
156. G. Compère, **R. Oliveri**, A. Seraj
The Poincaré and BMS flux-balance laws with application to binary systems
Journal of High Energy Physics **10** (2020) 116(1)-116(32).
[doi.org/10.1007/JHEP10\(2020\)116](https://doi.org/10.1007/JHEP10(2020)116)
157. J. Dreyling-Eschweiler *et al.* (z FZÚ: **J. Kroll**, **J. Kvasnička**)
EUDAQ – a data acquisition software framework for common beam telescopes
Journal of Instrumentation **15** (2020) (2020) P01038(1)-P01038(30).
doi.org/10.1088/1748-0221/15/01/P01038
158. G. Elor, **K. Farnsworth**, M. L. Graesser, G. Herczeg
The Newman-Penrose Map and the Classical Double Copy
Journal of High Energy Physics **12** (2020) 121(1)-121(39).
[doi.org/10.1007/JHEP12\(2020\)121](https://doi.org/10.1007/JHEP12(2020)121)
159. H. Erbin, **C. Maccaferri**, **M. Schnabl**, **J. Vošmera**
Classical algebraic structures in string theory effective actions
Journal of High Energy Physics **11** (2020) 123(1)-123(85).
[doi.org/10.1007/JHEP11\(2020\)123](https://doi.org/10.1007/JHEP11(2020)123)
160. **T. Erler**, **T. Masuda**, **M. Schnabl**
Rolling near the tachyon vacuum
Journal of High Energy Physics **04** (2020) 104(1)-



- 104(43).
[doi.org/10.1007/JHEP04\(2020\)104](https://doi.org/10.1007/JHEP04(2020)104)
161. M. Malacari, J. Farmer, T. Fujii *et al.* (z FZÚ: **D. Mandát, P. Trávníček**)
 The first full-scale prototypes of the fluorescence detector array of single-pixel telescopes
Astroparticle Physics **119** (2020) 102430(1)-102430(16).
doi.org/10.1016/j.astropartphys.2020.102430
162. A. Gorce, S. Ilic, M. Douspis, M. Langer
 Improved constraints on reionisation from CMB observations: A parameterisation of the kSZ effect
Astronomy and Astrophysics **640** (2020) A90(1)-A90(14).
doi.org/10.1051/0004-6361/202038170
163. K. Hara *et al.* (z FZÚ: **J. Kroll, V. Latonova, M. Mikestikova, I. Zatocilova**)
 Charge collection study with the ATLAS ITk prototype silicon strip sensors ATLAS17LS
Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A **983** (2020) 164422(1)-164422(6).
doi.org/10.1016/j.nima.2020.164422
164. L. A. Harland-Lang, **M. Taševský**, V. A. Khoze, M. G. Ryskin
 A new approach to modelling elastic and inelastic photon-initiated production at the LHC: SuperChic 4
European Physical Journal C – Particles and Fields **80** (2020) 925(1)-925(19).
doi.org/10.1140/epjc/s10052-020-08455-0
165. **O. Hulík, J. Raeymaekers, O. Vasilakis**
 Information recovery from pure state geometries in 3D
Journal of High Energy Physics **06** (2020) 119(1)-119(48).
[doi.org/10.1007/JHEP06\(2020\)119](https://doi.org/10.1007/JHEP06(2020)119)
166. H. Y. Park, S. Karpov, A. Nomerotski, D. Tsybychev (z FZÚ: S. Karpov)
 Tree rings in Large Synoptic Survey Telescope production sensors: its dependence on radius, wavelength, and back bias voltage
Journal of Astronomical Telescopes, Instruments, and Systems **6** (2020) 1–5.
doi.org/10.1117/1.JATIS.6.1.011005
167. J. Kašpar *et al.*
 Reducing Beam-Related Background on Forward Physics Detectors Using Crystal Collimation at the Large Hadron Collider
Physical Review Applied **14** (2020) 064066(1)-064066(20).
doi.org/10.1103/PhysRevApplied.14.064066
168. **O. Kepka et al.**
 Measurements of Single Event Upset in ATLAS IBL
Journal of Instrumentation **15** (2020) P06023(1)-P06023(30).
doi.org/10.1088/1748-0221/15/06/P06023
169. U. B. Rao Khandavilli, L. Keshavarz, **E. Skořepová**, R. R. E. Steendam, P. J. Frawley
 Organic Salts of Pharmaceutical Impurity p-Aminophenol
Molecules **25** (2020) 1910(1)-1910(10).
doi.org/10.3390/molecules25081910
170. **J. Kroll, J. Kvasnička et al.**
 EUDAQ-a data acquisition software framework for common beam telescopes
Journal of Instrumentation **15** (2020) P01038(1)-P01038(30).
doi.org/10.1088/1748-0221/15/01/P01038
171. J. Magueijo, **T. Zlosnik**, S. Speziale
 Quantum cosmology of a dynamical Lambda
Physical Review D **102** (2020) 064006(1)-064006(14).
doi.org/10.1103/PhysRevD.102.064006
172. L. Chytka, **D. Mandát, P. Hamal, S. Michal, L. Nožka, M. Palatka, M. Pech, P. Schovánek, P. Trávníček et al.** on behalf of the FAST collaboration
 An automated all-sky atmospheric monitoring camera for a next-generation ultrahigh-energy cosmic-ray observatory
Journal of Instrumentation **15** (2020) T10009(1)-T10009(18).
doi.org/10.1088/1748-0221/15/10/T10009
173. **M. Mikestikova et al.** (z FZÚ: **J. Kroll, Z. Kotek, J. Kvasnicka, V. Latonova, M. Marcisovsky, J. Stastny, V. Zahradnik, I. Zatocilova**)
 Electrical characterization of surface properties of the ATLAS17LS sensors after neutron, proton and gamma irradiation
Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A **983** (2020) 164456(1)-164456(7).
doi.org/10.1016/j.nima.2020.164456
174. **R. Oliveri, S. Speziale**
 A note on dual gravitational charges
Journal of High Energy Physics **12** (2020) 079(1)-079(18).
[doi.org/10.1007/JHEP12\(2020\)079](https://doi.org/10.1007/JHEP12(2020)079)
175. **R. Oliveri, S. Speziale**
 Boundary effects in General Relativity with tetrad variables
General Relativity and Gravitation **52** (2020) 83(1)-83(47).
doi.org/10.1007/s10714-020-02733-8

176. L. Perenon, S. Ilíc, R. Maartens, A. de la Cruz-Dombriz
Improvements in cosmological constraints from breaking growth degeneracy
Astronomy and Astrophysics **642** (2020) A116(1)-A116(8).
doi.org/10.1051/0004-6361/202038409
177. R. Petrucci, E. Jofré, Y. Gómez Maqueo Chew, T. Hinse, **M. Mašek**, T. Tan, M. Gómez
Discarding orbital decay in WASP-19b after one decade of transit observations
Monthly Notices of the Royal Astronomical Society **491** (2020) 1243–1259.
doi.org/10.1093/mnras/stz3034
178. L. Poley *et al.* (z FZÚ: **J. Kroll**, **M. Mikestikova**)
The ABC130 barrel module prototyping programme for the ATLAS strip tracker
Journal of Instrumentation **15** (2020) P09004(1)-P09004(74).
doi.org/10.1088/1748-0221/15/09/P09004
179. **J. Procházka**, **V. Kunderát**
Properties of protons derived on the basis of elastic proton-proton collision data at 52.8 GeV and 8 TeV with the help of eikonal model
European Physical Journal C – Particles and Fields **80** (2020) 779(1)-779(21).
doi.org/10.1140/epjc/s10052-020-8344-7
180. F. Ruehr *et al.* (z FZÚ: **J. Kroll**, N. Rabhi, M. Rachac, V. Zahradnik)
Testbeam studies of barrel and end-cap modules for the ATLAS ITk strip detector before and after irradiation
Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A **979** (2020) 164430(1)-164430(6).
doi.org/10.1016/j.nima.2020.164430
181. Andreas Schüller, Sophie Heinrich, Charles Fouillade, Anna Subiel, Ludovic De Marzi, Francesco Romano, Peter Peier, Maria Trachsel, Celeste Fleta, Rafael Kranzer, Marco Caresana, Samuel Salvador, Simon Busold, Andreas Schonfeld, Malcolm McEwen, Faustino Gomez, Jaroslav Solc, Claude Bailat, Vladimir Linhart, Jan Jakubek, Jörg Pawelke, Marco Borghesi, Ralf-Peter Kapsch, Adrian Knyziak, Alberto Boso, Veronika Olsovcova, Christian Kottler, Daniela Poppinga, Iva Ambrozova, Claus-Stefan Schmitzer, Severine Rossomme, Marie-Catherine Vozenin
The European Joint Research Project UHDpulse – Metrology for advanced radiotherapy using particle beams with ultra-high pulse dose rates
Physica Medica **80** (2020) 134–150.
doi.org/10.1016/j.ejmp.2020.09.020
182. A. M. Sirunyan *et al.* (CMS and TOTEM Collaboration, z FZÚ: **J. Kašpar**, **V. Kunderát**, **M. V. Lokajíček**, **J. Procházka**)
Measurement of single-diffractive dijet production in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the CMS and TOTEM experiments
European Physical Journal C – Particles and Fields **80** (2020) 1164(1)-1164(42).
doi.org/10.1140/epjc/s10052-020-08562-y
183. **C. Unal**, A. Loeb
On Spin Dependence of the Fundamental Plane of Black Hole Activity
Monthly Notices of the Royal Astronomical Society **495** (2020) 278–284.
doi.org/10.1093/mnras/staa1119
184. Victor P. Gonçalves, Daniel E. Martins, Murilo S. Rangel, **M. Taševský**,
Top quark pair production in the exclusive processes at the LHC
Physical Review D **102** (2020) 074014(1)-074014(10).
doi.org/10.1103/PhysRevD.102.074014
185. M. Wolf, **M. Masek**, P. Zasche, H. Kucakova, K. Hornoch
DX Cygni: A triple system with mass transfer
New Astronomy **76** (2020) 101336(1)-101336(8).
doi.org/10.1016/j.newast.2019.101336
186. P. Zasche, Z. Henzl, H. Lehmann, J. Pepper, B. P. Powell, V. B. Kostov, T. Barclay, M. Wolf, H. Kučáková, R. Uhlař, **M. Mašek**, S. Palafouta, K. Gazeas, K. G. Stassun, B. S. Gaudi, J. E. Rodriguez, D. J. Stevens
CzeV1731: The unique doubly eclipsing quadruple system
Astronomy and Astrophysics **642** (2020) A63(1)-A63(5).
doi.org/10.1051/0004-6361/202038656
187. P. Zasche, R. Uhlař, P. Svoboda, P. Cagaš, **M. Mašek**
Light-time effect detected in fourteen eclipsing binaries
Astronomy and Astrophysics **643** (2020) A130(1)-A130(10).
doi.org/10.1051/0004-6361/202039243
188. P. Zasche, D. Vokrouhlický, M. Wolf, H. Kučáková, J. Kára, R. Uhlař, **M. Mašek**, Z. Henzl, P. Cagaš
Doubly eclipsing systems
Astronomy and Astrophysics **630** (2020) 1–14.
doi.org/10.1051/0004-6361/201936328
189. P. Závada, **K. Píška**
Statistical analysis of binary stars from the Gaia catalogue DR2



The Astronomical Journal **159** (2020) 33(1)-33(15).
doi.org/10.3847/1538-3881/ab5865

190. P. A. Zyla *et al.* (Particle Data Group, z FZÚ: **M. Taševský**)
 Electrical characterization of surface properties of the ATLAS17LS sensors after neutron, proton and gamma irradiation
Progress of Theoretical and Experimental Physics **8** (2020) 083C01(1)-083C01(2093).
doi.org/10.1093/ptep/ptaa104

Fyzika kondenzovaných látek a materiálový výzkum

1. M. Alikhani, M. Hakimi, K. Moeini, **V. Eigner & M. Dušek**
 Synthesis, Characterization and Thermal Studies of a Nanosized 1D lArginine/Copper(II) Coordination Polymer by Sonochemical Method: A New Precursor for Preparation of Copper(II) Oxide Nanoparticles
Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials **30** (2020) 2907–2915.
doi.org/10.1007/s10904-020-01442-8
2. M. Alikhani, M. Hakimi, K. Moeini, M. Mashreghi, **V. Eigner, M. Dušek**
 Spectral, structural, biological and molecular docking studies of a new mixed-valence V(IV)/V(V) ofloxacin complex
Journal of Molecular Structure **1216** (2020) 128300(1)-128300(12).
doi.org/10.1016/j.molstruc.2020.128300
3. A. Peter Amalathas, **L. Landová**, T. Huminiuc, L. Horak, B. Conrad, T. Polcar, **J. Holovský**
 Elucidating the role of TiCl₄ post-treatment on percolation of TiO₂ electron transport layer in perovskite solar cells
Journal of Physics D Applied Physics **53** (2020) Number 38.
doi.org/10.1088/1361-6463/ab938c
4. **A. V. Andreev, D. I. Gorbunov**, T. Nomura, A. A. Zvyagin, G. A. Zvyagina, S. Zherlitsyn
 High-field magnetoacoustics of a Dy₂Fe₁₄Si₃ single crystal
Journal of Alloys and Compounds **835** (2020) 155335(1)-155335(8).
doi.org/10.1016/j.jallcom.2020.155335
5. N. Antonatos, D. Bouša, E. Kovalska, D. Sedmidubský, K. Růžička, P. Vrbka, M. Veselý, **J. Hejtmánek**, Z. Sofer
 Large-Scale Production of Nanocrystalline Black Phosphorus Ceramics
ACS Applied Materials and Interfaces **12** (2020) 7381–7391.
doi.org/10.1021/acsami.9b13362
6. Z. Asadi, L. Zarei, M. Golchin, E. **Skořepová**, **V. Eigner**, Z. Amirghofran
 A novel Cu(II) distorted cubane complex containing Cu₄O₄ core as the first tetranuclear catalyst for temperature dependent oxidation of 3,5-di-tert-butyl catechol and in interaction with DNA & protein (BSA)
Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy **227** (2020) 117593(1)-117593(15).
doi.org/10.1016/j.saa.2019.117593
7. D. Azamat, A. Badalyan, N. Romanov, **M. Savinov, M. Hrabovsky, L. Jastrabik, A. Dejneka**, D. Yakovlev, M. Bayer
 Spin echo studies on Fe³⁺ ions in GaN: Spin-phonon relaxation and ligand hyperfine interactions
Applied Physics Letters **117** (2020) 032106(1)-032106(6).
doi.org/10.1063/5.0007477
8. **V. Babin, V. V. Laguta, M. Nikl, J. Pejchal**, A. Yoshikawa, S. Zazubovich
 On the luminescence origin in Y₂SiO₅:Ce and Lu₂SiO₅:Ce single crystals
Optical Materials **103** (2020) 109832(1)-109832(10).
doi.org/10.1016/j.optmat.2020.109832
9. P. Baláž, M. Baláž, E. Dutková, M. Hegedus, M. Rajňák, **K. Knížek, J. Hejtmánek**, J. Navrátil, M. Achimovičová and J. Briančin
 Magnetization as an Effective Tool for Kinetics Evaluation in Mechanochemical Synthesis of Chalcopyrite CuFeS₂
Acta Physica Polonica A **137** (2020) 647–649.
doi.org/10.12693/APhysPolA.137.647
10. P. Baláž, E. Dutková, **P. Levinský**, N. Daneu, **L. Kubičková, K. Knížek**, M. Baláž, J. Navrátil, J. Kašparová, V. Ksenofontov, A. Möller, **J. Hejtmánek**
 Enhanced thermoelectric performance of chalcopyrite nanocomposite via co-milling of synthetic and natural minerals
Materials Letters **275** (2020) 128107(1)-128107(4).
doi.org/10.1016/j.matlet.2020.128107
11. B. El Bali, M. Lachkar, A. Direm, **M. Dušek**, M. Amores
 Crystal structure, physical study and Hirshfeld surface analysis of (C₉H₂₆N₄) [SnCl₆]Cl₂·2H₂O
Inorganic Chemistry Communications **118** (2020) 107981(1)-107981(13).
doi.org/10.1016/j.inoche.2020.107981

12. K. Bartha, A. Veverková, J. Stráský, J. Veselý, P. Minárik, C. A. Correa, V. Polyakova, I. Semenova & M. Janeček
Effect of the severe plastic deformation by ECAP on microstructure and phase transformations in Ti-15Mo alloy
Materials Today Communications **22** (2020) 100811(1)-100811(10).
doi.org/10.1016/j.mtcomm.2019.100811
13. P. Bazyari, M. Tabatabaee, N. Nasirizadeh, **M. Dušek & V. Eigner**
Crystal and Molecular Structures of Mononuclear Coordinated Copper (I) Complexes with Thio-triazole and Thio-triazine based Schiff base Ligands
Zeitschrift für anorganische und allgemeine Chemie **646** (2020) 1444–1448.
doi.org/10.1002/zaac.202000191
14. N. M. Belozeroва, S. E. Kichanov, D. P. Kozlenko, **O. Kaman, Z. Jiráček**, E. V. Lukin, B. N. Savenko
Neutron diffraction study of the crystal and magnetic structures of nanostructured $\text{Zn}_{0.34}\text{Fe}_{2.53}\text{O}_4$ ferrite
Journal of Nanoparticle Research **22** (2020) 121(1)-121(9).
doi.org/10.1007/s11051-020-04852-4
15. **J. Berger, M. Ondráček, O. Stetsovych**, P. Malý, P. Holý, J. Rybáček, **M. Švec**, I. G. Stará, T. Mančal, I. Starý, **P. Jelínek**
Quantum dissipation driven by electron transfer within a single molecule investigated with atomic force microscopy
Nature Communications **11** (2020) 1337-1-1337-10.
doi.org/10.1038/s41467-020-15054-w
16. **I. Bieloshapka, P. Jiricek**, Y. Yakovlev, **K. Hruska**, E. Tomsik, **J. Houdkova**, A. Malolepszy, M. Mazurkiewicz, Y. Lobko, B. Lesiak
Thermal and chemical activation methods applied to DFAFC anodes prepared by magnetron sputtering
International Journal of Hydrogen Energy **45** (2020) 14133–14144.
doi.org/10.1016/j.apsusc.2020.148250
17. K. Biswas, J. I. Urgel, A. Sánchez-Grande, Sh. Edalatmanesh, J. Santos, B. Cirera, **P. Mutombo**, K. Lauwaet, R. Miranda, **P. Jelínek**, N. Martín, D. Écija
On-surface synthesis of doubly-linked one-dimensional pentacene ladder polymers
Chemical Communications **56** (2020) 15309–15312.
doi.org/10.1039/D0CC06865A
18. N. Blumenschein, **C. Kadlec, O. Romanyuk**, T. Paskova, J. F. Muth, **F. Kadlec**
Dielectric and conducting properties of unintentionally and Sn-doped $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ studied by terahertz spectroscopy
Journal of Applied Physics **127** (2020) 165702(1)-165702(8).
doi.org/10.1063/1.5143735
19. A. Bobrovsky, K. Mochalov, D. Solovyeva, V. P. Shibaev, **M. Cigl, V. Hamplová, A. Bubnov**
Laser-induced formation “craters” and “hills” in the azobenzene-containing polymethacrylate films
Soft Matter **16** (2020) 5398–5405.
doi.org/10.1039/d0sm00601g
20. A. Bobrovsky, V. Shibaev, **M. Cigl, V. Hamplová**, P. V. Dorovatovskii, B. Ostrovskii, **A. Bubnov**
The effect of spacer and alkyl tail lengths on the photoorientation processes in amorphousized films of azobenzene-containing liquid crystalline polymethacrylates
Liquid Crystals **47** (2020) 377–383.
doi.org/10.1080/02678292.2019.1655171
21. A. Bobrovsky, S. Svyakhovskiy, A. Bogdanov, V. Shibaev, **M. Cigl, V. Hamplová, A. Bubnov**
Photocontrollable photonic crystals based on porous silicon filled with photochromic liquid crystalline mixture
Advanced Optical Materials **22** (2020) 2001267(1)-2001267(7).
doi.org/10.1002/adom.202001267
22. L. Bodnárová, M. Zelený, P. Sedlák, **L. Straka, O. Heczko**, A. Sozinov and H. Seiner
Switching the soft shearing mode orientation in Ni–Mn–Ga non-modulated martensite by Co and Cu doping
Smart Materials and Structures **29** (2020) 045022(1)-045022(10).
doi.org/10.1088/1361-665X/ab7542
23. J. Bould, W. Clegg, P. G. Waddell, J. Cvačka, **M. Dušek** and M. G. S. Londeborough
A Reversible NO-Triggered Multiple Metallaborane Cluster Fusion by Ligand Expulsion/Addition from $(\text{PMe}_2\text{Ph})_4\text{Pt}_2\text{B}_{10}\text{H}_{10}$ to Afford $(\text{PMe}_2\text{Ph})_8\text{Pt}_8\text{B}_{40}\text{H}_{40}$ and $(\text{PMe}_2\text{Ph})_5\text{Pt}_4\text{B}_{20}\text{H}_{20}$
Inorganic Chemistry **59** (2020) 5030–5040.
doi.org/10.1021/acs.inorgchem.0c00247
24. **P. Brázda, L. Palatinus**
Electron Diffraction as a Tool for Hydrogen Atom Localization and Absolute Structure Determination of Nanocrystals Containing Organic Molecules
Microscopy and Microanalysis **26** (2020) 740–



742.
doi.org/10.1017/S143192762001569X
25. J. Brus, J. Czernek, M. Urbanová, **J. Rohlíček** & T. Plecháček
 Transferring Lithium Ions in the Nanochannels of Flexible Metal–Organic Frameworks Featuring Superchaotropic Metallacarborane Guests: Mechanism of Ionic Conductivity at Atomic Resolution
ACS Applied Materials and Interfaces **12** (2020) 47447–47456.
doi.org/10.1021/acsami.0c12293
 26. A. Bubnov, A. Bobrovsky, I. Rychetský, **L. Fekete**, **V. Hamplová**
 Self-assembling behavior of smart nanocomposite system: ferroelectric liquid crystal confined by stretched porous polyethylene film
Nanomaterials **10** (2020) 1498(1)–1498(16).
doi.org/10.3390/nano10081498
 27. A. Bubnov, M. Cifelli, **M. Cigl**, P. Fouquet, **V. Hamplová**, V. Domenici
 Mesomorphic, structural, electro-optic and dynamic properties of lactic acid derivative and its selectively deuterated isotopomers by means of electro-optics, SAXS, 2H-NMR and neutron spin-echo spectroscopy
Liquid Crystals **47** (2020) 1999–2015.
doi.org/10.1080/02678292.2019.1641232
 28. A. Bubnov, **M. Cigl**, N. Sedláčková, D. Pocięcha, **Z. Böhmová**, **V. Hamplová**
 Self-assembling behaviour of new functional photosensitive cinnamoyl-based reactive mesogens
Liquid Crystals **47** (2020) 0001x–0014x.
doi.org/10.1080/02678292.2020.1783586
 29. **M. Buryi**, **V. Babin**, Y.-Y. Chang, **Z. Remeš**, J. Mičová, **D. Šimek**
 Influence of precursor age on defect states in ZnO nanorods
Applied Surface Science **525** (2020) 146448(1)–146448(8).
doi.org/10.1016/j.apsusc.2020.146448
 30. **M. Buryi**, **L. Havlák**, **V. Jarý**, **J. Bárta**, **V. Laguta**, **A. Beitlerová**, J. Li, X. Chen, Y. Yuan, Q. Liu, Y. Pan, **M. Nikl**
 Specific absorption in $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}:\text{Eu}$ ceramics and the role of stable Eu^{2+} in energy transfer processes
Journal of Materials Chemistry C **8** (2020) 8823–8839.
doi.org/10.1039/D0TC01957G
 31. **M. Buryi**, **V. Laguta**, **V. Babin**, O. Laguta, M. G. Brik, **M. Nikl**
 Rare-earth ions incorporation into $\text{Lu}_2\text{Si}_2\text{O}_7$ scintillator crystals: Electron paramagnetic resonance and luminescence study
Optical Materials **106** (2020) 109930(1)–109930(1).
doi.org/10.1016/j.optmat.2020.109930
 32. **M. Buryi**, **V. Laguta**, S. Nagorny, M. Fasoli, F. Cova, A. Vedda, M. B. Kosmyna, S. Pirro, A. N. Shekhovtsov
 Luminescence and charge trapping features of archPbMoO_4 lead molybdate crystals grown from archaeological lead
Journal of Luminescence **224** (2020) 117305(1)–117305(9).
doi.org/10.1016/j.jlumin.2020.117305
 33. D. Bůžek, S. Ondrušová, J. Hynek, P. Kovář, K. Lang, **J. Rohlíček**, J. Demel
 Robust Aluminum and Iron Phosphinate Metal–Organic Frameworks for Efficient Removal of Bisphenol A
Inorganic Chemistry **59** (2020) 5538–5545.
doi.org/10.1021/acs.inorgchem.0c00201
 34. J. Cajzl, P. Nekvindová, K. Jeníčková, A. Jagerová, P. Malinský, **Z. Remeš**, **N. Neykova**, Y. Y. Chang, **J. Oswald**, U. Kentsch, A. Macková
 Erbium-ion implantation of single- and nano-crystalline ZnO
Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B **464** (2020) 65–73.
doi.org/10.1016/j.nimb.2019.11.039
 35. L. Cañadillas-Delgado, L. Mazzuca, O. Fabelo, J. Rodríguez-Carvajal, **V. Petříček**
 Experimental Evidence of the Coexistence of Proper Magnetic and Structural Incommensurability on the $[\text{CH}_3\text{NH}_3][\text{Ni}(\text{COOH})_3]$ Compound
Inorganic Chemistry **59** (2020) 17896–17905.
doi.org/https://dx.doi.org/10.1021/acs.inorgchem.0c01722
 36. Christophe Candolfi, **Martin Míšek**, Patrick Gougeon, Rabih Al Rahal Al Orabi, Philippe Gall, Régis Gautier, Sylvie Migot, Jaafar Ghanbaja, **Jiří Kaštil**, **Petr Levinský**, **Jiří Hejtmánek**, Anne Dauscher, Bernard Malaman and Bertrand Lenoir
 Coexistence of a charge density wave and superconductivity in the cluster compound $\text{K}_2\text{Mo}_{15}\text{Se}_{19}$
Physical Review B **101** (2020) 134521(1)–134521(11).
doi.org/10.1103/PhysRevB.101.134521
 37. Yili Cao, Kun Lin, Zhanning Liu, Jinyu Hu, Chin-Wei Wang, Xinzhi Liu, Evgenia Tereshina-Chitrova, Kenichi Kato, Qiang Li, Jinxia Deng,

- Jun Chen, Hongjie Zhang, and Xianran Xing
Manipulating Spin Alignments of (Y,Lu)_{1.7}Fe₁₇
Intermetallic Compounds via Unusual Thermal
Pressure
Inorganic Chemistry **59** (2020) 5247–5251.
doi.org/10.1021/acs.inorgchem.9b03570
38. Yili Cao, Kun Lin, Zhanning Liu, Jinyu Hu, Chin-Wei Wang, Evgenia Tereshina-Chitrova, Kenichi Kato, Qiang Li, Jinxia Deng, Jun Chen, Hongjie Zhang, Xianran Xing
Role of “Dumbbell” Pairs of Fe in Spin Alignments and Negative Thermal Expansion of Lu₂Fe₁₇-Based Intermetallic Compounds
Inorganic Chemistry **59** (2020) 11228–11232.
doi.org/10.1021/acs.inorgchem.0c01590
39. J. Čapek, J. Kubásek, J. Pinc, J. Drahekoupil, M. Čavojský, D. Vojtěch
Extrusion of the biodegradable ZnMg_{0.8}Ca_{0.2} alloy – The influence of extrusion parameters on microstructure and mechanical characteristics
Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials **108** (2020) 103796(1)-103796(16).
doi.org/10.1016/j.jmbbm.2020.103796
40. J. Čapek, J. Kubásek, J. Pinc, J. Maňák, O. Molnárová, J. Drahekoupil, M. Čavojský
ZnMg_{0.8}Ca_{0.2} (wt%) biodegradable alloy – The influence of thermal treatment and extrusion on microstructural and mechanical characteristics
Materials Characterization **162** (2020) 110230(1)-110230(17).
doi.org/10.1016/j.matchar.2020.110230
41. K. Carva, P. Baláž, J. Šebesta, I. Turek, J. Kudrnovský, F. Máca, V. Drchal, J. Chico, V. Sechovský, and J. Honolka
Magnetic properties of Mn-doped Bi₂Se₃ topological insulators: Ab initio calculations
Physical Review B **101** (2020) 054428(1)-054428(12).
doi.org/10.1103/PhysRevB.101.054428
42. P. Ceroni, Y. Chao, C. Crucho, L. De Cola, A. Fucikova, A. Goyal, J. Joo, A. R. Kamali, K. Kůsová, L. Osminkina, S. Silvestrini, H. Stephan, W. Sun and M. L. Tang
Synthesis and functionalisation of silicon nanostructures: general discussion
Faraday Discussions **222** (2020) 166–175.
doi.org/10.1039/D0FD90004D
43. Alexis Chacón, Dasol Kim, Wei Zhu, Shane P. Kelly, Alexandre Dauphin, Emilio Pisanty, Andrew S. Maxwell, Antonio Picón, Marcelo F. Ciappina, Dong Eon Kim, Christopher Ticknor, Avadh Saxena, and Maciej Lewenstein
Circular dichroism in higher-order harmonic generation: Herdaling topological phases and transitions in Chern insulators
Physical Review B **102** (2020) 134115-(1)-134115-(20).
doi.org/10.1103/PhysRevB.102.134115
44. A. Chatziadi, E. Skořepová, J. Rohlíček, M. Dušek, L. Ridvan, M. Šoóš
Mechanochemically Induced Polymorphic Transformations of Sofosbuvir
Crystal Growth & Design **20** (2020) 139–147.
doi.org/10.1021/acs.cgd.9b00922
45. A. Chauvin, A. Sergievskaya, A. -A. El Mel, A. Fučíková, C. A. Corrêa, J. Veselý, E. Duverger-Nédellec, D. Cornil, J. Cornil, P.-Y. Tessier, M. Dopita & S. Konstantinidis
Co-sputtering of gold and copper onto liquids: a route towards the production of porous gold nanoparticles
Nanotechnology **31** (2020) 455303(1)-455303(13).
doi.org/10.1088/1361-6528/abaa75
46. S. Cheng, A. Beitlerova, R. Kucerkova, M. Nikl, G. Ren, Y. Wu
Zero-dimensional Cs₃Cu₂I₅ perovskite single crystal as sensitive X-ray and g-ray scintillator
Physica Status Solidi-Rapid Research Letters **14** (2020) 2000374(1)-2000374(5).
doi.org/10.1002/pssr.202000374
47. X. Chen, X. Liu, Y. Feng, X. Li, H. Chen, T. Xie, H. Kou, R. Kučerková, A. Beitlerová, E. Mihoková, M. Nikl, J. Li
Microstructure evolution in two-step-sintering process toward transparent Ce:(Y,Gd)₃(Ga,Al)₅O₁₂ scintillation ceramics
Journal of Alloys and Compounds **846** (2020) 156377(1)-156377(16).
doi.org/10.1016/j.jallcom.2020.156377
48. W. Chewpraditkul, N. Pattanaboonmee, O. Sakthong, W. Chewpraditkul, M. Yoshino, T. Horiai, A. Yoshikawa, L. Gushchina, K. Kamada, S. Kurosawa, W. Drozdowski, M. E. Witkowski, T. Szczesniak, M. Moszynski, M. Nikl
Luminescence and Scintillation Properties of Mg²⁺-Codoped Lu_{0.6}Gd_{2.4}Al₂Ga₃O₁₂:Ce Single Crystal
IEEE Transactions on Nuclear Science **67** (2020) 904–909.
doi.org/10.1109/TNS.2020.2984518
49. V. B. Chzhan, I. S. Tereshina, A. A. Kurganskaya, S. A. Lushnikov, V. N. Verbetsky, E. A. Tereshina-Chitrova
New Magnetic Materials Based on RNi Compounds for Cryogenic Technology
Technical Physics Letters **46** (2020) 303–306.
doi.org/10.1134/S1063785020030189



50. **Stanislav Cichoň, Ján Lančok, Jarmila Balogová, Jan Fikáček, Michal Rameš, Radek Ješko, Jan Vlček, Přemysl Fitl, Jan Drahokoupil, Ladislav Fekete, Oleg Heczko, Jaromír Kopeček**
Ferromagnetic $\text{Rh}_2\text{Mn}_5\text{Bi}_4$ thin film alloy epitaxially grown on $\text{MgO}(001)$
Thin Solid Films **714** (2020) 138388(1)-138388(13).
doi.org/10.1016/j.tsf.2020.138388
51. **M. Cigl, V. Hamplová, D. Pociecha, V. Novotná**
Photosensitive bent-core compounds with azo-group attached to the central ring
Crystals **2020/10** (2020) 1030(1)-1030(14).
doi.org/10.3390/cryst10111030
52. **Martin Cigl, František Hampl, Jiří Svoboda, Natalia Podoliak, Sergei Stulov, Michal Kohout, Vladimíra Novotná**
Laterally substituted biphenyl benzoates – synthesis and mesomorphic properties
Liquid Crystals **47** (2020) 1–11.
doi.org/10.1080/02678292.2020.1794069
53. **M. Cigl, R. Jurok, F. Hampl, J. Svoboda, N. Podoliak, V. Novotná**
Lateral substituted phenyl biphenylcarboxylates – non-chiral analogues of ferroelectric liquid crystals
Liquid Crystals **47** (2020) 768–776.
doi.org/10.1080/02678292.2019.1679903
54. **B. Cirera, A. Sánchez-Grande, B. de la Torre, J. Santos, Sh. Edalatmanesh, E. Rodríguez-Sánchez, K. Lauwaet, B. Mallada, R. Zbořil, R. Miranda, O. Gröning, P. Jelínek, N. Martín, D. Eciija**
Tailoring topological order and π -conjugation to engineer quasi-metallic polymers
Nature Nanotechnology **15** (2020) 437–443.
doi.org/10.1038/s41565-020-0668-7
55. **F. Colmenero, J. Plášil & I. Němec**
Uranosphaerite: Crystal structure, hydrogen bonding, mechanics, infrared and Raman spectroscopy and thermodynamics
Journal of Physics and Chemistry of Solids **141** (2020) 109400(1)-109400(18).
doi.org/10.1016/j.jpcs.2020.109400
56. **F. Colmenero, J. Sejkora & J. Plášil**
Crystal Structure, Infrared Spectrum and Elastic Anomalies in Taperssuatsiaite
Scientific Reports **10** (2020) 7510(1)-7510(14).
doi.org/10.1038/s41598-020-64481-8
57. **F. Colmenero, J. Plášil, V. Timón & J. Čejka**
Full crystal structure, hydrogen bonding and spectroscopic, mechanical and thermodynamic properties of mineral uranopilite
RSC Advances **10** (2020) 31947–31960.
doi.org/10.1039/d0ra04596a
58. **F. Colmenero, J. Plášil & J. Sejkora**
The crystal structures and mechanical properties of the uranyl carbonate minerals roubaultite, fontanite, sharpite, widenmannite, grimselite and čejkaite
Inorganic Chemistry Frontiers **7** (2020) 4197–4221.
doi.org/10.1039/d0qi00933d
59. **F. Colmenero, J. Plášil & P. Škácha**
The magnesium uranyl tricarboxylate octadecahydrate mineral, bayleyite: Periodic DFT study of its crystal structure, hydrogen bonding, mechanical properties and infrared spectrum
Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy **234** (2020) 118216(1)-118216(11).
doi.org/10.1016/j.saa.2020.118216
60. **B. Conrad, L. Antognini, A. Peter Amalathas, M. Boccard, J. Holovsky**
Illumination-Dependent Requirements for Heterojunctions and Carrier-Selective Contacts on Silicon
IEEE Journal of Photovoltaics **10** (2020) 1214–1225.
doi.org/10.1109/JPHOTOV.2020.2998900
61. **J. Czernek, L. Kobera, L. Havlák, V. Czerneková, J. Rohlíček, J. Bárta, J. Brus**
Probing the ^{91}Zr NMR parameters in the solid state by a combination of DFT calculations and experiments
Chemical Physics Letters **738** (2020) 136855(1)-136855(7).
doi.org/10.1016/j.cplett.2019.136855
62. **Damon J. Carrad, Martin Bjergfelt, Thomas Kanne, Martin Aagesen, Filip Krizek, Elisabetta M. Fiordaliso, Erik Johnson, Jesper Nygård, Thomas Sand Jespersen**
Shadow Epitaxy for In Situ Growth of Generic Semiconductor/Superconductor Hybrids
Advanced Materials **9** (2020) 1908411 1–1908411 9.
doi.org/10.1002/adma.201908411
63. **M. Dasog, A. Fucikova, A. Goyal, M. Greben, A. R. Kamali, K. Kůsová, M. Nestoklon, T. Popelář, W. Sun and M. L. Tang**
Optical and electronic properties: from theory to experiments: general discussion
Faraday Discussions **222** (2020) 294–303.
doi.org/10.1039/D0FD90005B
64. **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, Ch. J. Long, J. C. Booth, **S. Kamba**, C. J. Fennie, D. A. Muller, N. D. Orloff, D. G. Schlom
Targeted chemical pressure yields tuneable millimetre-wave dielectric
Nature Materials **19** (2020) 176–181.
doi.org/10.1038/s41563-019-0564-4
65. M. Debost, P. B. Klar, N. Barrier, E. B. Clatworthy, J. Grand, F. Laine, **P. Brázda**, **L. Palatinus**, N. Nesterenko, P. Boullay & S. Mintova
Synthesis of Discrete CHA Zeolite Nanocrystals without Organic Templates for Selective CO₂ Capture
Angewandte Chemie International Edition **59** (2020) 1–6.
doi.org/10.1002/anie.202009397
66. J. Dimitrijević, A. N. Arsenijević, M. Z. Milovanović, N. N. Arsenijević, J. Z. Milovanović, A. S. Stanković, A. M. Bukonjić, D. L. Tomović, Z. R. Ratković, I. Potočňák, **E. Samolová**, G. P. Radić
Synthesis, characterization and cytotoxic activity of binuclear copper(II)-complexes with some S-isoalkyl derivatives of thiosalicylic acid. Crystal structure of the binuclear copper(II)-complex with S-isopropyl derivative of thiosalicylic acid
Journal of Inorganic Biochemistry **208** (2020) 111078(1)-111078(11).
doi.org/10.1016/j.jinorgbio.2020.111078
67. **K. Dohnalová**, **P. Hapala**, **K. Kůsová**, I. Infante
Electronic Structure Engineering Achieved via Organic Ligands in Silicon Nanocrystals
Chemistry of Materials **32** (2020) 6326–6337.
doi.org/10.1021/acs.chemmater.0c00443
68. **J. Doležal**, **P. Mutombo**, D. Nachtigallova, **P. Jelinek**, P. Merino, **M. Švec**
Mechano-Optical Switching of a Single Molecule with Doublet Emission
ACS Nano **14** (2020) 8931–8938.
doi.org/10.1021/acs.nano.0c03730
69. **M. Domonkos**, **P. Demo**, **A. Kromka**
Nanosphere lithography for structuring polycrystalline diamond films
Crystals **10** (2) (2020) 118 (1)-118 (14).
doi.org/10.3390/cryst10020118
70. F. Donati, S. Rusponi, S. Stepanow, L. Persichetti, A. Singha, D. M. Juraschek, C. Wäckerlin, R. Baltic, M. Pivetta, K. Diller, C. Nistor, J. Dreiser, K. Kummer, E. Velez-Fort, N. A. Spaldin, H. Brune, P. Gambardella
Unconventional Spin Relaxation Involving Localized Vibrational Modes in Ho Single-Atom Magnets
Physical Review Letters **124** (2020) 077204(1)-077204(6).
doi.org/10.1103/PhysRevLett.124.077204
71. V. Dřínek, R. Yatskiv, **M. Klementová**, R. Fajgar, V. Jandová, M. Koštejn, P. Mikysek, JK. Grym, **J. Kupčík**
Spectroscopic properties of nanostructured molybdenum oxysulfide deposits fabricated by MoO₃ evaporation in H₂S
Materials Letters, **275** (2020)
doi.org/10.1016/j.matlet.2020.128075
72. **D. Dvorský**, A. Gambardella, J. Kubásek, B. Matteo, V. Dalibor
Ultrathin hydroxyapatite coating on pure magnesium substrate prepared by pulsed electron ablation technique
Materials and Corrosion **71** (2020) 1794–1801.
doi.org/10.1002/maco.202011721
73. **K. C. Erb**, **J. Hlinka**
Vector and Bidirector Representations of Magnetic Point Groups
Phase Transitions **93** (2020) 1–42.
doi.org/10.1080/01411594.2019.1695256
74. **K. C. Erb**, **J. Hlinka**
Vector, bidirector, and Bloch skyrmion phases induced by structural crystallographic symmetry breaking
Physical Review B **102** (2020) 024110(1)-024110(6).
doi.org/10.1103/PhysRevB.102.024110
75. M. H. Esfahani, M. Behzad, **M. Dušek**, **M. Kučeráková**
Synthesis and characterization of a series of acylpyrazolone transition metal complexes: Crystal structures and catalytic performance in the epoxidation of cyclooctene
Inorganica Chimica Acta **508** (2020) 119637(1)-119637(7).
doi.org/10.1016/j.ica.2020.119637
76. A. S. Everhardt, T. Denneulin, A. Gruenebohm, Y. -T. Shao, **P. Ondřejkovic**, S. Zhou, N. Domingo, G. Catalan, **J. Hlinka**, J. -M. Zuo, S. Matzen, B. Noheda
Temperature-independent giant dielectric response in transitional BaTiO₃ thin films
Applied Physics Reviews **7** (2020) 011402(1)-011402(8).
doi.org/10.1063/1.5122954
77. **J. Fábry** & E. Samolová
Crystal structure of poly[μ-aqua-bis(μ₃-2-methylpropanoato-κ⁴O:O,O':O')dipotassium]
Acta Crystallographica Section E **76** (2020)



- 1669–1674.
doi.org/10.1107/S2056989020012591
78. **J. Fábry** and E. Samolová
 Layered alkali propanoates $M^+(C_2H_5COO)^-$; $M^+ = Na^+, K^+, Rb^+, Cs^+$
Acta Crystallographica Section E **76** (2020) 1508–1513.
doi.org/10.1107/S2056989020011469
 79. M. Falkowski, P. Doležal, E. Duverger-Nédellec, L. -M. Chamoreau, J. Forté, **A. V. Andreev**, L. Havela
 Multiple charge density wave states and magnetism in $NdPt_2Si_2$ against the background of its nonmagnetic analog $LaPt_2Si_2$
Physical Review B **101** (2020) 174110(1)–174110(10).
doi.org/10.1103/PhysRevB.101.174110
 80. S. Farhadi, F. Mahmoudi, **M. Kučeráková**, **J. Rohlíček**, **M. Dušek**
 New hybrid nanostructures based on kegginitype 12-tungstophosphate and some metal-semicarbazone complexes: Synthesis, x-ray crystal structures and spectroscopic studies
Journal of Molecular Structure **1217** (2020) 128385(1)–128385(13).
doi.org/10.1016/j.molstruc.2020.128385
 81. **J. Fikáček**, P. Procházka, V. Stetsovych, S. Prusa, **M. Vondráček**, L. Kormos, T. Skála, P. Vlaic, O. Caha, K. Carva, J. Cechal, G. Springholz, **J. Honolka**
 Step-edge assisted large scale FeSe monolayer growth on epitaxial Bi_2Se_3 thin films
New Journal of Physics **22** (2020) 073050–073061.
doi.org/10.1088/1367-2630/ab9b59
 82. P. Fopp, M. Kolbe, F. Kargl, R. Kobold & **W. Hornfeck**
 Unexpected behavior of the crystal growth velocity at the hypercooling limit
Physical Review Materials **4** (2020) 073405(1)–073405(7).
doi.org/10.1103/PhysRevMaterials.4.073405
 83. P. Fopp, M. Kolbe, F. Kargl, R. Kobold, **W. Hornfeck** & T. Buslaps
 Phase selection in hypercooled alloys
Journal of Alloys and Compounds **834** (2020) 154439(1)–154439(8).
doi.org/10.1016/j.jallcom.2020.154439
 84. J. Fritz, A. Greshake, **M. Klementová**, R. Wirth, **L. Palatinus**, R. G. Trønnes, V. A. Fernandes, U. Böttger & L. Ferrière
 Donwilhelmsite, $[CaAl_4Si_2O_{11}]$, a new lunar high-pressure Ca-Al-silicate with relevance for subducted terrestrial sediments
American Mineralogist **105** (2020) 1704–1711.
doi.org/10.2138/am-2020-7393
 85. L. Frolova, T. Ryba, **O. Heczko**, T. Kmjec, **L. Fekete**, **J. Kopeček**, Z. Vargova, R. Varga
 Structural Order, Martensitic Transformation and Magnetic Domains in Ni–Fe–Ga Shape Memory Microwire
Acta Physica Polonica A **137** (2020) 989–992.
doi.org/10.12693/APhysPolA.137.989
 86. **P. Galář**, A. Goyal, A. R. Kamali, D. Mariotti, W. Sun
 Silicon nanostructures for energy conversion and devices: general discussion
Faraday Discussions **222** (2020) 433–435.
doi.org/10.1039/D0FD90007A
 87. **P. Galář**, **T. Popelář**, J. Khun, I. Matulková, I. Němec, **K. Dohnalova** Newell, A. Michalcová, V. Scholtz, **K. Kůsová**
 The red and blue luminescence in silicon nanocrystals with an oxidized, nitrogen-containing shell
Faraday Discussions **222** (2020) 240–257.
doi.org/10.1039/C9FD00092E
 88. K. Gholivand, N. Fallah, A. A. Ebrahimi Valmoozi, A. Gholami, **M. Dušek**, **V. Eigner**, M. Pooyan, F. Mohammadpanah
 Synthesis and structural characterization of phosphinate coordination polymers with tin(IV) and copper(II)
Journal of Molecular Structure **1202** (2020) 127369(1)–127369(9).
doi.org/10.1016/j.molstruc.2019.127369
 89. **V. Goian**, R. Held, E. Bousquet, Y. Yuan, A. Melville, H. Zhou, V. Gopalan, P. Ghosez, N. A. Spaldin, D. Schlom, **S. Kamba**
 Making EuO multiferroic by epitaxial strain engineering
Communications Materials **1** (2020) 74(1)–74(10).
doi.org/10.1038/s43246-020-00075-1
 90. B. Gonano, Ø. S. Fjellvåg, **G. Steciuk**, D. Saha, D. Pelloquin & H. Fjellvåg
 Exotic compositional ordering in Mn–Ni–As intermetallic
Angewandte Chemie International Edition **10** (2020) 202006135(1)–202006135(7).
doi.org/10.1002/anie.202006135
 91. **D. I. Gorbunov**, **A. V. Andreev**, I. Ishii, K. Prokeš, T. Suzuki, S. Zherlitsyn, J. Wosnitza
 Acoustic signatures of the phase transitions in the antiferromagnet U_2Rh_2Sn
Physical Review B **101** (2020) 014408(1)–014408(6).
doi.org/10.1103/PhysRevB.101.014408

92. **D. I. Gorbunov**, I. Ishii, Y. Kurata, **A. V. Andreev**, T. Suzuki, S. Zherlitsyn, J. Wosnitza
Crystal-field effects in $\text{Er}_3\text{Ru}_4\text{Al}_{12}$ with a distorted kagome lattice
Physical Review B **101** (2020) 094415(1)-094415(6).
doi.org/10.1103/PhysRevB.101.094415
93. D. P. Goronzy, J. Staněk, E. Avery, H. Guo, Z. Bastl, **M. Dušek**, N. M. Gallup, S. Gün, **M. Kučeráková**, B. J. Levandowski, J. Macháček, V. Šícha, J. C. Thomas, A. Yavuz, K. N. Houk, M. F. Danisman, E. Mete, A. N. Alexandrova, T. Baše, P. S. Weiss
Influence of Terminal Carboxyl Groups on the Structure and Reactivity of Functionalized mCarboranethiolate Self-Assembled Monolayers
Chemistry of Materials **32** (2020) 6800–6809.
[doi.org/https://dx.doi.org/10.1021/acs.chemmater.0c02722](https://doi.org/10.1021/acs.chemmater.0c02722)
94. H. Hajihoseini, **M. Čada**, **Z. Hubička**, S. Ünalı, M. A. Raadu, N. Brenning, J. T. Gudmundsson, D. Lundin
Sideways deposition rate and ionized flux fraction in dc and high power impulse magnetron sputtering.
Journal of Vacuum Science & Technology A **38** (2020) 033009(1)-033009(11).
doi.org/10.1116/1.5145292
95. F. Hajishaabani, S. Shaabani, A. Shaabani, M. H. Sangachin, **M. Dušek**, **M. Kučeráková**
Synthesis of imidazolium zwitterions via an efficient one pot three component synthetic protocol
Journal of the Iranian Chemical Society **17** (2020) 513–519.
doi.org/10.1007/s13738-019-01789-x
96. M. Hakimi, H. Rezaei, K. Moeini, Z. Mardani, **V. Eigner**, **M. Dušek**
Formation of a copper-copper bond in coordination of a cyclotriphosphazene ligand toward Cu(II): Structural, spectral and docking studies
Journal of Molecular Structure **1207** (2020) 127804(1)-127804(9).
doi.org/10.1016/j.molstruc.2020.127804
97. N. Hamdi, S. Hidaoui, H. O. Hassani, M. Lachkar, **M. Dušek**, N. Morley, B. El Bali
Synthesis, crystal structure, physical and catalytic oxidation studies of a new hybridphosphate $[(\text{N}_2\text{H}_5)_2\text{Co}(\text{HPO}_4)_2]$
Journal of Molecular Structure **1217** (2020) 128317(1)-128317(8).
doi.org/10.1016/j.molstruc.2020.128317
98. P. -A. Anders Hansen, **T. Zikmund**, T. Yu, J. N. Kvalvik, T. Aarholt, Ø. Prytz, A. Meijerink, O. Nilsen
Single-step approach to sensitized luminescence through bulk-embedded organics in crystalline fluorides
Communications Materials **3**:162 (2020) 1–10.
doi.org/10.1038/s42004-020-00410-0
99. A. Hariki, R. P. Wang, A. Sotnikov, K. Tomiyasu, D. Betto, N. B. Brookes, Y. Uemura, M. Ghiasi, F. M. F. de Groot, **J. Kuneš**
Damping of spinful excitons in LaCoO_3 by thermal fluctuations: Theory and experiment
Physical Review B **101** (2020) 245162(1)-245162(6).
doi.org/10.1103/PhysRevB.101.245162
100. A. Hariki, M. Winder, T. Uozumi, **J. Kuneš**
LDA+DMFT approach to resonant inelastic x-ray scattering in correlated materials
Physical Review B **101** (2020) 115130(1)-115130(9).
doi.org/10.1103/PhysRevB.101.115130
101. H. Hashim, M. Kozhaev, P. Kapralov, L. Panina, V. Belotelov, **I. Višová**, **D. Chvostová**, **A. Dejneka**, I. Shpetny, V. Latyshev, S. Vorobiov, V. Komanický
Controlling the Transverse Magneto-Optical Kerr Effect in Cr/NiFe Bilayer Thin Films by Changing the Thicknesses of the Cr Layer
Nanomaterials **10** (2020) 256(1)-256(10).
doi.org/10.3390/nano10020256
102. **P. Hauschwitz**, R. Jagdheesh, **D. Rostohar**, **J. Brajer**, **J. Kopeček**, P. Jiříček, **J. Houdková**, **T. Mocek**
Hydrophilic to ultrahydrophobic transition of Al 7075 by affordable ns fiber laser and vacuum processing
Applied Surface Science **505** (2020) 144523(1)-144523(7).
doi.org/10.1016/j.apsusc.2019.144523
103. Ladislav Havela, Mykhaylo Paukov, Milan Dopita, Lukas Horak, Miroslav Cieslar, Daria Drozdenko, Peter Minarik, Ilja Turek, Martin Divis, Dominik Legut, Lukas Kyvala, Thomas Gouder, Frank Huber, Alice Seibert, Evgenia Tereshina-Chitrova
XPS, UPS, and BIS study of pure and alloyed $\beta\text{-UH}_3$ films: Electronic structure, bonding, and magnetism
Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena **239** (2020) 146904(1)-146904(8).
doi.org/10.1016/j.elspec.2019.146904
104. **Oleg Heczko**
Antiphase boundaries in Ni-Mn-Ga ordered



- compound
AIP Advances **10** (2020) 015137(1)-015137(5).
doi.org/10.1063/1.5130183
105. **R. Hippler, M. Čada, Z. Hubička**
 Time-resolved Langmuir probe diagnostics of a bipolar high power impulse magnetron sputtering discharge.
Applied Physics Letters **116** (2020) 064101(1)-064101(4).
doi.org/10.1063/1.5140650
 106. **S. Hofmann, P. Lejcek, G. Zhou, H. Yang, S. Y. Lian, J. Kovac, J. Y. Wang**
 Explanation of the apparent depth resolution improvement by SIMS using cluster ion detection
Journal of Vacuum Science and Technology B **38** (2020) 034010 (1)-034010 (6).
doi.org/10.1116/6.0000108
 107. **J. Holovský, S. Martín De Nicolás, S. De Wolf, C. Ballif**
 Amorphous/Crystalline Silicon Interface Stability: Correlation between Infrared Spectroscopy and Electronic Passivation Properties
Advanced Materials Interfaces **7** (2020) 2000957(1)-2000957(7).
doi.org/10.1002/admi.202000957
 108. **J. Holovský, M. Stuckelberger, T. Finsterle, B. Conrad, A. Peter Amalathas, M. Müller, F.-J. Haug**
 Towards Quantitative Interpretation of Fourier-Transform Photocurrent Spectroscopy on Thin-Film Solar Cells
Coatings **10** (2020) 820-1-820-9.
doi.org/10.3390/coatings10090820
 109. **T. Horiai, S. Kurosawa, R. Murakami, Y. Shoji, J. Pejchal, M. Yoshino, A. Yamaji, H. Sato, Y. Ohashi, K. Kamada, Y. Yokota, A. Yoshikawa**
 Crystal growth and optical properties of a $\text{Ce}_2\text{Si}_2\text{O}_7$ single crystal
Optical Materials **109** (2020) 110210(1)-110210(6).
doi.org/10.1016/j.optmat.2020.110210
 110. **W. Hornfeck**
 On an extension of Krivovichev's complexity measures
Acta Crystallographica Section A **76** (2020) 534-548.
doi.org/10.1107/S2053273320006634
 111. **W. Hornfeck, V. Duppel, L. Kienle & B. Harbrecht**
 Crystal Structure of LiRh-type IrZn Determined by Powder X-ray and Selected Area Electron Diffraction
Zeitschrift für anorganische und allgemeine Chemie **646** (2020) 407-411.
doi.org/10.1002/zaac.202000113
 112. **E. Horynová, O. Romanyuk, L. Horák, Z. Remeš, B. Conrad, A. P. Amalathas, L. Landová, J. Houdková, P. Jiříček, T. Finsterle, J. Holovský**
 Optical characterization of low temperature amorphous MoOx, WOx, and VOx prepared by pulsed laser deposition
Thin Solid Films **693** (2020) 137690(1)-137690(6).
doi.org/10.1016/j.tsf.2019.137690
 113. **A. Hospodková, F. Hájek, J. Pangrác, M. Slavická Zíková, T. Hubáček, K. Kuldová, J. Oswald, T. Vaněk, A. Vetushka, J. Čížek, M. O. Liedke, M. Butterling, A. Wagner**
 A secret luminescence killer in deepest QWs of InGaN/GaN multiple quantum well structures
Journal of Crystal Growth **536** (2020) 125579(1)-125579(6).
doi.org/10.1016/j.jcrysgro.2020.125579
 114. **J. Hrbac, V. Pavelka, J. Crassous, J. Zadny, L. Fekete, J. Pokorný, P. Vanysek, J. Storch, J. Vacek**
 Redox and optically active carbohelicene layers prepared by potentiodynamic polymerization
Electrochemistry Communications **113** (2020) 106689(1)-106689(5).
doi.org/10.1016/j.elecom.2020.106689
 115. **T. Hubáček, A. Hospodková, K. Kuldová, M. Slavická Zíková, J. Pangrác, J. Čížek, M. O. Liedke, M. Butterling, A. Wagner, P. Hubík, E. Hulicius**
 Improvement of luminescence properties of n-GaN using TEGa precursor
Journal of Crystal Growth **531** (2020) 125383(1)-125383(7).
doi.org/10.1016/j.jcrysgro.2019.125383
 116. **Z. Hubička, M. Čada, A. Kapran, J. Olejníček, P. Kšířová, M. Zanáška, P. Adámek, M. Tichý**
 Plasma Diagnostics in Reactive High-Power Impulse Magnetron Sputtering System Working in Ar + H₂S Gas Mixture
Coatings **10** (2020) 246(1)-246(17).
doi.org/10.3390/coatings10030246
 117. **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 **10** (2020) 232(1)-232(14).
doi.org/10.3390/coatings10030232

118. Zewang Hu, Xiaopu Chen, Xin Liu, Xiaoying Li, Tengfei Xie, Yun Shi, Huamin Kou, Yubai Pan, **Eva Mihokova**, **Martin Nikl**, Jiang Li
Fabrication and scintillation properties of $\text{Pr:Lu}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ transparent ceramics from co-precipitated nanopowders
Journal of Alloys and Compounds **818** (2020) 152885(1)-152885(8).
doi.org/10.1016/j.jallcom.2019.152885
119. **Y. A. Humenyuk**, **M. Kotrla**, **K. Netočný** and **F. Slanina**
Separation of dense colloidal suspensions in narrow channels: A stochastic model
Physical Review E **101** (2020) 032608(1)-032608(21).
doi.org/10.1103/PhysRevE.101.032608
120. **J. Hybler**, Z. Dolníček, J. Sejkora & M. Števkó
Polytypism of Cronstedtite from Nagyborzsöny, Hungary
Clays and Clay Minerals **68** (6) (2020) 632–645.
doi.org/10.1007/s42860-020-00102-9
121. **M. Hývl**, **M. Müller**, T. Stuchlíková, **J. Stuchlík**, **M. Šilhavík**, **J. Kočka**, **A. Fejfar**, **J. Červenka**
Nucleation and growth of metal-catalyzed silicon nanowires under plasma
Nanotechnology **31** (2020) 225601(1)-225601(11).
doi.org/10.1088/1361-6528/ab76ef
122. A. S. Ilyushin, I. S. Tereshina, N. Yu. Pankratov, T. A. Aleroeva, Z. S. Umhaeva, A. Yu. Karpenkov, T. Yu. Kiseleva, S. A. Granovsky, M. Doerr, H. Drulis, **E. A. Tereshina-Chitrova**
The phenomenon of magnetic compensation in the multi-component compounds $(\text{Tb,Y,Sm})\text{Fe}_2$ and their hydrides
Journal of Alloys and Compounds **847** (2020) 155976(1)-155976(8).
doi.org/10.1016/j.jallcom.2020.155976
123. S. A. Irneciuc, **S. Chertopalov**, V. Craciun, **M. Novotný**, **J. Lančok**
Investigation of laser-produced plasma multistructuring by floating probe measurements and optical emission spectroscopy
Plasma Processes and Polymers **17** (2020) 2000136(1)-2000136(9).
doi.org/10.1002/ppap.202000136
124. I. Ishii, T. Mizuno, S. Kumano, T. Umeno, D. Suzuki, Y. Kurata, T. Suzuki, **D. I. Gorbunov**, **M. S. Henriques**, **A. V. Andreev**
Magnetic transition due to the inter-singlet spin-exchange interaction and elastic softening by the interplay of electric quadrupoles in the distorted kagome lattice antiferromagnet $\text{Tb}_3\text{Ru}_4\text{Al}_{12}$
Physical Review B **101** (2020) 165116(1)-165116(7).
doi.org/10.1103/PhysRevB.101.165116
125. A. Jakhar, **P. Kumar**, A. Moudgil, V. Dhyani, S. Das
Optically Pumped Broadband Terahertz Modulator Based on Nanostructured PtSe_2 Thin Films
Advanced Optical Materials **7** (2020) 1901714 (1)-1901714 (9).
doi.org/10.1002/adom.201901714
126. **Tomas Janda**, **Joao Godinho**, Tomas Ostatnický, Emanuel Pfitzner, Georg Ulrich, Arne Hoehl, Sonka Reimers, **Zbynek Soban**, Thomas Metzger, **Helena Reichlova**, **Vít Novák**, Richard Campion, Joachim Heberle, **Peter Wadley**, Kevin Edmonds, Ollie Amin, Jas Chauhan, Sarnjeet Dhesi, Francesco Maccherozzi, Ruben Otxoa, Pierre Roy, **Kamil Olejnik**, Petr Němec, **Tomas Jungwirth**, Bernd Kaestner, **Jörg Wunderlich**
Magneto-Seebeck microscopy of domain switching in collinear antiferromagnet CuMnAs
Physical Review Materials **4** (2020) 094413(1)-094413(9).
doi.org/10.1103/PhysRevMaterials.4.094413
127. **V. Janiš**, **A. Klíč**
Kondo Temperature and High to Low Temperature Crossover in Impurity Models of Correlated Electrons
JPS Conference Proceedings **30** (2020) 011124(1)-011124(7).
doi.org/10.7566/JPSCP.30.011124
128. **V. Janiš**, **A. Klíč**, **J. Yan**
Antiferromagnetic fluctuations in the one-dimensional Hubbard model
AIP Advances **10** (2020) 125127(1)-125127(6).
doi.org/10.1063/9.0000019
129. **V. Janiš**, **A. Klíč**, **J. Yan**, **V. Pokorný**
Curie-Weiss susceptibility in strongly correlated electron systems
Physical Review B **102** (2020) 205120(1)-205120(13).
doi.org/10.1103/PhysRevB.102.205120
130. I. Jankowska-Sumara, **M. Pasciak**, M. Kądziołka-Gaweł, M. Podgórna, A. Majchrowski, K. Roleder
Local properties and phase transitions in Sn doped antiferroelectric PbHfO_3 single crystal
Journal of Physics: Condensed Matter **32** (2020) 435402(1)-435402(9).
doi.org/10.1088/1361-648X/ab9bca
131. Jozef Janovec, **Ladislav Straka**, Alexei Sozinov, **Oleg Heczko** and Martin Zelený
First-principles study of Zn-doping effects on



- phase stability and magnetic anisotropy of Ni-Mn-Ga alloys
Materials Research Express **7** (2020) 026101(1)-026101(12).
doi.org/10.1088/2053-1591/ab6925
132. **V. Jarý, L. Havlák, J. Bárta, M. Buryi, M. Rejman, M. Pokorný, Ch. Dujardin, G. Ledoux, M. Nikl**
Variability of Eu²⁺ Emission Features in Multicomponent Alkali-Metal-Rare-Earth Sulfides
ECS Journal of Solid State Science and Technology **9** (2020) 016007(1)-016007(10).
doi.org/10.1149/2.0112001JSS
 133. **V. Jarý, A. Hospodková, T. Hubáček, F. Hájek, K. Blažek, M. Nikl**
Optical Properties of InGaN/GaN Multiple Quantum Well Structures Grown on GaN and Sapphire Substrates
IEEE Transactions on Nuclear Science **67** (2020) 974–977.
doi.org/10.1109/TNS.2020.2985666
 134. **J. Jiráť, V. Zvoníček, M. Babor, L. Ridvan, E. Skořepová, M. Dušek, M. Šoóš**
Formation of the First Non-Isostructural Cocrystal of Apremilast Explained
Crystal Growth & Design **20** (2020) 5785–5795.
doi.org/10.1021/acs.cgd.0c00393
 135. **M. Jirsa, M. Rameš, M. Miryala, P. Svora, J. Duchoň, O. Molnářová, S. S. Arvapalli and M. Murakami**
Flux pinning and microstructure of a bulk MgB₂ doped with diverse additives
Superconductor Science and Technology **33** (2020) 094007(1)-094007(9).
doi.org/10.1088/1361-6668/aba01c
 136. **M. Jirsa, M. Rameš, P. Svora, I. Ďuran, and L. Viererbl**
Reaction of REBaCuO CC Tapes to Neutron Irradiation
Acta Physica Polonica A **137** (2020) 1–3.
doi.org/10.12693/APhysPolA.137.779
 137. **K. Kamada, M. Nikl, T. Kotaki, H. Saito, F. Horikoshi, M. Miyazaki, K. J. Kim, R. Murakami, M. Yoshino, A. Yamaji, Y. Shoji, S. Kurosawa, S. Toyoda, H. Sato, Y. Yokota, Y. Ohashi, V. Kochurikhin, A. Yoshikawa**
Multiple shaped-crystal growth of oxide scintillators using Mo crucible and die by the edge defined film fed growth method
Journal of Crystal Growth **535** (2020) 125510(1)-125510(5).
doi.org/10.1016/j.jcrysgro.2020.125510
 138. **A. R. Kampf, M. A. Cooper, B. P. Nash, J. Marty, P. M. Adams, J. Plášil & J. Sejkora**
Fulbrightite, the Arsenate Analog of Sincosite
Canadian Mineralogist **58** (2020) 663–671.
doi.org/10.3749/canmin.2000034
 139. **A. R. Kampf, B. P. Nash, J. Plášil, J. B. Smith & M. N. Feinglos**
Niasite and johanngeorgenstadtite, Ni²⁺_{4.5}(AsO₄)₃ dimorphs from Johanngeorgenstadt, Germany
European Journal of Mineralogy **32** (2020) 373–385.
doi.org/10.5194/ejm-32-373-2020
 140. **A. R. Kampf, T. A. Olds, J. Plášil, P. C. Burns & J. Marty**
Natromarkeyite and pseudomarkeyite, two new calcium uranyl carbonate minerals from the Markey mine, San Juan County, Utah, USA
Mineralogical Magazine **84** (2020) 753–765.
doi.org/10.1180/mgm.2020.59
 141. **A. R. Kampf, T. A. Olds, J. Plášil, B. P. Nash & J. Marty**
Pseudomeisserite-(NH₄), a new mineral with a novel uranyl-sulfate linkage from the Blue Lizard mine, San Juan County, Utah, USA
Mineralogical Magazine **84** (2020) 435–443.
doi.org/10.1180/mgm.2020.17
 142. **A. R. Kampf, J. Plášil, B. P. Nash, M. E. Ciriotti, F. Castellaro & L. i Chiappino**
Monteneroite, Cu²⁺Mn²⁺₂(AsO₄)₂·8H₂O, a new vivianite-structure mineral with ordered cations from the Monte Nero mine, Liguria, Italy
Mineralogical Magazine **84** (2020) 881–887.
doi.org/10.1180/mgm.2020.76
 143. **A. R. Kampf, J. Plášil, B. P. Nash, I. Němec & J. Marty**
Uroxite and metauroxite, the first two uranyl oxalate minerals
Mineralogical Magazine **84** (2020) 131–141.
doi.org/10.1180/mgm.2019.57
 144. **A. V. Kasatkin, E. Makovicky, J. Plášil, R. Škoda, A. A. Agakhanov, S. Y. Stepanov & R. S. Palamarchuk**
Luboržákite, Mn₂AsSbS₅, a new member of pavonite homologous series from Vorontsovskoe gold deposit, Northern Urals, Russia
Mineralogical Magazine **84** (2020) 1–8.
doi.org/10.1180/mgm.2020.48
 145. **A. V. Kasatkin, E. Makovicky, J. Plášil, R. Škoda, A. A. Agakhanov, I. I. Chaikovskiy, E. A. Vlasov & I. V. Pekov**
Chukotkaite, AgPb₇Sb₅S₁₅, a New Sulfosalt Mineral from Eastern Chukotka, Russia

- Canadian Mineralogist* **58** (2020) 587–596.
doi.org/10.3749/canmin.2000036
146. A. V. Kasatkin, N. V. Zubkova, I. V. Pekov, N. V. Chukanov, R. Škoda, A. A. Agakhanov, D. I. Belakovskiy, D. A. Ksenofontov, **J. Plášil**, A. M. Kuznetsov, S. N. Britvin & D. Yu. Pushcharovsky
The mineralogy of the historical Mochalin Log REE deposit, South Urals, Russia. Part III. Percleveite-(La), $\text{La}_2\text{Si}_2\text{O}_7$, a new REE disilicate mineral
Mineralogical Magazine **84** (2020) 913–920.
doi.org/10.1180/mgm.2020.81
 147. A. Kashir, **V. Goian**, **O. Pacheroová**, **M. Savinov**, Y. H. Jeong, G. H. Lee, **S. Kamba**
Spin-phonon interaction increased by compressive strain in antiferromagnetic MnO thin films
Journal of Physics: Condensed Matter **32** (2020) 175402(1)–175402(8).
doi.org/10.1088/1361-648X/ab6be9
 148. A. Kashir, **V. Goian**, D. Yoon, B. G. Cho, Y. H. Jeong, G. H. Lee, **S. Kamba**
Strain effect on magnetic-exchange-induced phonon splitting in NiO films
Journal of Physics: Condensed Matter **32** (2020) 405607(1)–405607(8).
doi.org/10.1088/1361-648X/ab9f08
 149. A. D. Khalaji, M. Ghorbani, **M. Dušek** & **V. Eigner**
The Bis(4-methoxy-2-hydroxybenzophenone) copper(II) Complex Used as a New Precursor for Preparation of CuO Nanoparticles
Chemical Methodologies **4** (2020) 143–151.
doi.org/10.33945/SAMI/CHEMM.2020.2.4
 150. A. D. Khalaji, **M. Jarošová**, **P. Machek**, K. Chen & D. Xue
Li-ion battery studies on nickel oxide nanoparticles prepared by facile route calcination
Polyhedron **179** (2020) 114360(1)–114360(6).
doi.org/10.1016/j.poly.2020.114360
 151. A. D. Khalaji, **M. Jarošová**, **P. Machek**, K. Chen & D. Xue
Facile synthesis, characterization and electrochemical performance of nickel oxide nanoparticles prepared by thermal decomposition
Scripta Materialia **181** (2020) 53–57.
doi.org/10.1016/j.scriptamat.2020.02.015
 152. A. D. Khalaji, S. M. Mousavi, **M. Jarošová** & **P. Machek**
The Effect of Calcination Temperature on the Morphology, Size and the Crystalline Phase of the As-Synthesized Products by Direct Calcination of FeSO_4 at the Presence of Benzoic Acid
Journal of Surface Investigation-X-Ray Synchrotron and Neutron Techniques **14** (6) (2020) 1191–1194.
doi.org/10.1134/S1027451020060051
 153. A. D. Khalaji, Z. Pazhand, K. Kiani, **P. Machek**, **M. Jarošová** & R. Mazandarani
CuO nanoparticles: preparation, characterization, optical properties, and antibacterial activities
Journal of Materials Science: Materials in Electronics **31** (2020) 11949–11954.
doi.org/10.1007/s10854-020-03749-1
 154. A. D. Khalaji, M. Soleymanifard, **M. Jarošová** & **P. Machek**
Facile Synthesis and Characterization of Mn_3O_4 , Co_3O_4 , and NiO
Acta Physica Polonica A **137** (6) (2020) 1043–1045.
doi.org/10.12693/APhysPolA.137.1043
 155. A. D. Khalaji, M. Soleymanifard, **M. Jarošová** & **P. Machek**
Synthesis, Characterization, and Antibacterial Activity of Copper(II) Oxide Nanoparticles Prepared by Thermal Decomposition
Journal of Surface Investigation-X-Ray Synchrotron and Neutron Techniques **14**: 5 (2020) 961–964.
doi.org/10.1134/S1027451020050109
 156. S. A. Khan, **M. Vondráček**, P. Blaha, **K. Horáková**, J. Minár, **O. Šipr**, **V. Cháb**
Local geometry around B atoms in B/Si(1 1 1) from polarized x-ray absorption spectroscopy
Journal of Physics: Condensed Matter **32** (2020) 045901(1)–045901(7).
doi.org/10.1088/1361-648X/ab4aba
 157. V. M. Kiyek, Y. A. Birkhölzer, Y. Smirnov, **M. Ledinský**, **Z. Remeš**, J. Momand, B. J. Kooi, G. Koster, G. Rijnders, M. Morales-Masis
Single-Source, Solvent-Free, Room Temperature Deposition of Black gamma-CsSnI₃ Films
Advanced Materials Interfaces **11** (2020) 2000162.
doi.org/10.1002/admi.202000162
 158. O. Klempíř, R. Krupička, J. Krůšek, I. Dittert, **V. Petráková**, V. Petrák, **A. Taylor**
Application of Spike Sorting Algorithm to Neuronal Signals Originated from Boron Doped Diamond Micro-Electrode Arrays
Physiological Research **69** (2020) 529–563.
doi.org/10.33549/physiolres.934366
 159. L. Kobera, J. Havlín, S. Abbrent, **J. Rohlíček**, **M. Strečková**, T. Sopčák, V. Kyselová, J. Czernek & J. Brus
Gallium Species Incorporated into MOF



- Structure: Insight into the Formation of a 3D Polycrystalline Gallium–Imidazole Framework *Inorganic Chemistry* **59** (2020) 13933–13941.
[doi.org/https://doi.org/10.1021/acs.inorgchem.0c01563](https://doi.org/10.1021/acs.inorgchem.0c01563)
160. S. Kodama, S. Kurosawa, K. Fujii, T. Murakami, M. Yashima, **J. Pejchal**, **R. Kral**, **M. Nikl**, A. Yamaji, M. Yoshino, S. Toyoda, H. Sato, Y. Ohashi, K. Kamada, Y. Yokota, A. Yoshikawa Single-crystal growth, structure and luminescence properties of $\text{Cs}_2\text{HfCl}_3\text{Br}_3$ *Optical Materials* **106** (2020) 109942(1)-109942(5).
doi.org/10.1016/j.optmat.2020.109942
 161. S. Kodama, S. Kurosawa, Y. Morishita, H. Usami, T. Torii, M. Hayashi, M. Sasano, T. Azuma, H. Tanaka, V. Kochurikhin, **J. Pejchal**, **R. Král**, M. Yoshino, A. Yamaji, S. Toyoda, H. Sato, Y. Ohashi, Y. Yokota, K. Kamada, **M. Nikl**, A. Yoshikawa Growth and Scintillation Properties of a New Red-Emitting Scintillator Rb_2HfI_6 for the Fiber-Reading Radiation Monitor *IEEE Transactions on Nuclear Science* **67** (2020) 1055–1062.
doi.org/10.1109/TNS.2020.2976695
 162. **O. Kohut**, **K. Dragounová**, **E. Ukraintsev**, **O. Szabó**, **A. Kromka**, E. Tomšík Non-conducting polyaniline nanofibrils and their physico-chemical behavior *Vacuum Volume* **171** (2020) 108955(1)-108955(5).
doi.org/10.1016/j.vacuum.2019.108955
 163. T. Kondori, N. Akbarzadeh-T, K. Abdi, **M. Dušek**, **V. Eigner** A novel cadmium(II) complex of bipyridine derivative: synthesis, X-ray crystal structure, DNA-binding and antibacterial activities *Journal of Biomolecular Structure & Dynamics* **38** (2020) 236–247.
doi.org/10.1080/07391102.2019.1570867
 164. T. Kondori, N. Akbarzadeh-T, M. Fazli, B. Mir, **M. Dušek** & **V. Eigner** A novel schiff base ligand and its copper complex: Synthesis, characterization, X-ray crystal structure and biological evaluation *Journal of Molecular Structure* **1226** (2020) 129395(1)-129395(7).
doi.org/10.1016/j.molstruc.2020.129395
 165. **J. Kopeček**, J. Staněk, **S. Habr**, F. Seitl, L. Petrich, V. Schmidt, V. Beneš Analysis of Polycrystalline Microstructure of AlMgSc Alloy Observed by 3D EBSD *Image Analysis & Stereology* **39** (2020) 1–11.
doi.org/10.5566/ias.2224
 166. N. V. Kostyuchenko, I. S. Tereshina, **D. I. Gorbunov**, **E. A. Tereshina-Chitrova**, K. Rogacki, **A. V. Andreev**, M. Doerr, G. A. Politova, A. K. Zvezdin High-field magnetization study of $(\text{Nd,Dy})_2\text{Fe}_{14}\text{B}$: intrinsic properties and promising compositions *Intermetallics* **124** (2020) 106840(1)-106840(4).
doi.org/10.1016/j.intermet.2020.106840
 167. N. V. Kostyuchenko, I. S. Tereshina, **E. A. Tereshina-Chitrova**, A. K. Zvezdin Crystal-Field and Exchange Parameters Obtained from the High-Field Magnetization of $\text{ErFe}_{11}\text{Ti}$: Revisited *Journal of Low Temperature Physics* **200** (2020) 164–172.
doi.org/10.1007/s10909-020-02480-9
 168. Jan Kotouček, František Hubatka, Josef Mašek, Pavel Kulich, Kamila Velínská, Jaroslava Bezděková, Martina Fojtíková, Eliška Bartheldyová, Andrea Tomečková, Jana Stráská, Dominik Hřebík, Stuart Macaulay, **Irena Kratochvílová**, Milan Raška, Jaroslav Turánek preparation of nanoliposomes by microfluidic mixing in herring-bone channel and the role of membrane fluidity in liposomes formation *Scientific Reports* **10** (2020) 1–11.
doi.org/10.1038/s41598-020-62500-2
 169. **N. N. Kovaleva**, F. V. Kusmartsev, A. B. Mekhiya, I. N. Trunkin, **D. Chvostova**, A. B. Davydov, L. N. Oveshnikov, **O. Pacherova**, I. A. Sherstnev, A. Kusmartseva, K. I. Kugel, **A. Dejneka**, F. A. Pudonin, Y. Luo, B. A. Aronzon Control of Mooij correlations at the nanoscale in the disordered metallic Ta–nanoisland FeNi multilayers *Scientific Reports* **10** (2020) 21172(1)-21172(14).
doi.org/10.1038/s41598-020-78185-6
 170. T. Kołodziej, I. Biało, W. Tabiś, M. Zubko, J. Żukrowski, K. Łątka, J. E. Lorenzo, C. Mazzoli, Z. Kąkol, A. Kozłowski, Z. Tarnawski, E. Wilke, P. Babik, V. Chlan, R. Řezníček, H. Štěpánková, **P. Novák**, Y. Joly, J. Niewolski, and J. M. Honig Magnetic field induced structural changes in magnetite observed by resonant x-ray diffraction and Mössbauer spectroscopy *Physical Review B* **102** (2020) 075126(1)-075126(15).
doi.org/10.1103/PhysRevB.102.075126
 171. D. Král, L. Beran, M. Zelený, **J. Zemen**, R. Antoň, J. Hamrle, J. Zázvorka, **M. Rameš**, **K. Onderková**, **O. Heczko**, M. Veis Magnetic and magneto-optical properties of $\text{Fe}_{75-x}\text{Mn}_{25}\text{Ga}_x$

- Materials* **13** (2020) 703(1)-703(12).
doi.org/10.3390/ma13030703
172. K. Královec, R. Havelek, D. Koutová, **P. Veverka**, **L. Kubičková**, **P. Brázda**, J. Kohout, V. Herynek, M. Vosmanská, **O. Kaman**
Magnetic nanoparticles of Ga-substituted epsilon-Fe₂O₃ for biomedical applications: Magnetic properties, transverse relaxivity, and effects of silica-coated particles on cytoskeletal networks
Journal of Biomedical Materials Research Part A **108** (2020) 1563–1578.
doi.org/10.1002/jbm.a.36926
 173. **R. Král**, **P. Zemenová**, **V. Vaněček**, **A. Bystřický**, M. Kohoutková, **V. Jarý**, 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
Journal of Thermal Analysis and Calorimetry **141** (2020) 1101–1107.
doi.org/10.1007/s10973-019-09087-7
 174. Aleksei Krasnikov, **Eva Mihokova**, **Martin Nikl**, Svetlana Zazubovich, and Yaroslav Zhydashkevsky
Luminescence Spectroscopy and Origin of Luminescence Centers in Bi-Doped Materials
Crystals **10** (2020) 208/1-208/53.
doi.org/10.3390/cryst10030208
 175. **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 double-layered structure with active and passive functional properties
Corrosion Science **163** (2020) 108270(1)-108270(11).
doi.org/10.1016/j.corsci.2019.108270
 176. **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).
doi.org/10.1016/j.corsci.2019.108270
 177. M. Kratochvílová, D. Král, **M. Dušek**, J. Valenta, R. H. Colman, **O. Heczko**, M. Veis
Fe₂MnSn – Experimental quest for predicted Heusler alloy
Journal of Magnetism and Magnetic Materials **501** (2020) 166426(1)-166426(5).
doi.org/10.1016/j.jmmm.2020.166426
 178. **Filip Krizek**, **Zdeněk Kašpar**, Aliaksei Vetushka, **Dominik Kriegner**, Elisabetta M. Fiordaliso, Jan Michalicka, Ondřej Man, Jan Zubáč, **Martin Brajer**, Victoria A. Hills, Kevin W. Edmonds, **Peter Wadley**, Richard P. Campion, **Kamil Olejník**, **Tomáš Jungwirth**, **Vít Novák**
Molecular beam epitaxy of CuMnAs
Physical Review Materials **4** (2020) 014409(1)-014409(9).
doi.org/10.1103/PhysRevMaterials.4.014409
 179. **Y. Krysiak**, B. Marler, B. Barton, S. Plana-Ruiz, H. Gies, R. B. Neder & U. Kolb
New zeolite-like RUB-5 and its related hydrous layer silicate RUB-6 structurally characterized by electron microscopy
IUCrJ **7** (2020) 522–534.
doi.org/10.1107/S2052252520003991
 180. **L. Kubičková**, **O. Kaman**, **P. Veverka**, V. Herynek, **P. Brázda**, M. Vosmanská, T. Kmječ, P. Dvořák, D. Kubániová, J. Kohout
The epsilon-Al_xFe_{2-x}O₃ nanomagnets as MRI contrast agents: Factors influencing transverse relaxivity
Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects **589** (2020) 124423(1)-124423(11).
doi.org/10.1016/j.colsurfa.2020.124423
 181. **L. Kubičková**, **J. Koktan**, T. Kořínková, **M. Klementová**, T. Kmječ, J. Kohout, A. Weidenkaff, **O. Kaman**
Zn-substituted iron oxide nanoparticles from thermal decomposition and their thermally treated derivatives for magnetic solid-phase extraction
Journal of Magnetism and Magnetic Materials **498** (2020) 166083(1)-166083(10).
doi.org/10.1016/j.jmmm.2019.166083
 182. M. Kucera, M. Rathaiiah, **A. Beitlerová**, **R. Kučerková**, **M. Nikl**
Scintillation Properties and Energy Transfer in (GdY)AlO₃:Ce³⁺ Perovskites With High Gd Content
IEEE Transactions on Nuclear Science **67** (2020) 1049–1054.
doi.org/10.1109/TNS.2020.2976741
 183. **J. Kudrnovský**, **V. Drchal**, **F. Máca**, I. Turek, S. Khmelevskyi
Large anomalous Hall angle in the Fe₆₀Al₄₀ alloy induced by substitutional atomic disorder
Physical Review B **101** (2020) 054437(1)-



- 054437(8).
doi.org/10.1103/PhysRevB.101.054437
184. A. Kühne, A. B. Carter, G. E. Kostakis, Ch. E. Anson, A. K. Powell
 Varying the Dimensionality of Cu(II)-Based Coordination Polymers Through Solvent Influence
Crystals **10** (2020) 893 (1)-893 (14).
doi.org/10.3390/cryst10100893
 185. I. A. Kühne, K. Esien, L. C. Gavin, H. Müller-Bunz, S. Felton, G. G. Morgan
 Modulation of Mn³⁺ Spin State by Guest Molecule Inclusion
Molecules **25** (2020) 5603 (1)-5603 (13).
doi.org/10.3390/molecules25235603
 186. S. Kumano, I. Ishii, R. Horio, T. Mizuno, T. Umeno, D. Suzuki, **A. V. Andreev**, **D. I. Gorbunov**, T. Yamamura, T. Suzuki
 Low frequency dependent elastic modulus in UCo_{1-x}Os_xAl
JPS Conference Proceedings **30** (2020) 011173(1)-011173(6).
doi.org/10.7566/JPSCP.30.011173
 187. **P. Kumar**, M. Singh, G. B. Reddy
 Oxidized Core–Shell MoO₂–MoS₂ Nanostructured Thin Films for Hydrogen Evolution
ACS Applied Nano Materials **3** (2020) 711–723.
doi.org/10.1021/acsanm.9b02235
 188. L. Kuna, **J. Mangeri**, E. P. Gorzkowski, J. A. Wollmershauser, S. Nakhmanson
 Mesoscale modeling of light transmission modulation in ceramics
Acta Materialia **193** (2020) 261–269.
doi.org/10.1016/j.actamat.2020.03.040
 189. Tibor Kvackaj, Alica Rozsypalova, Robert Kocisko, Jana Bidulska, Patrik Petrousek, Martin Vlado, Imrich Pokorny, Jan Sas, Klaus-Peter Weiss, Michal Duchek, Robert Bidulsky, **Jan Duchon**, and Dusan Simcak
 Influence of Processing Conditions on Properties of AISI 316LN Steel Grade
Journal of Materials Engineering and Performance **29** (2020) 1509–1514.
doi.org/10.1007/s11665-020-04561-y
 190. T. Kvackaj, A. Rozsypalova, R. Kocisko, JK. Bidulska, P. Petrousek, M. Vlado, I. Pokorny, J. Sas, K. -P. Weiss, M. Duchek, R. Bidulsky, **J. Duchon**, D. Simcak
 Influence of processing conditions on properties of AISI 316LN steel grade
Journal of Materials Engineering and Performance **29** (2020) 1509–1514.
doi.org/10.1007/s11665-020-04561-y
 191. L. Kyvala, **M. Tchaplíanka**, **A. B. Shick**, S. Khmelevskiy, D. Legut
 Large Uniaxial Magnetic Anisotropy of Hexagonal Fe-Hf-Sb Alloys
Crystals **10** (2020) 430-1-430-10.
doi.org/10.3390/cryst10060430
 192. B. de la Torre, **A. Matěj**, A. Sánchez-Grande, B. Cirera, **B. Mallada**, E. Rodríguez-Sánchez, J. Santos, J. I. Mendieta-Moreno, Sh. Edalatmanesh, K. Lauwaet, M. Otyepka, M. Medved, Á. Buendía, R. Miranda, N. Martín, **P. Jelínek**, D. Écija
 Tailoring π -conjugation and vibrational modes to steer on-surface synthesis of pentalene-bridged ladder polymers
Nature Communications **11** (2020) 4567(1)-4567(8).
doi.org/10.1038/s41467-020-18371-2
 193. **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
Physical Review B **101** (2020) 024106(1)-024106(10).
doi.org/10.1103/PhysRevB.101.024106
 194. **V. Laguta**, **M. Buryi**, Y. Wu, G. Ren, **M. Nikl**
 Electron and Hole Trapping in Ce³⁺- and Pr³⁺-Doped Lutetium Pyrosilicate Scintillator Crystals Studied by Electron Paramagnetic Resonance
Physical Review Applied **13** (2020) 044060(1)-044060(9).
doi.org/10.1103/PhysRevApplied.13.044060
 195. **V. Laguta**, **M. Kempa**, **V. Bovtun**, J. Buršík, K. Zhai, Y. Sun, **S. Kamba**
 Magnetoelectric coupling in multiferroic Z-type hexaferrite revealed by electric-field-modulated magnetic resonance studies
Journal of Materials Science **55** (2020) 7624–7633.
doi.org/https://doi.org/10.1007/s10853-020-04563-0
 196. **N. Lambert**, **A. Taylor**, **P. Hubík**, **J. Bulíř**, **J. More-Chevalier**, H. Karaca, C. Fleury, J. Voves, **Z. Šobán**, D. Pogany, **V. Mortet**
 Modeling current transport in boron-doped diamond at high electric fields including self-heating effect
Diamond and Related Materials **109** (2020) 108003(1)-108003(11).
doi.org/10.1016/j.diamond.2020.108003
 197. M. A. Lange, **Y. Krysiak**, J. Hartmann, G. Dewald, G. Cerretti, M. N. Tahir, M. Panthöfer, B. Barton, T. Reich, W. G. Zeier, M. Mondeshki, U. Kolb, W. Tremel

- Solid State Fluorination on the Minute Scale: Synthesis of $\text{WO}_{3-x}\text{F}_x$ with Photocatalytic Activity
Advanced Functional Materials **30** (2020) 1909051(1)-1909051(13).
doi.org/10.1002/adfm.201909051.
198. A. Laposa, J. Kroutil, **M. Davydova**, **A. Taylor**, J. Voves, **L. Klimša**, **J. Kopeček**, M. Husák Inkjet Seeded CVD-Grown Hydrogenated Diamond Gas Sensor Under UV-LED Illumination
IEEE Sensors Journal **20** (2020) 1158–1165.
doi.org/10.1109/JSEN.2019.2946947
199. F. Laufek, **J. Plášil**, J. Cempírek & R. Škoda Foreword to the special issue arising from the 9th European Conference on Mineralogy and Spectroscopy
Journal of Geosciences **65** (2020) 1–2.
doi.org/10.3190/jgeosci.302
200. **V. Lavrentiev**, M. Motylenko, M. Barchuk, C. Schimpf, I. Lavrentieva, **J. Pokorný**, C. Röder, J. Vacík, **A. Dejneka**, D. Rafaja Structure assembly regularities in vapour-deposited gold–fullerene mixture films
Nanoscale Advances **2** (2020) 1542–1550.
doi.org/10.1039/D0NA00140F
201. P. Lawniczak, **J. Petzelt**, **V. Bovtun**, **M. Savinov**, **M. Kempa**, **D. Nuzhnyy**, A. Pawlowski Proton dynamics in superprotonic $\text{Rb}_3\text{H}(\text{SeO}_4)_2$ crystal by broadband dielectric spectroscopy
Journal of Physics: Condensed Matter **32** (2020) 465401(1)-465401(7).
doi.org/10.1088/1361-648X/abac8c
202. Joonas Lehtonen, **Yanling Ge**, Nevaf Ciftci, **Oleg Heczko**, Volker Uhlenwinkel, Simo-Pekka Hannula Phase structures of gas atomized equiatomic CrFeNiMn high entropy alloy powder
Journal of Alloys and Compounds **827** (2020) 154142(1)-154142(7).
doi.org/10.1016/j.jallcom.2020.154142
203. **P. Levinský**, J. hejtmánek, **K. Knížek**, **M. Pashchenko**, J. navrátil, P. Masschelein, E. Dutková, P. Baláž Nanograinedn- andp-Type Chalcopyrite CuFeS_2 Prepared by Mechanochemical Synthesis and Sintered by SPS
Acta Physica Polonica A **137** (2020) 904–907.
doi.org/10.12693/APhysPolA.137.904
204. Zhongquan Liao, Yvonne Standke, Jürgen Gluch, **Petr Brázda**, **Jaromír Kopeček**, **Mariana Klementová**, **Lukas Palatinus**, Ehrenfried Zschech Cleaving silicene-terminated calcium disilicide in the transmission electron microscope
Nanotechnology **31** (2020) 095702–1-095702–1.
doi.org/10.1088/1361-6528/ab5604
205. A. Liebig, **P. Hapala**, A. J. Weymouth, F. J. Giessibl Quantifying the evolution of atomic interaction of a complex surface with a functionalized atomic force microscopy tip
Scientific Reports **10** (2020) 14104–14104.
doi.org/10.1038/s41598-020-71077-9
206. Jun-Xiao Lin, Guan-Xun Chen, Yen-Fa Liao, Tzu-Chun Hsu, Wei-Jhong Chen, Kuo-Yi Hung, Ting-Yi Huang, Jiann-Shing Lee, **Z. Remeš**, Hua-Shu Hsu Manipulated Optical Absorption and Accompanied Photocurrent Using Magnetic Field in Charger Transfer Engineered C/ZnO Nanowires
Global Challenges **4** (2020) 2000025(1)-2000025(6).
doi.org/10.1002/gch2.202000025
207. J. Li, F. Pan, S. Geng, C. Lin, **L. Palatinus**, M. Allix, X. Kuang, J. Lin & J. Sun Modulated structure determination and ion transport mechanism of oxide-ion conductor $\text{CeNbO}_{4+\delta}$
Nature Communications **11** (2020) 4751(1)-4751(9).
doi.org/10.1038/s41467-020-18481-x
208. M. Litecká, **E. Samolová**, J. Obuch, V. Kubíček, M. Vilková, M. Kepeňová, I. Potočňák Synthesis, solution stability, and structural characterization of quinolinol-based silver(I) complexes
Journal of Coordination Chemistry **73**, 5 (2020) 784–798.
doi.org/10.1080/00958972.2020.1758681
209. Allieta, M; Beranová, K; Marelli, M; Coduri, M; Stefan, M; Ghica, D; Morello, G; Malara, F; Naldoni, A Electron Small Polaron and Magnetic Interactions Direct Anisotropic Growth of Silicon-Doped Hematite Nanocrystals
Crystal Growth & Design **20** (2020) 4719–4730.
doi.org/10.1021/acs.cgd.0c00496
210. A. Lüköová, E. A. Drweesh, V. Volarevic, D. Miloradovic, B. Simovic Markovic, R. Smolková, **E. Samolová**, J. Kuchár, M. Vilková, I. Potočňák Low-dimensional compounds containing bioactive ligands. Part XIII: Square planar anti-cancer Pd(II) complexes with halogenderivatives of 8-quinolinol and dimethylamine
Polyhedron **184** (2020) 114535(1)-114535(10).
doi.org/10.1016/j.poly.2020.114535



211. Iva Machova, Martin Hubalek, Tereza Belinova, **Anna Fucikova**, **Stepan Stehlik**, **Bohuslav Rezek**, Marie Hubalek Kalbacova
The bio-chemically selective interaction of hydrogenated and oxidized ultra-small nanodiamonds with proteins and cells
Carbon **162** (2020) 650–661.
doi.org/10.1016/j.carbon.2020.02.061
212. F. Mahmoudi, S. Farhadi, **M. Jarošová** & M. Sillanpää
Preparation of novel hybrid nanomaterials based on LaFeO₃ and phosphotungstic acid as a highly efficient magnetic photocatalyst for the degradation of methylene blue dye solution
Applied Organometallic Chemistry **12** (2020) e6011(1)-e6011(13).
doi.org/10.1002/aoc.6011
213. F. J. Maier, M. Schneider, J. Schrattenholzer, W. Artner, K. Hradil, **A. Artemenko**, **A. Kromka**, U. Schmid
Flexoelectricity in polycrystalline TiO₂ thin films
Acta Materialia **190** (2020) 124–129.
doi.org/10.1016/j.actamat.2020.03.018
214. **B. Mallada**, Sh. Edalatmanesh, P. Lazar, **J. Redondo**, **A. Gallardo**, R. Zbořil, **P. Jelínek**, **M. Švec**, B. de la Torre
Atomic-Scale Charge Distribution Mapping of Single Substitutional p- and n-Type Dopants in Graphene
ACS Sustainable Chemistry & Engineering **8** (2020) 3437–3444.
doi.org/10.1021/acssuschemeng.9b07623
215. B. Marler, **Y. Krysiak**, U. Kolb, C. Grafweg, H. Gies
Two new members of the Silica-X family of materials: RUB-5, a silica zeolite with a very high framework density and RUB-6, a hydrous layer silicate
Microporous and Mesoporous Materials **296** (2020) 109981(1)-109981(11).
doi.org/10.1016/j.micromeso.2019.109981
216. S. Maskova-Cerna, M. Klicpera, P. Svoboda, **A. V. Andreev**, Y. Skourski, M. Reehuis, J. -U. Hoffmann, G. Andre, L. Havela
New type of magnetic structure in the R₂T₂X group: Tb₂Pd₂In
Journal of Physics: Condensed Matter **32** (2020) 345801(1)-345801(9).
doi.org/10.1088/1361-648X/ab8428
217. S. Maskova-Cerna, K. Miliyanchuk, S. Danis, A. Senyshyn, L. Akselrud, **A. V. Andreev**, L. Havela
Hydrogen influence in the UNiAl-UNiGa system: Structure and magnetism
Journal of Alloys and Compounds **845** (2020) 155606(1)-155606(10).
doi.org/10.1016/j.jallcom.2020.155606
218. **T. Mates**, J. Polášek, P. Mareš, M. Dubau, **A. Vetuško**, **M. Ledinský**, **A. Fejfar**, J. Vyskočil
Growth defects in WC:H layers for tribological applications
Vacuum **178** (2020) 109372(1)-109372(7).
doi.org/10.1016/j.vacuum.2020.109372
219. V. L. Matukhin, A. N. Gavrilenko, E. V. Schmidt, I. G. Sevastyanov, F. R. Sirazutdinov, J. Navratil, and **P. Novak**
A ^{63,65}Cu NMR STUDY OF Cu_{1-x}Pd_xFeS₂ CHALCOPYRITE COMPOUNDS
Journal of Applied Spectroscopy **87** (5) (2020) 825–829.
doi.org/10.1007/s10812-020-01077-0
220. Laura Mazzei, Dieter Rukser, Florian Biebl, Benjamin Grimm-Lebsanft, Gerd Neuber, Daniele Pergolesi, Lars Börjesson, Michael A Rübhausen, Jakob Andreasson and Maths Karlsson
Phonon spectra of pure and acceptor doped BaZrO₃ investigated with visible and UV Raman spectroscopy
Journal of Physics: Condensed Matter **32** (2020) 405403 (1)-405403 (8).
doi.org/10.1088/1361-648X/ab95d1
221. V. Medvecká, D. Kováčík, M. Stupavská, T. Rocha, **A. Kromka**, R. Fajgar, A. Zahoranová, M. Černák
Preparation and characterization of alumina submicron fibers by plasma assisted calcination
Ceramics International **46** (2020) 22774–22780.
doi.org/10.1016/j.ceramint.2020.06.044
222. O. Melikhova, J. Čížek, **P. Hruška**, M. O. Liedke, M. Butterling, A. Wagner, **M. Novotný**, **J. More-Chevalier**
Study of Nanoscopic Porosity in Black Metals by Positron Annihilation Spectroscopy
Acta Physica Polonica B **51** (2020) 383–387.
doi.org/10.5506/APhysPolB.51.383
223. O. Melikhova, J. Čížek, **P. Hruška**, F. Lukáč, **M. Novotný**, **J. More-Chevalier**, **P. Fitl**, M. O. Liedke, M. Butterling, A. Wagner
Microstructure and Nanoscopic Porosity in Black Pd Films
Acta Physica Polonica A **137** (2020) 222–226.
doi.org/10.12693/APhysPolA.137.222
224. A. Michalcová, D. Vojtěch, J. Vavřík, K. Bartha, P. Beran, **J. Drahokoupil**, J. Džugan, J. Palán, J. Čížek, **P. Lejček**
Structure and Properties of High Strength Ti Grade 4 Prepared by Severe Plastic Deformation and Subsequent Heat Treatment

Materials **13** (2020) 1116 (1)-1116 (18).
doi.org/10.3390/ma13051116

225. T. Michnowicz, B. Borca, R. Pétuya, V. Schendel, M. Pristl, I. Pentegov, U. Kraft, H. Klauk, P. Wahl, **P. Mutombo**, **P. Jelínek**, A. Arnau, U. Schlickum, K. Kern
Controlling Single Molecule Conductance by a Locally Induced Chemical Reaction on Individual Thiophene Units
Angewandte Chemie International Edition **59** (2020) 6207–6212.
doi.org/10.1002/anie.201915200
226. J. Mikeš, S. Pekárek, **O. Babčenko**, O. Hanuš, J. Kákona, **P. Štenclová**
3D printing materials for generators of active particles based on electrical discharges
Plasma Processes and Polymers **17** (2020) e1900150(1)-e1900150(14).
doi.org/10.1002/ppap.201900150
227. I. M. Minisy, B. A. Zasońska, E. Petrovský, **P. Veverka**, I. Šeděnková, J. Hromádková, P. Bober
Poly(p-phenylenediamine)/maghemite composite as highly effective adsorbent for anionic dye removal
Reactive and Functional Polymers **146** (2020) 104436(1)-104436(10).
doi.org/10.1016/j.reactfunctpolym.2019.104436
228. M. S. G. Mohammed, L. Colazzo, **A. Gallardo**, J. A. Pomposo, **P. Jelínek**, D. G. de Oteyza
Steering alkyne homocoupling with on-surface synthesized metal–organic complexes
Chemical Communications **56** (2020) 8659–8662.
doi.org/10.1039/D0CC03779F
229. **J. More-Chevalier**, **S. Cichoň**, L. Horák, **J. Bulíř**, **P. Hubík**, **Z. Gedeonová**, **L. Fekete**, **M. Poupona**, **J. Lančok**
Correlation between crystallization and oxidation process of ScN films exposed to air
Applied Surface Science **515** (2020) 145968(1)-145968(11).
doi.org/10.1016/j.apsusc.2020.145968
230. **J. More-Chevalier**, L. Horák, **S. Cichoň**, **P. Hruška**, J. Čížek, M. O. Liedke, M. Butterling, A. Wagner, **J. Bulíř**, **P. Hubík**, **Z. Gedeonová**, **J. Lančok**
Positron Structural Analysis of ScN Films Deposited on MgO Substrate
Acta Physica Polonica A **137** (2020) 209–214.
doi.org/10.12693/APhysPolA.137.209
231. **J. More-Chevalier**, **M. Novotný**, **P. Hruška**, **L. Fekete**, **P. Fitl**, **J. Bulíř**, **P. Pokorný**, **L. Volfová**, **S. Havlová**, **M. Vondráček**, **J. Lančok**
Fabrication of black aluminium thin films by magnetron sputtering
RSC Advances **10** (2020) 20765–20771.
doi.org/10.1039/d0ra00866d
232. S. Ben Moumen1, Y. Hadouch, Y. Gagou, D. Mezzane, M. Amjoud, E. Choukri, Z. Kutnjak, B. Rozic, N. Abdelmoula, H. Khemakhem, Y. El Amraoui, **V. Laguta**, and M. El Marssi
Structural, dielectric and magnetic studies of (0–3) type multiferroic (1-x) BaTi_{0.8}Sn_{0.2}O₃ – (x) La_{0.5}Ca_{0.5}MnO₃ (0<x<1) composite ceramics
Journal of Materials Science: Materials in Electronics **31** (2020) 19343–19354.
doi.org/10.1007/s10854-020-04468-3
233. **Martin Müller**, Milan Bouša, **Zdeňka Hájková**, **Martin Ledinský**, **Antonín Fejfar**, Karolína Drogowska-Horná, Martin Kalbáč, Otakar Frank
Transfer-less inverted graphene/silicon heterostructures prepared by plasma-enhanced chemical vapor deposition of amorphous silicon on CVD graphene
Nanomaterials **10** (2020) 589(1)-589(10).
doi.org/10.3390/nano10030589
234. **Martin Müller**, **Pavel Galář**, **Jiří Stuchlík**, **Jan Kočka**, Jonáš Kupka, **Kateřina Kůsová**
Synthesis and surface modification of light emitting silicon nanoparticles using non-thermal plasma techniques
European Physical Journal – Applied Physics **89** (2020) 20401(1)-20401(6).
doi.org/10.1051/epjap/2020190263
235. M. Muralidhar, P. Sunsanee, K. Takemura, A. Sai Srikanth, **M. Jirsa**, M. S. Ramachandra Rao, T. Oka, N. Sakai and M. Murakami
Recent progress in production of infiltration-growth and melt-growth processed bulk (RE) Ba₂Cu₃O_y
Superconductor Science and Technology **33** (2020) 074002(1)-074002(11).
doi.org/10.1088/1361-6668/ab877a
236. L. Nádherný, V. Doležal, D. Sedmidubský, J. Cajzl, **R. Kučerková**, **M. Nikl**, V. Jakeš, K. Rubešová
Optical and magnetic properties of nanostructured cerium-doped LaMgAl₁₁O₁₉
Journal of Materials Research **35** (2020) 1672–1679.
doi.org/10.1557/jmr.2020.119
237. V. Nagirnyi, D. Spassky, **V. Laguta**, **M. Buryi**, M. Kirm, S. Omelkov, I. Romet, I. Tupitsyna, P. Dorenbos
Energy transfer to luminescent impurity by thermally quenching excitons in CdWO₄:Sm
Journal of Luminescence **228** (2020) 117609(1)-



- 117609(10).
doi.org/10.1016/j.jlumin.2020.117609
238. G. F. Nataf, M. Guennou, J. M. Gregg, D. Meier, **J. Hlinka**, E. K. H. Salje, J. Kreisel
 Domain-wall engineering and topological defects in ferroelectric and ferroelastic materials
Nature Reviews Physics **2** (2020) 634–648.
doi.org/10.1038/s42254-020-0235-z
239. J. Navrátil, **P. Levinský**, **J. Hejtmánek**, **M. Pashchenko**, **K. Knížek**, **L. Kubíčková**, T. Kmječ, Č. Drašar
 Peculiar Magnetic and Transport Properties of CuFeS₂: Defects Play a Key Role
Journal of Physical Chemistry C **124** (2020) 20773–20783.
doi.org/10.1021/acs.jpcc.0c06490
240. G. F. Ndlovu, K. Dyal Ukabhai, K. T. Nape, S. Samal, G. Wookey, A. Douglas, B. A. Julies, B. Joja, Lesley cornish
 Study of Pt-Al-Nb Alloys Above 45 at.% Pt
Journal of Phase Equilibria and Diffusion **41** (2020) 391–417.
doi.org/10.1007/s11669-020-00798-1
241. P. Nekvindová, J. Cajzl, A. Macková, P. Malinský, **J. Oswald**, R. Böttger, R. Yatskiv
 Er implantation into various cuts of ZnO – experimental study and DFT modelling
Journal of Alloys and Compounds **816** (2020) 1–14.
doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.jallcom.2019.152455
242. P. Nekvindová, J. Cajzl, A. Macková, P. Malinský, Jiří. Oswald, R. Böttger, R. Yatskiv
 Er implantation into various cuts of ZnO – experimental study and DFT modelling.
Journal of Alloys and Compounds **111** (2020) 10–11.
doi.org/10.1016/j.jallcom.2019.152455
243. M. Němec, **P. Boháček**, R. Švejkar, J. Šulc, H. Jelínková, **B. Trunda**, **L. Havlák**, **M. Nikl**, **K. Jurek**
 Er:GGAG crystal temperature influence on spectroscopic and laser properties
Optical Materials Express **10** (2020) 1249–1254.
doi.org/10.1364/OME.383098
244. **H. Němec**, **C. Kadlec**, **V. Goian**, **F. Borodavka**, **V. Železný**, **M. Kempa**, **K. Knížek**, **J. Hejtmánek**, **J. Buršík**, **M. Soroka**
 Metal-insulator transition in (Pr,Y)_{0.7}Ca_{0.3}CoO₃ in the far-infrared spectral region
Physical Review B **102** (2020) 195105(1)-195105(13).
doi.org/10.1103/PhysRevB.102.195105
245. T. Němec, J. Šonský, J. Gruber, Esther de Prado, **J. Kupčík**, **M. Klementová**
 Platinum and platinum oxide nanoparticles generated by unipolar spark discharge
Journal of Aerosol Science **141** (2020) 105502-
doi.org/10.1016/j.jaerosci.2019.105502
246. D. S. Neznakhin, D. I. Radzivonchik, **D. I. Gorbunov**, **A. V. Andreev**, **J. Šebek**, A. V. Lukoyanov, M. I. Bartashevich
 Itinerant metamagnetic transition in the ferromagnet LuCo₃ induced by high field: Instability of the 3d-electron subsystem
Physical Review B **101** (2020) 224432(1)-224432(7).
doi.org/10.1103/PhysRevB.101.224432
247. A. Niyazi, D. Geffroy, **J. Kuneš**
 Dynamical response and competing orders in two-band Hubbard model
Physical Review B **102** (2020) 085159(1)-085159(9).
doi.org/10.1103/PhysRevB.102.085159
248. **Matyáš Novák**, **Jiří Vackář**, Robert Cimrman
 Evaluating Hellmann–Feynman forces within non-local pseudopotentials
Computer Physics Communications **250** (2020) 107034(1)-107034(10).
doi.org/10.1016/j.cpc.2019.107034
249. **V. Novotná**, **S. Stulov**, **M. Cigl**, **V. Hamplová**, E. Gorecka, D. Pocięcha
 Mesomorphic properties of lactic acid derivatives and their racemic mixtures in comparison with analogous non-chiral compounds.
Liquid Crystals **47** (2020) 1516–1527.
doi.org/10.1080/02678292.2020.1741040
250. **D. Nuzhnyy**, **J. Petzelt**, **V. Bovtun**, **M. Savinov**, **P. Bednyakov**, **M. Kempa**, **O. Kaman**, **P. Levinský**, **J. Hejtmánek**, **Z. Jiráček**
 Broadband dielectric spectroscopy of La_{0.65}Sr_{0.35}MnO₃@TiO₂ core-shell nanocomposites
Journal of Physics: Condensed Matter **32** (2020) 415701(1)-415701(12).
doi.org/10.1088/1361-648X/ab997b
251. **J. Olejníček**, **J. Šmíd**, **M. Čada**, **P. Kšířová**, **M. Kohout**, R. Perekrestov, D. Tvarog, Š. Kment, H. Kmentová, **Z. Hubička**
 High rate deposition of photoactive TiO₂ films by hot hollow cathode
Surface & Coatings Technology **383** (2020) 125256(1)-125256(10).
doi.org/10.1016/j.surfcoat.2019.125256
252. **L. Ondič**, **M. Varga**, **J. Fait**, **K. Hruška**, **V. Jurka**, **A. Kromka**, **J. Maňák**, **P. Kapusta**,

- J. Nováková
Photonic crystal cavity-enhanced emission from silicon vacancy centers in polycrystalline diamond achieved without postfabrication fine-tuning
Nanoscale **12** (2020) 13055–13063.
doi.org/10.1039/c9nr10580h
253. K. Origuchi, Y. Yokota, **R. Král**, M. Yoshino, A. Yamaji, S. Toyoda, H. Sato, Y. Ohashi, S. Kurosawa, K. Kamada, A. Yoshikawa
Phase diagram of BaI₂-LuI₃ system and growth of BaI₂/LuI₃ eutectic scintillator
Journal of Crystal Growth **536** (2020) 125573
doi.org/10.1016/j.jcrysgro.2020.125573
254. **V. Paidar, J. Čapek**
Anisotropy of fracture in hexagonal metals
International Journal of Fracture **225** (2020) 123–127.
doi.org/10.1007/s10704-020-00472-0
255. H. Pan, Q. Liu, X. Chen, X. Liu, H. Chen, T. Xie, W. Wang, Y. Shi, X. Jiang, J. Zhou, Z. Sun, **M. Nikl, J. Li**
Fabrication and properties of Gd₂O₂S:Tb scintillation ceramics for the high-resolution neutron imaging
Optical Materials **105** (2020) 109909(1)-109909(6).
doi.org/10.1016/j.optmat.2020.109909
256. Gyu-Hyeon Park, **Helena Reichlova**, Richard Schlitz, Michaela Lammel, Anastasios Markou, Peter Swekis, Philipp Ritzinger, **Dominik Kriegner**, Jonathan Noky, Jacob Gayles, Yan Sun, Claudia Felser, Kornelius Nielsch, Sebastian T. B. Goennenwein, and Andy Thomas
Thickness dependence of the anomalous Nernst effect and the Mott relation of Weyl semimetal Co₂MnGa thin films
Physical Review B **101** (2020) 060406(1)-060406(7).
doi.org/10.1103/PhysRevB.101.060406
257. Pavan Kumar Naik S., Muralidhar M., **Jirsa M.**, Murakami M.
Enhanced ux pinning of single grain bulk (Gd, Dy)BCO superconductors processed by cold-top-seeded in ltration growth method
Materials Science and Engineering B **253** (2020) 114494(1)-114494(10).
doi.org/10.1016/j.mseb.2020.114494
258. Z. Pawlas, I. Karafiátová, **L. Heller**
Random tessellations marked with crystallographic orientations
Spatial Statistics **39** (2020) 100469 (1)-100469 (15).
doi.org/10.1016/j.spasta.2020.100469
259. S. Pekárek, **O. Babčenko**, J. Mikeš, **A. Kromka**
Effect of a diamond layer on the active electrode on the ozone generation of the dielectric barrier discharge in air
Journal of Physics D: Applied Physics **53** (2020) 275203–9.
doi.org/10.1088/1361-6463/ab831f
260. O. V. Petrov, V. Chlan, **J. Rohlíček**, J. Demel, J. Veselý, J. Lang
Exploring Structural Disorders in Aluminum-Containing Metal–Organic Frameworks: Comparison of Solid-State ²⁷Al NMR Powder Spectra to DFT Calculations on Bulk Periodic Structures
Journal of Physical Chemistry C **124** (2020) 12569–12579.
doi.org/https://dx.doi.org/10.1021/acs.jpcc.0c03000
261. P. Piatkowski, S. Masi, **P. Galář**, M. Gutiérrez, T. T. Ngo, I. Mora-Sero, A. Douhal
Deciphering the role of quantum dot size in the ultrafast charge carrier dynamics at the perovskite–quantum dot interface
Journal of Materials Chemistry C **8** (2020) 14834–14844.
doi.org/10.1039/D0TC03835K
262. **J. Pinc, J. Čapek**, V. Hybášek, F. Průša, K. Hosová, **J. Maňák**, D. Vojtěch
Characterization of Newly Developed Zinc Composite with the Content of 8 wt.% of Hydroxyapatite Particles Processed by Extrusion
Materials **13** (2020) 1716 (1)-1716 (15).
doi.org/10.3390/ma13071716
263. **J. Pinc, J. Čapek**, J. Kubásek, F. Průša, V. Hybášek, **P. Veřtát**, I. Sedlářová, D. Vojtěch
Characterization of a Zn-Ca₅(PO₄)₃(OH) Composite with a High Content of the Hydroxyapatite Particles Prepared by the Spark Plasma Sintering Process
Metals **10** (2020) 372 (1)-372 (18).
doi.org/10.3390/met10030372
264. **J. Plášil**, A. R. Kampf, N. Meisser, C. Lheur, T. Brunsperger, R. Škoda
Smamite, Ca₂Sb(OH)₄[H(AsO₄)₂]•6H₂O, a new mineral and a possible sink for Sb during weathering of fahlore
American Mineralogist **105** (2020) 555–560.
doi.org/10.2138/am-2020-7133
265. **J. Plášil**, A. R. Kampf, T. A. Olds, J. Sejkora, R. Škoda, P. C. Burns, J. Čejka
The new K, Pb-bearing uranyl-oxide mineral kroupaite: Crystal-chemical implications for the structures of uranyl-oxide hydroxy-hydrates
American Mineralogist **105** (2020) 561–568.
doi.org/10.2138/am-2020-7311



266. **J. Plášil**, B. Kiefer, S. Ghazisaeed & S. Philippo
Hydrogen bonding in the crystal structure of phurcalite, $\text{Ca}_2[(\text{UO}_2)_3\text{O}_2(\text{PO}_4)_2] \cdot 7\text{H}_2\text{O}$: singlecrystal X-ray study and TORQUE calculations
Acta Crystallographica Section B **76** (2020) 502–509.
doi.org/10.1107/S2052520620005739
267. A. M. Plumhoff, **J. Plášil**, E. Dachs, A. Benisek, J. Sejkora, M. Števkó, M. S. Rumsey & J. Majzlan
Thermodynamic properties, crystal structure and phase relations of pushcharovskite $[\text{Cu}(\text{AsO}_3\text{OH})(\text{H}_2\text{O}) \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}]$, geminite $[\text{Cu}(\text{AsO}_3\text{OH})(\text{H}_2\text{O})]$ and lirononite $[\text{Cu}_2\text{Al}(\text{AsO}_4)(\text{OH})_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}]$
European Journal of Mineralogy **32** (2020) 285–304.
doi.org/10.5194/ejm-32-285-2020
268. **P. Pokorný**, M. Novotný, Y. Dekhtyar, A. Lushchik, **P. Hruška**, **P. Fitl**, **J. Musil**, R. Jaaniso, **J. Lančok**
Simultaneous measurements of thermostimulated exo-electron emission, luminescence, and desorption from a KBr single crystal
Optical Materials **109** (2020) 110223(1)-110223(6).
doi.org/10.1016/j.optmat.2020.110223
269. **P. Pokorný**, M. Novotný, **J. Lančok**
Luminescence properties of Lucalox-CS alumina substrates
Materials Chemistry and Physics **252** (2020) 123262(1)-123262(6).
doi.org/10.1016/j.matchemphys.2020.123262
270. **V. Pokorný**, M. Žonda, G. Loukeris, T. Novotný
Second order perturbation theory for a superconducting double quantum dot
JPS Conference Proceedings **30** (2020) 011002(1)-011002(8).
doi.org/10.7566/JSPCP.30.011002
271. **K. Pomeisl**, J. Richter, **M. Golan**, **I. Kratochvílová**
Simple Syntheses of New Pegylated Trehalose Derivatives as a Chemical Tool for Potential Evaluation of Cryoprotectant Effects on Cell Membrane
Molecules **25** (2020) 1–14.
doi.org/10.3390/molecules25030497
272. Kseniya Popovich, Karel Klepárník, Vojtěch Ledvina, Barbora Neužilová, Jindřich Fleišmann, Michaela Škodová, Libor Kobera, **Eva Mihóková**, Viliam Múčka, and Václav Čuba
Luminescent Nanocomposites for Biomedical Applications
IEEE Transactions on Nuclear Science **67** (2020) 962–968.
doi.org/10.1109/TNS.2020.2974316
273. M. N. Popov, J. Spitaler, V. K. Veerapandiyar, E. Bousquet, **J. Hlinka**, M. Deluca
Raman spectra of fine-grained materials from first principles
npj Computational Materials **121** (2020) 1–7.
doi.org/10.1038/s41524-020-00395-3
274. A. Poryvai, **A. Bubnov**, M. Kohout
Chiral photoresponsive liquid crystalline materials derived from cyanoazobenzene central core: effect of UV light illumination on mesomorphic behavior
Crystals **10** (2020) 1161(1)-1161(15).
doi.org/10.3390/cryst10121161
275. J. Pospíšil, **M. Míšek**, M. Diviš, **M. Dušek**, F. R. de Boer, L. Havela, J. Custers
Magnetic phase diagram of the antiferromagnet $\text{U}_2\text{Rh}_2\text{Pb}$
Journal of Alloys and Compounds **823** (2020) 153485(1)-153485(8).
doi.org/10.1016/j.jallcom.2019.153485
276. J. Premper, F. O. Schumann, A. Dhaka, S. Polzin, K. L. Kostov, **V. Goian**, D. Sander, W. Widdra
Surface Stress and Lattice Dynamics in Oxide Ultrathin Films
physica status solidi **7** (2020) 1900650(1)-1900650(10).
doi.org/10.1002/pssb.201900650
277. P. Procházka, M. A. Gosálvez, L. Kormoš, B. de la Torre, **A. Gallardo**, J. Alberdi-Rodriguez, T. Chutora, A. O. Makoveev, A. Shahsavari, A. Arnau, **P. Jelínek**, J. Čechal
Multiscale Analysis of Phase Transformations in Self-Assembled Layers of 4,4'-Biphenyl Dicarboxylic Acid on the $\text{Ag}(001)$ Surface
ACS Nano **14** (2020) 7269–7279.
doi.org/10.1021/acsnano.0c02491
278. **A. A. Prokhorov**, L. F. Chernush, R. Minikayev, **J. Lančok**, A. D. Prokhorov
Ground State Er^{3+} Ion in the $\text{YGa}_3(\text{BO}_3)_4$
Acta Physica Polonica A **138** (2020) 777–780.
doi.org/10.12693/APhysPolA.138.777
279. **A. A. Prokhorov**, E. E. Zubov, L. F. Chernush, R. Minikayev, **V. Babin**, **M. Nikl**, T. Zajarniuk, A. Szewczyk, **D. Savchenko**, **J. Lančok**, A. D. Prokhorov
Comparative study of structural, optical and magnetic properties of Er^{3+} doped yttrium gallium borates
Results in Physics **19** (2020) 103247(1)-

- 103247(10).
doi.org/10.1016/j.rinp.2020.103247
280. F. Průša, M. Cabibbo, A. Šenková, V. Kučera, Z. Veselka, A. Školáková, D. Vojtěch, J. Cibulková, J. Čapek
High-strength ultrafine-grained CoCrFeNiNb high-entropy alloy prepared by mechanical alloying: Properties and strengthening mechanism
Journal of Alloys and Compounds **835** (2020) 155308(1)-155308(19).
doi.org/10.1016/j.jallcom.2020.155308
281. L. Prušáková, P. Hubík, A. Aijaz, T. Nyberg, T. Kubart
Room Temperature Reactive Deposition of InGaZnO and ZnSnO Amorphous Oxide Semiconductors for Flexible Electronics
Coatings **10** (2020) 2(1)-2(7).
doi.org/10.3390/coatings10010002
282. P. Rączkaa, J. -L. Duboisb, S. Hulinc, M. Rosińska, L. Ryća, P. Parysa, A. Zaraś-Szydłowska, D. Terwińska, P. Tchórza, J. Badziaka, J. Ribolzic, V. Tikhonchukb, d and J. Wołowska
Target Charging, Strong Electromagnetic Pulse Emission and Proton Acceleration from Thin Foils at 10 TW IPPLM Femtosecond Laser Facility
Physics of Plasmas **138** (2020) 593–600.
doi.org/10.12693/APhysPolA.138.593
283. J. Raymakers, A. Artemenko, F. Verstraeten, H. Krysova, J. Čermák, S. S. Nicley, D. Lopez-Carballeira, A. Kromka, K. Haenen, L. Kavan, W. Maes, B. Rezek.
Photogenerated charge collection on diamond electrodes with covalently linked chromophore monolayers
Electrochimica Acta **337** (2020) 35762–15.
doi.org/10.1016/j.electacta.2020.135762
284. Z. Razmara, E. Skořepová & M. Poupon
Synthesis and crystal structure of a novel cyano-bridged Fe^{2+} – Ce^{4+} supracomplex, designed to produce an effective catalyst for clean fuel production
Journal of Molecular Structure **1211** (2020) 128051(1)-128051(10).
doi.org/10.1016/j.molstruc.2020.128051
285. V. Rehacek, I. Hotovy, M. Marton, M. Mikolasek, P. Michniak, A. Vincze, A. Kromka, M. Vojš
Voltammetric characterization of boron-doped diamond electrodes for electroanalytical applications
doi.org/10.1016/j.jelechem.2020.114020
286. J. Reiter, J. Körner, J. Pejchal, A. Yoshikawa, J. Hein, M. C. Kaluza
Temperature dependent absorption and emission spectra of $\text{Tm}:\text{CaF}_2$
Optical Materials Express **10** (2020) 2142–2158.
doi.org/10.1364/OME.393890
287. Z. Remeš, J. Stuchlík, T. H. Stuchlíková, J. Kupčík, V. Mortet, A. Taylor, P. Ashcheulov, V. A. Volodin
Electroluminescence of thin film p-i-n diodes based on aSiC:H with integrated Ge nanoparticles
European Physical Journal – Applied Physics **88** (2020) 30302(1)-30302(6).
doi.org/10.1051/epjap/2020190253
288. D. Repčák, C. Kadlec, F. Kadlec M. Savinov, M. Kachlík, J. Drahokoupil, P. Proschek, J. Prokleška, K. Maca, S. Kamba
Seemingly anisotropic magnetodielectric effect in isotropic EuTiO_3 ceramics
Physical Review B **102** (2020) 144402(1)-144402(2).
doi.org/10.1103/PhysRevB.102.144402
289. A. Rešetic, J. Milavec, V. Domenici, B. Zupancic, A. Bubnov, B. Zalar
Deuteron NMR investigation on orientational order parameter in polymer dispersed liquid crystal elastomers
Physical Chemistry Chemical Physics **22** (2020) 23064–23072.
doi.org/10.1039/D0CP04143B
290. S. Richter, O. Herrfurth, S. Espinoza, M. Rebarz, M. Klotz, J. Leveillee, A. Schleife, S. Zollner, M. Grundmann, J. Andreasson, R. Schmidt-Grund
Ultrafast dynamics of hot charge carriers in an oxide semiconductor probed by femtosecond spectroscopic ellipsometry
New Journal of Physics **22** (2020) 083066(1)-083066(15).
doi.org/10.1088/1367-2630/aba7f3
291. J. Rohlíček & E. Skořepová
CrystalCMP: automatic comparison of molecular structures
Journal of Applied Crystallography **53** (2020) 841–847.
doi.org/10.1107/S1600576720003787
292. M. Romanova, L. Avotina, M. Andrulevicius, Y. Dekhtyara, G. Enichek, G. Kizane, M. Novotný, E. Pajuste, P. Pokorný, T. Yagera, A. Zaslavski
Radiation resistance of nanolayered silicon nitride capacitors
Nuclear Instruments and Methods in Physics B **471**



- (2020) 17–23.
doi.org/10.1016/j.nimb.2020.03.010
293. M. Romanova, R. Burve, **S. Cichon**, Y. Dekhtyar, **L. Fekete**, D. Jevdokimovs, A. Krumina, K. Palskis, V. Serga
 Effect of gamma radiation on thermostimulated exoelectron emission from Gd_2O_3 films
Nuclear Instruments and Methods in Physics B **463** (2020) 21–26.
doi.org/10.1016/j.nimb.2019.11.016
294. **O. Romanyuk**, **I. Gordeev**, A. Paszuk, O. Supplie, J. P. Stoeckmann, **J. Houdkova**, **E. Ukraintsev**, **I. Bartoš**, **P. Jiříček**, T. Hannappel
 GaP/Si(001) interface study by XPS in combination with Ar gas cluster ion beam sputtering
Applied Surface Science **514** (2020) 145903(1)-145903(8).
doi.org/10.1016/j.apsusc.2020.145903
295. **O. Romanyuk**, O. Supplie, A. Paszuk, J. P. Stoeckmann, R. G. Wilks, J. Bombsch, C. Hartmann, R. Garcia-Diez, Sh. Ueda, **I. Bartoš**, **I. Gordeev**, **J. Houdkova**, P. Kleinschmidt, M. Bär, **P. Jiříček**, Th. Hannappel
 Hard X-ray photoelectron spectroscopy study of core level shifts at buried GaP/Si(001) interfaces
Surface and Interface Analysis **12** 2020 (2020) 1–6.
doi.org/10.1002/sia.6829
296. S. N. Ryazantsev, I. Yu. Skobelev, E. D. Filippov, A. S. Martynenko, M. D. Mishchenko, M. Krůs, O. Renner, and S. A. Pikuz
 Precise wavelength measurements of potassium He- and Li-like satellites emitted from the laser plasma of a mineral target
Physics of Plasmas **6** (2020) 014402-(1)-014402-(6).
doi.org/10.1063/5.0019496
297. **I. Rychetský**, **D. Nuzhnyy**, **J. Petzelt**
 Giant permittivity effects from the core-shell structure modelling of the dielectric spectra
Ferroelectrics **569** (2020) 9–20.
doi.org/10.1080/00150193.2020.1791659
298. R. A. Rymzhanov, **N. Medvedev**, J. H. O'Connell, V. A. Skuratov, A. Janse van Vuuren, S. A. Gorbunov, A. E. Volkov
 Insights into different stages of formation of swift heavy ion tracks
Nuclear Instruments and Methods in Physics B **473** (2020) 27–42.
doi.org/10.1016/j.nimb.2020.04.005
299. S. Saheli, A. R. Rezvani, A. Arabshahi, **M. Dušek**, E. Samolová & **M. Jarošová**
 Synthesis new Co–Mn mixed oxide catalyst for the production of light olefins by tuning the catalyst structure
Applied Organometallic Chemistry (2020) e6038(1)-e6038(11).
doi.org/10.1002/aoc.6038
300. S. Saheli, A. R. Rezvani, Z. Yavari, **M. Dušek** & **M. Kučeráková**
 New Pd/Co–Ni electrocatalysts for formic acid electrooxidation and their fabrication from inorganic precursor $[\text{Co}_{0.14}\text{Ni}_{1.86}(\text{dipic})_2(\text{phen})_2(\text{H}_2\text{O})_2] \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
Dalton Transactions **49** (2020) 15864(1)-15873.
doi.org/10.1039/d0dt03113e
301. Arvapalli Sai Srikanth, Miryala Muralidhar, Pinmangkorn Sunsanee, **Milos Jirsa**, Naomichi Sakai, Tetsuo Oka, and Masato Murakami
 Optimization of Carbon Encapsulated Boron Doping for High-Performance Bulk Sintered MgB_2
Advanced Engineering Materials **23** (2020) 2000478(1)-2000478(7).
doi.org/10.1002/adem.202000478
302. T. Salamakha, **M. Buryi**, E. Trusova, Y. Tratsiak
 Synthesis and study of europium doped BaI_2 in glass ceramic form
Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio **1** (2020) 1–10.
doi.org/10.1016/j.bsecv.2020.04.002
303. S. Samal
 Oxidation of Metal
Elsevier Reference Collection in Materials Science and Materials Engineering **1** (2020) 1–11.
doi.org/10.1016/B978-0-12-803581-8.12068-5
304. S. Samal
 Effect of shape and size of filler particle on the aggregation and sedimentation behavior of the polymer composite
Powder Technology **366** (2020) 43–51.
doi.org/10.1016/j.powtec.2020.02.054
305. S. Samal
 Thermal Plasma Processing of Materials: High Temperature Applications
Elsevier Reference Collection in Materials Science and Materials Engineering **6** (2020) 1–13.
doi.org/10.1016/B978-0-12-803581-8.12104-6
306. S. Samal, M. Kolinova, I. Blanco, G. D. Poggetto, M. Cataur
 Magnetorheological Elastomer Composites: The Influence of Iron Particle Distribution on the Surface Morphology
Macromolecular Symposia **389** (2020) 1900053

- (1)-1900053 (4).
doi.org/10.1002/masy.201900053
307. E. Samolová & J. Fábry
Crystal structures of catena-poly[[μ -aqua-diaqua(μ_3 -2-methylpropanoato- κ^4 O:O,O':O') calcium] 2-methylpropanoate dihydrate], catena-poly[[μ -aqua-diaqua(μ_3 -2-methylpropanoato- κ^4 O:O,O':O') strontium] 2-methylpropanoate dihydrate] and catena-poly[[μ -aqua-diaqua(μ_3 -2-methylpropanoato- κ^4 O:O,O':O') (calcium/strontium)] 2-methylpropanoate dihydrate]
Acta Crystallographica Section E **76** (2020) 1684–1688.
doi.org/10.1107/S2056989020012888
308. E. Samolová, J. Fábry
Caesium propanoate monohydrate
Acta Crystallographica Section E **76** (2020) 1307–1310.
doi.org/10.1107/S2056989020009639
309. E. Samolová, J. Fábry
Poly[[tetradecakis(u-propionato)heptabarium] propionic acid monosolvate tetrahydrate]
Acta Crystallographica Section E **76** (2020) 264–269.
doi.org/10.1107/S2056989020000924
310. S. Samothrakitis, M. Raventós, J. Čapek, C. B. Larsen, C. Grünzweig, M. Tovar, M. Garcia-Gonzalez, J. Kopeček, S. Schmidt, M. Strobl
Grain morphology reconstruction of crystalline materials from Laue three-dimensional neutron diffraction tomography
Scientific Reports **10** (2020) 3724-1-3724-7.
doi.org/10.1038/s41598-020-60330-w
311. A. Sánchez-Grande, J. I. Urgel, A. Cahlik, J. Santos, Sh. Edalatmanesh, E. Rodríguez-Sánchez, K. Lauwaet, P. Mutombo, D. Nachtigallová, R. Nieman, H. Lischka, B. de la Torre, R. Miranda, O. Gröning, N. Martín, P. Jelínek, D. Écija
Diradical organic one dimensional polymers synthesized on a metallic surface
Angewandte Chemie International Edition **59** (2020) 17594–17599.
doi.org/10.1002/anie.202006276
312. S. J. Sardroud, S. A. Hosseini-Yazdi, M. Mahdavi, M. Poupon, E. Skořepová
Synthesis, characterization and in vitro evaluation of anticancer activity of a new water-soluble thiosemicarbazone ligand and its complexes
Polyhedron **175** (2020) 114218(1)-114218(10).
doi.org/10.1016/j.poly.2019.114218
313. D. Savchenko, V. Rodionov, A. Prokhorov, J. Lančok, E. Kalabukhova, B. Shanina
Impact of the dangling bond defects and grain boundaries on trapping recombination process in polycrystalline 3C SiC
Journal of Alloys and Compounds **823** (2020) 153752(1)-153752(8).
doi.org/10.1016/j.jallcom.2020.153752
314. D. Savchenko, A. Vasin, O. Kuz, I. Verovsky, A. Prokhorov, A. Nazarov, J. Lančok, E. Kalabukhova
Role of the paramagnetic donor-like defects in the high n-type conductivity of the hydrogenated ZnO microparticles
Scientific Reports **10** (2020) 17347(1)-17347(9).
doi.org/10.1038/s41598-020-74449-3
315. D. Savchenko, V. Yukhymchuk, M. Skoryk, E. Ubyivovk, E. Mokhov, J. Lančok, B. Shanina, E. Kalabukhova
Magnetic Resonance Study of p-Type 3C SiC Microparticles
physica status solidi (2020) 2000306(1)-2000306(8).
doi.org/10.1002/pssb.202000306
316. K. Scheil, M. Gruber, M. Ondráček, R. Berndt
Force Spectroscopy of Iron Tetraphenylporphyrin Molecules with Cl Tips
Journal of Physical Chemistry C **124** (2020) 26889–26896.
doi.org/10.1021/acs.jpcc.0c08894
317. Richard Schlitz, Peter Swekis, Anastasios Markou, Helena Reichlova, Michaela Lammel, Jacob Gayles, Andy Thomas, Kornelius Nielsch, Claudia Felser, and Sebastian T. B. Goennenwein
All Electrical Access to Topological Transport Features in $Mn_{1.8}PtSn$ Films
Nano Letters **19** (2020) 2366–2370.
doi.org/10.1021/acs.nanolett.8b05042
318. W. Schranz, C. Schuster, A. Tröster, I. Rychetský
Polarization of domain boundaries in $SrTiO_3$ studied by layer group and order-parameter symmetry
Physical Review B **102** (2020) 184101-1-184101-12.
doi.org/10.1103/PhysRevB.102.184101
319. W. Schranz, A. Tröster, I. Rychetský
Contributions to polarization and polarization switching in antiphase boundaries of $SrTiO_3$ and $PbZrO_3$
Journal of Applied Physics **128** (2020) 1–10.
doi.org/10.1063/5.0030038
320. Jakub Šebesta, Karel Carva, Dominik Kriegner, Jan Honolka
Twin Domain Structure in Magnetically Doped



- Bi₂Se₃ Topological Insulator
Nanomaterials **10** (2020) 2059–2059.
doi.org/10.3390/nano10102059
321. V. Secchi, S. Franchi, M. Dettin, A. Zamuner, **K. Beranová**, A. Vladescu, C. Battocchio, V. Graziani, L. Tortora, G. Iucci
 Hydroxyapatite Surfaces Functionalized with a Self-Assembling Peptide: XPS, RAIRS and NEXAFS Study
Nanomaterials **10** (2020) 1151(1)-1151(14).
doi.org/10.3390/nano10061151
322. E. Šedivá, D. Bohdanov, G. F. Harrington, **I. Rafalovskyi, J. Drahekoupil, F. Borodavka, P. Márton, J. Hlinka**
 Anisotropic Strain in Rare-Earth Substituted Ceria Thin Films Probed by Polarized Raman Spectroscopy and First-Principles Calculations
ACS Applied Materials and Interfaces **12** (2020) 56251–56259.
doi.org/10.1021/acsami.0c14249
323. K. Sedlak, V. A. Anvar, N. Bagrets, M. E. Biancolini, R. Bonifetto, F. Bonne, D. Boso, A. Brighenti, P. Bruzzzone, G. Celentano, A. Chiappa, V. D'Auria, M. Dan, P. Decool, A. della Corte, A. Dembkowska, O. Dicuonzo, I. Duran, M. Eisterer, A. Ferro, C. Fiamozzi Zignani, W. H. Fietz, C. Frittitta, E. Gaio, L. Giannini, F. Giorgetti, F. Gömöry, X. Granados, R. Guarino, R. Heller, C. Hoa, I. Ivashov, G. Jiolat, **M. Jirsa**, B. Jose, R. Kembleton, M. Kumar, B. Lacroix, Q. Le Coz, M. Lewandowska, A. Maistrello, N. Misiara, L. Morici, L. Muzzi, S. Nicollet, A. Nijhuis, F. Nunio, C. Portafaix, G. Romanelli, X. Sarasola, L. Savoldi, B. Stepanov, I. Tiseanu, G. Tomassetti, A. Torre, S. Turtù, D. Uglietti, R. Vallcorba, L. Viererbl, M. Vojenciak, C. Vorpahl, K-PWeiss, R. Wesche, M. J. Wolf, L. Zani, R. Zanino, A. Zappatore and V. Corato
 Advance in the conceptual design of the European DEMO magnet system
Superconductor Science and Technology **33** (2020) 044013(1)-044013(9).
doi.org/10.1088/1361-6668/ab75a9
324. Petr Sedlák, Michaela Janovská, Lucie Bodnárová, **Oleg Heczko** and Hanuš Seiner
 Softening of Shear Elastic Coefficients in ShapeMemory Alloys Near the Martensitic Transition: A Study by Laser-Based Resonant Ultrasound Spectroscopy
Metals **10** (2020) 1383(1)-1383(13).
doi.org/10.3390/met10101383
325. J. Sejkora, **J. Plášil**, J. Čejka, Z. Dolníček & R. Pavlíček
 Molecular structure of the arsenate mineral chongite from Jáchymov – a vibrational spectroscopy study
Journal of Geosciences **65** (2020) 111–120.
doi.org/10.3190/jgeosci.292
326. D. Sen, P. Blonski, B. de la Torre, **P. Jelínek**, M. Otyepka
 Thermally induced intra-molecular transformation and metalation of free-base porphyrin on Au(111) surface steered by surface confinement and ad-atoms
Nanoscale Advances **2** (2020) 2986–2991.
doi.org/10.1039/D0NA00401D
327. **A. B. Shick, J. Kolorenč**, A. Yu. Denisov, D. S. Shapiro
 Magnetic anisotropy of a Dy atom on a graphene/Cu(111) surface
Physical Review B **102** (2020) 064402(1)-064402(8).
doi.org/10.1103/PhysRevB.102.064402
328. K. Shimakawa, **F. Kadlec, C. Kadlec**, J. Přikryl, T. Wagner, M. Frumar, S. Kasap
 Effects of Grain Boundaries on THz Conductivity in the Crystalline States of Ge₂Sb₂Te₅ Phase-Change Materials: Correlation with DC Loss
Physica Status Solidi-Rapid Research Letters **1** (2020) 2000411-1-2000411-5.
doi.org/10.1002/pssr.202000411
329. R. K. Shukla, A. Chaudhary, **A. Bubnov, V. Hamplová**, K. K. Raina
 Electrically switchable birefringent self-assembled nanocomposites: ferroelectric liquid crystal doped with the multiwall carbon nanotubes
Liquid Crystals **47** (2020) 1379–1389.
doi.org/10.1080/02678292.2020.1720328
330. F. Siadatnasab, S. Farhadi, **M. Dušek, V. Eigner**, A. -A. Hoseini, A. Khataee
 Sonochemical synthesis and structural characterization of an organotinorganic nanohybrid based on a copper-dithiocarbamate complex and PMo₁₂O₄₀³⁻ polyanion as a novel sonocatalyst
Ultrasonics Sonochemistry **64** (2020) 104727(1)-104727(10).
doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.104727
331. M. Singh, R. Santbergen, L. Mazzarella, A. Madrampazakis, G. Yang, R. Vismara, **Z. Remeš**, A. Weeber, M. Zeman, O. Isabella
 Optical characterization of poly-SiO_x and poly-SiC_x carrier-selective passivating contacts
Solar Energy Materials and Solar Cells **210** (2020) 110507(1)-110507(11).
doi.org/10.1016/j.solmat.2020.110507
332. **O. Šipr**, S. Mankovsky, H. Ebert
 Assessing different approaches to ab initio

- calculations of spin wave stiffness
Physical Review B **101** (2020) 134409-1-134409-10.
doi.org/10.1103/PhysRevB.101.134409
333. **O. Šipr**, S. Wimmer, S. Mankovsky, H. Ebert
Transport properties of doped permalloy via ab initio calculations: Effect of host disorder
Physical Review B **101** (2020) 085109(1)-085109(14).
doi.org/10.1103/PhysRevB.101.085109
334. P. Škácha, J. Sejkora, **J. Plášil** & E. Makovicky
Pošepnýite, a new Hg-rich member of the tetrahedrite group from Příbram, Czech Republic
Journal of Geosciences **65** (2020) 173–186.
doi.org/10.3190/jgeosci.308
335. **S. Skiadopoulou**, M. Retuerto, **F. Borodavka**, **C. Kadlec**, **F. Kadlec**, **M. Míšek**, J. Prokleška, Z. Deng, X. Tan, C. Frank, J. A. Alonso, M. T. Fernandez-Diaz, M. Croft, F. Orlandi, P. Manuel, E. McCabe, D. Legut, M. Greenblatt, **S. Kamba**
Structural, magnetic, and spin dynamical properties of the polar antiferromagnets $\text{Ni}_{3-x}\text{Co}_x\text{TeO}_6$ ($x=1,2$)
Physical Review B **101** (2020) 014429(1)-014429(10).
doi.org/10.1103/PhysRevB.101.014429
336. **A. Školáková**, P. Salvetr, J. Leiner, T. Lovaši, P. Novák
Formation of Phases in Reactively Sintered TiAl_3 Alloy
Molecules **25** (8) (2020) 1912 (1)-1912 (13).
doi.org/10.3390/molecules25081912
337. H. Skopalová, P. Špaček, V. Kozmík, J. Svoboda, **V. Novotná**, D. Pocięcha, M. Kohout
The role of substitution in the apex position of the bent-core on mesomorphic properties of new series of liquid crystalline materials.
Crystals **10** (2020) 735(1)-735(20).
doi.org/10.3390/cryst10090735
338. **E. Skořepová**, A. Harchani, M. M. Ftini, **M. Dušek**, A. Haddad
Crystal structure of a new polyoxometalate (POM) compound with a high level of crystallographic disorder
Acta Crystallographica Section C **76** (2020) 164–169.
doi.org/10.1107/S2053229619015596
339. **F. Slanina**
Colloid particles in microfluidic inertial hydrodynamic ratchet at moderate Reynolds number
Physical Review E **102** (2020) 052601(1)-052601(10).
doi.org/10.1103/PhysRevE.102.052601
340. M. Šmahel, A. Poryvai, Y. Xiang, D. Pocięcha, **T. Troha**, **V. Novotná**, J. Svoboda, M. Kohout
Photosensitive bent-core nematic liquid crystals with various linking units in the side arms: Structure-properties relationships.
Journal of Molecular Liquids **306** (2020) 112743-1-112743-11.
doi.org/10.1016/j.molliq.2020.112743
341. **Libor Šmejkal**, Rafael González-Hernández, **Tomáš Jungwirth**, **Jairo Sinova**
Crystal time-reversal symmetry breaking and spontaneous Hall effect in collinear antiferromagnets
Science Advances **6** (2020) eaaz8809(1)-eaaz8809(9).
doi.org/10.1126/sciadv.aaz8809
342. Y. Smirnov, **J. Holovsky**, G. Rijnders, M. Morales-Masis
Origins of infrared transparency in highly conductive perovskite stannate BaSnO_3
APL Materials **8** (2020) 061108-1-061108-6.
doi.org/10.1063/5.0010322
343. M. Sorolla, X. Wang, **L. Kubíčková**, V. Ksenofontov, A. Möller, A. J. Jacobson
A mixed-valent iron(II/III) diamond chain with single-ion anisotropy
Inorganic Chemistry **59** (2020) 1068–1074.
doi.org/10.1021/acs.inorgchem.9b02616
344. A. Sotnikov, K. -H. Ahn, **J. Kuneš**
Ferromagnetism of LaCoO_3 films
SciPost Physics **8** (2020) 082(1)-082(21).
doi.org/10.21468/SciPostPhys.8.6.082
345. A. Sozinov, D. Musienko, A. Saren, **P. Vertat**, **L. Straka**, **O. Heczko**, M. Zeleny, R. Chulist, K. Ullakko
Highly mobile twin boundaries in seven-layer modulated Ni-Mn-Ga-Fe martensite
Scripta Materialia **178** (2020) 62–66.
doi.org/10.1016/j.scriptamat.2019.10.042
346. K. Sreebunpeng, P. Janthon, W. Chewpraditkul, T. Szczesniak, **M. Nikl**, A. Yoshikawa
Scintillation characteristics of $\text{YAlO}_3:\text{Pr}$ perovskite single crystals
Optical Materials **108** (2020) 110161(1)-110161(6).
doi.org/10.1016/j.optmat.2020.110161
347. Sai Srikanth Arvapalli, Muralidhar Miryala, **Milos Jirsa** and Masato Murakami
Size reduction of boron particles by high-power ultrasound for optimization of bulk MgB_2
Superconductor Science and Technology **33** (2020)



- 115009(1)-115009(11).
doi.org/10.1088/1361-6668/abb63e
348. S. N. Starostenko, K. N. Rozanov, **V. Bovtun**, A. O. Shiryaev
 A mixing formula accounting for inversion of matrix structure
AIP Advances **10** (2020) 015115(1)-015115(14).
doi.org/10.1063/1.5133470
349. **G. Steciuk**, R. Škoda, **J. Rohlíček** & **J. Plášil**
 Crystal structure of the uranyl–molybdate mineral calcurmolite $\text{Ca}[(\text{UO}_2)_3(\text{MoO}_4)_2(\text{OH})_4](\text{H}_2\text{O})_{\sim 5.0}$: insights from a precession electron-diffraction tomography study
Journal of Geosciences **65** (2020) 15–25.
doi.org/10.3190/jgeosci.297
350. **G. Steciuk**, R. Škoda, **J. Rohlíček**, **J. Plášil**
 Crystal structure of the uranyl–molybdate mineral calcurmolite $\text{Ca}[(\text{UO}_2)_3(\text{MoO}_4)_2(\text{OH})_4](\text{H}_2\text{O})_{\sim 5.0}$: insights from a precession electron-diffraction tomography study
Journal of Geosciences **65** (2020) 15–25.
doi.org/10.3190/jgeosci.297
351. V. Štejfa, T. Mahnel, **E. Skořepová**, **J. Rohlíček**, **V. Eigner**, B. Schröder, K. Růžicka & M. Fulem
 A combined thermodynamic and crystallographic study of 1,3-diisopropylnaphthalene
Journal of Chemical Thermodynamics **150** (2020) 106193(1)-106193(10).
doi.org/10.1016/j.jct.2020.106193
352. V. Štejfa, **J. Rohlíček**, C. Červinka
 Phase behaviour and heat capacities of selected 1-ethyl-3-methylimidazolium-based ionic liquids
Journal of Chemical Thermodynamics **142** (2020) 106020(1)-106020(10).
doi.org/10.1016/j.jct.2019.106020
353. M. Števko, J. Sejkora, **J. Plášil**, Z. Dolníček & R. Škoda
 Fluorapophyllite-(NH_4), $\text{NH}_4\text{Ca}_4(\text{Si}_8\text{O}_{20})\text{F}_8\text{H}_2\text{O}$, a new member of the apophyllite group from the Vechec quarry, eastern Slovakia
Mineralogical Magazine **84** (2020) 533–539.
doi.org/10.1180/mgm.2020.44
354. T. H. Stuchlíková, **J. Stuchlík**, Z. Remeš, **A. Taylor**, V. Mortet, **P. Ashcheulov**, **I. Gregora**, G. Krivyakin, V. Volodin
 High temperature PIN diodes based on amorphous hydrogenated silicon carbon alloys and boron-doped diamond thin films
physica status solidi (2020) 1900247(1)-1900247(6).
doi.org/10.1002/pssb.201900247
355. **A. Stupakov**, **A. Perevertov**
 Analog of the induction law for the magnetic Barkhausen noise
Journal of Magnetism and Magnetic Materials **498** (2020) 166238(1)-166238(5).
doi.org/10.1016/j.jmmm.2019.166238
356. **A. Stupakov**, **A. Perevertov**, M. Neslušan
 Reading depth of the magnetic Barkhausen noise. I. One-phase semi-hard ribbons
Journal of Magnetism and Magnetic Materials **513** (2020) 167086(1)-167086(12).
doi.org/10.1016/j.jmmm.2020.167086
357. **A. Stupakov**, **A. Perevertov**, M. Neslušan
 Reading depth of the magnetic Barkhausen noise. II. Two-phase surface-treated steels
Journal of Magnetism and Magnetic Materials **513** (2020) 167239(1)-167239(9).
doi.org/10.1016/j.jmmm.2020.167239
358. M. Surýnek, V. Saidl, **Z. Kašpar**, **V. Novák**, R. P. Campion, **P. Wadley**, P. Němec
 Investigation of magnetic anisotropy and heat dissipation in thin films of compensated antiferromagnet CuMnAs by pump–probe experiment
Journal of Applied Physics **127** (2020) 233904(1)-233904(10).
doi.org/10.1063/5.0006185
359. T. Svadlakova, F. Hubatka, P. Turanek
 Knotigova, P. Kulich, J. Masek, J. Kotoucek, J. Macak, M. Motola, M. Kalbac, M. Kolackova, R. Vankova, P. Vicherkova, A. Malkova, P. Simeckova, Y. Volkov, A. Prina Mello, **I. Kratochvílová**, Z. Fiala, M. Raska, J. Krejsek, J. Turanek
 Proinflammatory Effect of Carbon Based Nanomaterials: In Vitro Study on Stimulation of Inflammasome NLRP3 via Destabilisation of Lysosomes
Nanomaterials **10** (2020) 1–18.
doi.org/10.3390/nano10030418
360. R. Švejkar, J. Šulc, M. Němec, **P. Boháček**, H. Jelínková, **B. Trunda**, **L. Havlák**, **M. Nikl**, **K. Jurek**
 Diode-pumped laser and spectroscopic properties of Yb, Ho:GGAG at 2 μm and 3 μm
Laser Physics Letters **17** (2020) 035801(1)-035801(6).
doi.org/10.1088/1612-202X/ab6d61
361. **P. Svora**, P. Ecorchard, E. Plížingrová, B. Komárková, S. Svorová Pawelkowicz, N. Murafa, M. Maříková, D. Smržová, B. Wagner, A. Macháľková, P. Bezdička
 Influence of inorganic bases on the structure of titanium dioxide-based microsheets

- ACS Omega 5 (2020) 23703–23717.
doi.org/10.1021/acsomega.0c02570
362. V. T. Tikhonchuk
Progress and opportunities for inertial fusion energy in Europe
Philosophical Transactions of the Royal Society A **378** (2020) 1–10.
doi.org/10.1098/rsta.2020.0013
363. V. Tahmasebi, G. Grivani, **V. Eigner, M. Dušek & A. D. Khalaji**
New Mn(II) and Cu(II) Complexes of Naphtalimine Schiff Base Ligands: Synthesis, Characterization and Crystal Structures
Journal of Structural Chemistry **61** (1) (2020) 57–65.
doi.org/10.1134/S0022476620010060
364. **E. A. Tereshina-Chitrova**, Yu. V. Korneeva, D. Yu. Ozherelkov, P. Doležal, I. S. Tereshina, T. P. Kaminskaya, **D. I. Gorbunov**, S. V. Dobatkin, P. Minárik
Enhanced magnetocaloric effect in distilled terbium and emergence of novel properties after severe plastic deformation
Scripta Materialia **187** (2020) 340–344.
doi.org/10.1016/j.scriptamat.2020.06.046
365. **K. Tesař**, K. Balík, Z. Sucharda, A. Jäger
Direct extrusion of thin Mg wires for biomedical applications
Transactions of Nonferrous Metals Society of China **30** (2020) 373–381.
[doi.org/10.1016/S1003-6326\(20\)65219-0](https://doi.org/10.1016/S1003-6326(20)65219-0)
366. **K. Tesař, J. Maňák, P. Vaněk, J. Drahokoupil, J. Hlinka**
Microstructure and micromechanical properties of GaV₄S₈ ceramics prepared by single-step solid state synthesis
Ceramics International **46** (2020) 7045–7049.
doi.org/10.1016/j.ceramint.2019.11.194
367. **K. Tesař**, H. Somekawa, A. Singh
Development of texture and grain size during extrusion of ZA63 alloy containing stable quasicrystalline i-phase and its effect on tensile and compression strength
Journal of Alloys and Compounds **849** (2020) 156340(1)-156340(11).
doi.org/10.1016/j.jallcom.2020.156340
368. T. Thoř, K. Rubeřová, V. Jakeř, J. Cajzl, L. Nádherný, D. Mikolášová, **R. Kučerková, M. Nikl**
Lanthanide-doped Lu₂O₃ phosphors and scintillators with green-to-red emission
Journal of Luminescence **215** (2020) 116647(1)-116647(9).
doi.org/10.1016/j.jlumin.2019.116647
369. V. T. Tikhonchuk, a, b, Ph. Korneevc, d, E. Dmitrievc, d, R. Nutera
Numerical study of momentum and energy transfer in the interaction of a laser pulse carrying orbital angular momentum with electrons
High Energy Density Physics **37** (2020) 1–10.
doi.org/10.1016/j.hedp.2020.100863
370. Yu. Tikhonov, S. Kondovych, **J. Mangeri**, M. Pavlenko, L. Baudry, A. Sené, A. Galda, S. Nakhmanson, O. Heinonen, A. Razumnaya, I. Luk'yanchuk, V. M. Vinokur
Controllable skyrmion chirality in ferroelectrics
Scientific Reports **10**:8657 (2020) 1–7.
doi.org/10.1038/s41598-020-65291-8
371. E. Tisbi, E. Placidi, R. Magri, P. Proposito, R. Francini, A. Zaganelli, S. Cecchi, E. Zallo, R. Calarco, E. Luna, **J. Honolka, M. Vondráček**, S. Colonna, F. Arciprete
Increasing Optical Efficiency in the Telecommunication Bands of Strain-Engineered Ga(As, Bi) Alloys
Physical Review Applied **14** (2020) 014028(1)-014028(14).
doi.org/10.1103/PhysRevApplied.14.014028
372. M. Tlustý, D. Spálovská, M. Kohout, **V. Eigner & P. Lhoták**
Ketone transformation as a pathway to inherently chiral rigidified calix[4]arenes
Chemical Communications **56** (2020) 12773–12776.
doi.org/10.1039/d0cc05352j
373. N. D. Tolstykh, M. Tuhý, A. Vymazalová, **J. Plášil**, F. Laufek, A. V. Kasatkin, F. Nestola & O. V. Bobrova
Maletoyvayamite, Au₃Se₄Te₆, a new mineral from Maletoyvayam deposit, Kamchatka peninsula, Russia
Mineralogical Magazine **84** (1) (2020) 117–123.
doi.org/10.1180/mgm.2019.81
374. Kateřina Tomanová, Adéla Suchá, Eva **Mihóková, Lenka Procházková**, Ivo Jakubec, Rosana M. Turtos, Stefan Gundacker, Etienne Auffray, and Václav Čuba
CsPbBr₃ Thin Films on LYSO:Ce Substrates
IEEE Transactions on Nuclear Science **67** (2020) 933–938.
doi.org/10.1109/TNS.2020.2978581
375. S. Tulic, T. Waitz; **O. Romanyuk, M. Varga**, M. Čaplovičová, G. Habler, V. Vretenár, M. Kotlár, **A. Kromka, B. Rezek**, V. Skakalova
Ni-mediated reactions in nanocrystalline diamond on Si substrates: the role of the oxide barrier



- RSC *Advances* **10** (2020) 8224–8232.
doi.org/10.1039/d0ra00809e
376. P. E. A. Turchi, V. Drchal, J. Kudrnovský, A. Perron
 Ab initio study of stability, local order, and phase diagram for a series of bcc-based transition metal alloys
Journal of Phase Equilibria and Diffusion **41** (2020) 737–755.
doi.org/10.1007/s11669-020-00846-w
377. I. Turek, J. Kudrnovský, V. Drchal
 Methods of electron transport in ab initio theory of spin stiffness
Physical Review B **101** (2020) 134410(1)–134410(9).
doi.org/10.1103/PhysRevB.101.134410
378. I. Turek, J. Kudrnovský, V. Drchal
 Theory of spin Hall effect in random Pt-M (M = V, Nb, Ta) alloys
Acta Physica Polonica A **137** (2020) 717–719.
doi.org/10.12693/APhysPolA.137.717
379. J. Tvrđý, J. Plášil & R. Škoda
 New crystal-chemical data on zincoberaunite from Krásno near Horní Slavkov (Czech Republic)
Journal of Geosciences **65** (2020) 45–57.
doi.org/10.3190/jgeosci.296
380. O. Tyc, L. Heller, M. Vronka, P. Šittner
 Effect of temperature on fatigue of superelastic NiTi wires
International Journal of Fatigue **34** (2020) 105470 (1)–105470 (10).
doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2020.105470
381. M. Tyunina, N. Nepomniashchaia, V. Vetokhina, A. Dejneka
 Optics of epitaxial strained strontium titanate films
Applied Physics Letters **117** (2020) 082901(1)–082901(5).
doi.org/10.1063/5.0021461
382. M. Tyunina, O. Pacherova, N. Nepomniashchaia, V. Vetokhina, S. Cichon, T. Kocourek, A. Dejneka
 In situ anion-doped epitaxial strontium titanate films
Physical Chemistry Chemical Physics **22** (2020) 24796(1)–24796(9).
doi.org/10.1039/d0cp03644g
383. M. Tyunina, M. Savinov
 Charge transport in epitaxial barium titanate films
Physical Review B **101** (2020) 94106(1)–94106(8).
doi.org/10.1103/PhysRevB.101.094106
384. M. Tyunina, O. Vetokhina, N. Nepomniashchaia, O. Pacherova, S. Cichon, T. Kocourek, M. Jelinek, A. Dejneka
 Multiple optical impacts of anion doping in epitaxial barium titanate films
APL Materials **8** (2020) 071107(1)–071107(6).
doi.org/10.1063/5.0007209
385. M. Ueno, K. J. Kim, K. Kamada, V. Babin, M. Nikl, T. Nihei, M. Yoshino, A. Yamaji, S. Toyoda, H. Sato, Y. Yokota, S. Kurosawa, Y. Ohashi, V. V. Kochurikhin, A. Yoshikawa
 Bulk Single Crystal Growth of W Co-Doped Ce:Gd₃Ga₃Al₂O₁₂ by Czochralski Method
IEEE Transactions on Nuclear Science **67** (2020) 1045–1048.
doi.org/10.1109/TNS.2020.2968088
386. M. Ueno, K. J. Kim, K. Kamada, T. Nihei, M. Yoshino, A. Yamaji, S. Toyoda, H. Sato, Y. Yokota, S. Kurosawa, Y. Ohashi, M. Nikl, V. Kochurikhin, A. Yoshikawa
 Tungsten co-doping effects on Ce:Gd₃Ga₃Al₂O₁₂ scintillator grown by micro-pulling down method.
Journal of Crystal Growth **539** (2020) 125513 (1)–125513 (5).
doi.org/10.1016/j.jcrysgro.2020.125513
387. E. Ugur, E. Alarousu, J. I. Khan, A. Vlk, E. Aydin, M. De Bastiani, A. H. Balawi, S. P. Gonzalez Lopez, M. Ledinský, S. De Wolf, F. Laquai
 How Humidity and Light Exposure Change the Photophysics of Metal Halide Perovskite Solar Cells
Solar RRL **9** (2020) 2000382(1)–2000382(10).
doi.org/10.1002/solr.202000382
388. M. Urbańska, P. Vaňkátová, A. Kubíčková a K. Kalíková
 Synthesis, characterisation and supercritical fluid chromatography enantioseparation of new liquid crystalline materials
Liquid Crystals **47:12** (2020) 0267–8292 1–12.
doi.org/10.1080/02678292.2020.1733684
389. V. Vaněček, R. Král, J. Páterek, V. Babin, V. Jarý, J. Hybler, S. Skodama, S. Kurosawa, Y. Yokota, A. Yoshikawa, M. Nikl
 Modified vertical Bridgman method: Time and cost effective tool for preparation of Cs₂HfCl₆ single crystals
Journal of Crystal Growth **533** (2020) 125479(1)–125479(6).
doi.org/10.1016/j.jcrysgro.2020.125479
390. M. Velický, A. Rodriguez, M. Bouša, A. V. Krayev, M. Vondráček, J. Honolka, M. Ahmadi, Gavin E. Donnelly, F. Huang, H. D. Abruña, K. S. Novoselov, O. Frank

- Strain and Charge Doping Fingerprints of the Strong Interaction between Monolayer MoS₂ and Gold
Journal of Physical Chemistry Letters **11** (2020) 6112–6118.
doi.org/10.1021/acs.jpcclett.0c01287
391. B. Vénosová, J. Kožíšková, J. Kožíšek, P. Herich, K. Lušpai, V. Petříček, J. Hartung, M. Muller, C. B. Hubschle, S. van Smaalen & L. Bučinský Charge density of 4-methyl-3-[(tetrahydro-2Hpyran-2-yl)oxy]thiazole-2(3H)-thione. A comprehensive multipole refinement, maximum entropy method and density functional theory study
Acta Crystallographica Section B **76** (2020) 450–468.
doi.org/10.1107/S2052520620005533
392. T. Verhagen, A. Rodriguez, M. Vondráček, J. Honolka, S. Funke, M. Zlámalová, L. Kavan, M. Kalbac, J. Vejpravova, O. Frank Chemical Vapor Deposition of MoS₂ for Energy Harvesting: Evolution of the Interfacial Oxide Layer
ACS Applied Nano Materials **3** (2020) 6563–6573.
doi.org/10.1021/acsanm.0c01028
393. S. V. Veselova, I. S. Tereshina, V. N. Verbetsky, D. S. Neznakhin, E. A. Tereshina-Chitrova, T. P. Kaminskaya, A. Yu. Karpenkov, O. V. Akimova, D. I. Gorbunov, A. G. Savchenko Structure and magnetic properties of (Sm,Ho)₂Fe₁₇N_x (x = 0; 2.4)
Journal of Magnetism and Magnetic Materials **502** (2020) 166549(1)-166549(6).
doi.org/10.1016/j.jmmm.2020.166549
394. M. Vilémová, H. Hadraba, Z. Weiss, F. Lukáč, Š. Csáki, Z. Chlup, J. Matějčík, T. Chráska Phase, Composition and Structure Changes of CoCrNi-Based Concentrated Alloys Resulting from High Temperature Oxidation
Materials **13**:10 (2020) 2276.
doi.org/10.3390/ma13102276
395. M. Vilková, M. Šoral, M. Bečka, I. Potočňák, D. Sabolová, T. Béres, M. Dušek, J. Imrich ¹H, ¹³C and ¹⁵N NMR of spiro acridines integrated with pyrrole scaffolds
Magnetic Resonance in Chemistry **58** (2020) 204–214.
doi.org/10.1002/mrc.4974
396. I. Víšová, B. Smolková, M. Uzhytchak, M. Vrabcová, D. Chafai, M. Houska, M. Pastucha, P. Skládal, Z. Farka, A. Dejneka, H. Vaisocherová-Lísalová, Functionalizable Antifouling Coatings as Tunable Platforms for the Stress-Driven Manipulation of Living Cell Machinery
Biomolecules **10** (2020) 1146(1)-1146(10).
doi.org/10.3390/biom10081146
397. I. Víšová, B. Smolková, M. Uzhytchak, M. Vrabcová, Y. Zhigunova, M. Houska, F. Surman, A. Pereira, O. Lunov, A. Dejneka, H. Vaisocherová-Lísalová Modulation of Living Cell Behavior with Ultra-Low Fouling Polymer Brush Interfaces
Macromolecular Bioscience **2** (2020) 1900351(1)-1900351(9).
doi.org/10.1002/mabi.201900351
398. I. Víšová, M. Vrabcová, M. Forinová, Y. Zhigunová, V. Mironov, M. Houska, E. Bittrich, K. Eichhorn, H. Hashim, P. Schovánek, A. Dejneka, H. Vaisocherová-Lísalová Surface Preconditioning Influences the Antifouling Capabilities of Zwitterionic and Nonionic Polymer Brushes
Langmuir **36** (2020) 8485–8493.
doi.org/10.1021/acs.langmuir.0c00996
399. D. Vokoun, L. Kaderavek, J. Balogová, L. Fekete, M. Landa, J. Drahokoupil, J. Němeček, L. Heller Effect of FIB milling on NiTi films and NiTi/Si micro-bridge sensor
Smart Materials and Structures **29** (2020) 015001(1)-015001(10).
doi.org/10.1088/1361-665X/ab4e0c
400. D. Vokoun, L. Klimša, A. Vetushka, J. Duchoň, J. Racek, J. Drahokoupil, J. Kopeček, Y. S. Yu, N. Koothan, C. C. Kei Al₂O₃ and Pt Atomic Layer Deposition for Surface Modification of NiTi Shape Memory Films
Coatings **10** (2020) 746(1)-746(14).
doi.org/10.3390/coatings10080746
401. D. Vokoun, M. Vronka, M. Rameš, J. Olejníček, M. Kohout, O. Heczko Ni nanoparticles in TiO₂ films and their magnetic properties
Physica B: Condensed Matter **578** (2020) 411862(1)-411862(5).
doi.org/10.1016/j.physb.2019.411862
402. L. Volfová, E. Plížingrová, P. Ecorchard, M. Motlochová, M. Klementová, P. Jánošíková, P. Bezdička, J. Kupčík, J. Krýsa, A. Lančok, J. Šubrt Tailoring Photocatalytic Activity of TiO₂ Nanosheets by ⁵⁷Fe
Journal of Physical Chemistry C **124** (2020) 6669–6682.
doi.org/10.1021/acs.jpcc.9b11781



403. J. Volný, D. Wagenknecht, **J. Železný**, P. Harcuba, E. Duverger-Nedellec, R. H. Colman, **J. Kudrnovský**, I. Turek, K. Uhlířová, **K. Výborný**
Electrical transport properties of bulk tetragonal CuMnAs
Physical Review Materials 4 (2020) 064403-1-064403-10.
doi.org/10.1103/PhysRevMaterials.4.064403
404. J. Vosáhllová, J. Sochr, S. Baluchová, L. Švorc, **A. Taylor**, K. Schwarzová-Pecková
Comparison of Carbon-based Electrodes for Detection of Cresols in Voltammetry and HPLC with Electrochemical Detection
Electroanalysis 32 (2020) 2193–2204.
doi.org/10.1002/elan.202006103
405. **M. Vronka**, **L. Straka**, M. De Graef, **O. Heczko**
Antiphase boundaries, magnetic domains, and magnetic vortices in Ni-Mn-Ga single crystals
Acta Materialia 184 (2020) 179–186.
doi.org/10.1016/j.actamat.2019.11.043
406. Ch. Wäckerlin, **A. Gallardo**, A. Mairena, M. Baljovic, **A. Cahlík**, A. Antalík, J. Brabec, L. Veis, D. Nachtigallova, **P. Jelinek**, K. -H. Ernst
On-Surface Hydrogenation of Buckybowls: From Curved Aromatic Molecules to Planar Non-Kekulé Aromatic Hydrocarbons
ACS Nano 14 (2020) 16735–16742.
doi.org/10.1021/acsnano.0c04488
407. M. Wang, C. Andrews, S. Reimers, O. J. Amin, **P. Wadley**, R. P. Campion, S. F. Poole, J. Felton, K. W. Edmonds, B. L. Gallagher, A. W. Rushforth, **O. Makarovsky**, K. Gas, M. Sawicki, **D. Kriegner**, **J. Zubac**, **K. Olejnik**, **V. Novak**, **T. Jungwirth**, M. Shahrokhvand, U. Zeitler, S. S. Dhesi, F. Maccherozzi
Spin flop and crystalline anisotropic magnetoresistance in CuMnAs
Physical Review B 101 (2020) 094429(1)-094429(8).
doi.org/10.1103/PhysRevB.101.094429
408. **Z. Weiss**
Glow discharge excitation and ionization of chromium, comparison with iron
Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy 166 (2020) 105792.
doi.org/10.1016/j.sab.2020.105792
409. **Z. Weiss**
Emission spectroscopic diagnostics of weakly ionized argon-diluted plasmas: glow discharge and inductively coupled plasma
Plasma Sources Science and Technology 29 (2020) 105018(1)-105018(19).
doi.org/10.1088/1361-6595/abb41e
410. **Z. Weiss**, J. C. Pickering
Charge transfer from doubly charged ions of transition elements in a neon glow discharge: evidence based on emission spectra
Plasma Sources Sci. Technol. 29 (2020) 045025.
doi.org/10.1088/1361-6595/ab82b2
411. S. Wert, S. Baluchová, K. Schwarzová-Pecková, **S. Sedláková**, **A. Taylor**, F. M. Matysík
A costefcient approach for simultaneous scanning electrochemical microscopy and scanning ion conductance microscopy
Monatshefte für Chemie 151 (2020) 1249–1255.
doi.org/10.1007/s00706-020-02635-0
412. M. Winder, A. Hariki., **J. Kuneš**
X-ray spectroscopy of the rare-earth nickelate LuNiO₃: LDA+DMFT study
Physical Review B 102 (2020) 085155(1)-085155(6).
doi.org/10.1103/PhysRevB.102.085155
413. S. Witkiewicz-Lukaszek, V. Gorbenko, T. Zorenko, O. Sidletskiy, P. Arhipov, A. Fedorov, **J. A. Mareš**, **R. Kučerková**, **M. Nikl**, Y. Zorenko
Liquid phase epitaxy growth of high-performance composite scintillators based on single crystalline films and crystals of LuAG
CrystEngComm 22 (2020) 3713–3724.
doi.org/10.1039/d0ce00266f
414. Sh. Yamamoto, **D. I. Gorbunov**, H. Akai, H. Yasumura, Y. Kotani, T. Nakamura, T. Kato, N. V. Mushnikov, **A. V. Andreev**, H. Nojiri, J. Wosnitza
Element- and orbital-selective magnetic coherent rotation at the first-order phase transition of a hard uniaxial ferrimagnet
Physical Review B 101 (2020) 174430(1)-174430(6).
doi.org/10.1103/PhysRevB.101.174430
415. D. Yinhua, M. M. Foroughi, Z. Aramesh-Boroujeni, S. Jahani, M. Peydayesh, F. Borhani, M. Khatami, M. Rohani, **M. Dušek** & **V. Eigner**
The synthesis, characterization, DNA/BSA/HSA interactions, molecular modeling, antibacterial properties, and in vitro cytotoxic activities of novel parent and niosome nano-encapsulated Ho(III) complexes
RSC Advances 10 (2020) 22891–22908.
doi.org/10.1039/d0ra03436c
416. M. Yoshino, **K. Bartosiewicz**, T. Horiai, K. Kamada, A. Yamaji, Y. Shoji, Y. Yokota, S. Kurosawa, Y. Ohashi, H. Sato, S. Toyoda, **R. Kučerková**, **V. Jarý**, **M. Nikl**, A. Yoshikawa
Relationship Between Li/Ce Concentration and the Luminescence Properties of Codoped Gd₃(Ga, Al)₅O₁₂:Ce

physica status solidi 2019 (2020) 1900504 (1)-1900504 (6).

doi.org/10.1002/pssb.201900504

417. Takuya Yoshioka, Hiroki Tsuchiura, **P. Novák**
Statistical and analytical approaches to finite-temperature magnetic properties of the compound SmFe_{12}
Physical Review B 102 (2020) 184410(1)-184410(14).

doi.org/10.1103/PhysRevB.102.184410

418. **P. Yudin**, M. Hrebtov, **A. Dejneka**, L. McGilly
Modeling the Motion of Ferroelectric Domain Walls with the Classical Stefan Problem
Physical Review Applied 13 (2020) 014006(1)-014006(10).

doi.org/10.1103/PhysRevApplied.13.014006

419. A. S. Yurkov, M. Yu. Hrebtov, E. Maheux, M. S. Bobrov, N. N. Kozyulin, K. G. Dobroselsky, **A. Dejneka**, P. V. Yudin
Simple model for high-frequency pyroelectric energy harvesting

Ferroelectrics 567 (2020) 160–170.
doi.org/10.1080/00150193.2020.1791600

420. L. Zarei, Z. Asadi, **V. Eigner**, **M. Dušek**
Crystal structure of a supramolecular dimer of Co(III) complex and evaluation of the DNA /BSA interaction

Journal of Molecular Structure 1200 (2020) 127100(1)-127100(15).
doi.org/10.1016/j.molstruc.2019.127100

421. L. Zarei, Z. Asadi, **E. Samolová**, **M. Dušek**, Z. Amirghofran
Pyrazolate as bridging ligand in stabilization of self-assemble Cu(II) Schiff base complexes: Synthesis, structural investigations, DNA/protein (BSA) binding and growth inhibitory effects on the MCF7, CT-26, MDA-MB-231 cell lines

Inorganica Chimica Acta 509 (2020) 119674(1)-119674(14).
doi.org/10.1016/j.ica.2020.119674

422. M. Zelený, **L. Strakaa**, **M. Rameš**, A. Sozinov, **O. Heczko**
Origin of magnetocrystalline anisotropy in Ni-Mn-Ga-Co-Cu tetragonal martensite
Journal of Magnetism and Magnetic Materials 503 (2020) 166522(1)-166522(8).

doi.org/10.1016/j.jmmm.2020.166522

423. **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
Journal of Thermal Analysis and Calorimetry 141

(2020) 1091–1099.

doi.org/10.1007/s10973-019-09068-w

424. K. Zhao, H. Deng, H. Chen, K. A. Ross, **V. Petříček**, G. Günther, M. Russina, V. Hutanu, P. Gegenwart

Realization of the kagome spin ice state in a frustrated intermetallic compound
Science 367 (2020) 1218–1223.

doi.org/10.1126/science.aaw1666

425. M. Zukerstein, F. Trojánek, P. Koutenský, **M. Varga**, **A. Kromka**, M. Kozák, P. Malý
Sub-picosecond electron dynamics in polycrystalline diamond films
Diamond and Related Materials 108 (2020) 107935(1)-107935(6).

doi.org/10.1016/j.diamond.2020.107935

426. **J. Rohlíček**, **V. Zvoníček**, **E. Škořepová**, M. Šoóš
Testing the flow-through capillary for the study of re-solvation processes in pharmaceutical compounds

Powder Diffraction 35 (2020) 160–165.
doi.org/10.1017/S0885715620000354

Optika

1. **S. Cho**, **O. Novák**, **M. Smrž**, **A. Lucianetti**, T. J. Yu, **T. Mocek**
Numerical analysis of beam distortion induced by thermal effects in chirped volume Bragg grating compressors for high-power lasers
Journal of the Optical Society of America B-Optical Physics 37 (2020) 3874–3881. doi.org/10.1364/JOSAB.409434
2. S. Civiš, **P. Kubelík**, A. Pastorek, E. M. Zanozina, **M. Ferus**, V. E. Chernov, A. V. Naskidashvili, O. V. Zetkina
Kr I spectra in the 5–14 μm range
Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer 249 (2020) 106985(1)-106985(13).
doi.org/10.1016/j.jqsrt.2020.106985
3. M. Divoky, J. Pilar, M. Hanus, P. Navratil, M. Sawicka-Chyla, M. De Vido, P. J. Phillips, K. Ertel, T. Butcher, M. Fibrich, J. T. Green, M. Koselia, J. Preclikova, J. Kubat, J. Houzvicka, B. Rus, J. Collier, A. Lucianetti, T. Mocek
Performance comparison of Yb:YAG ceramics and crystal gain material in a large-area, high-energy, high average-power diode-pumped laser
Optics Express 28 (2020) 3636–3646.
doi.org/10.1364/OE.379713
4. **M. Duda**, **O. Novák**, **M. Smrž**, **A. Lucianetti**, **V. Kubeček**, **T. Mocek**
Numerical study of sum frequency ultrashort



- pulse compression in borate crystals
Journal of the Optical Society of America B-Optical Physics **37** (2020) 3229–3238.
doi.org/10.1364/JOSAB.401657
5. **M. Duda, O. Nvák, 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 Physics **30** (2020) 1–5.
doi.org/10.1088/1555-6611/ab60b0
 6. **M. Ferus, P. Kubelík, L. Petera, L. Lenža, J. Koukal, A. Křivková, V. Laitl, A. Knížek, H. Saeid rozeh, A. Pastorek, T. Kalvoda, L. Juha, R. Dudžák, S. Civiš, E. Chatzitheodoridis, M. Krūs**
Main spectral features of meteors studied using a terawatt-class high-power laser
Astronomy and Astrophysics **630**, A127 (2020) 1–20.
doi.org/10.1051/0004-6361/201935816
 7. **E. Gurevich, Y. Levy, N. Bulgakova**
Three-Step Description of Single-Pulse Formation of Laser-Induced Periodic Surface Structures on Metals
Nanomaterials **9** (2020) 1–15.
doi.org/10.3390/nano10091836
 8. **Koichi Hamamoto, Ryo Yasuhara, Shigeki Tokita, Michal Chyla, Junji Kawanaka**
Measurement of the piezoelectric coefficient of ceramic YAG and analysis of depolarization
Optical Materials Express **10** (2020) 891–898.
doi.org/10.1364/OME.384053
 9. **P. Hauschwitz, R. Jagdheesh, S. Alamri, D. Rostohar, T. Kunze, J. Brajer, J. Kopeček, T. Mocek**
Fabrication of functional superhydrophobic surfaces on carbon fibre reinforced plastics by IR and UV direct laser interference patterning
Applied Surface Science **508** (2020) 144817–144817-1.
doi.org/10.1016/j.apsusc.2019.144817
 10. **P. Hauschwitz, D. Jochcová, R. Jagdheesh, M. Cimrman, J. Brajer, D. Rostohar, T. Mocek, J. Kopeček, A. Lucianetti, M. Smrž**
Large-Beam Picosecond Interference Patterning of Metallic Substrates
Materials **13** (2020) 1–11.
doi.org/10.3390/ma13204676
 11. **Petr Hauschwitz, Bohumil Stoklasa, Jiří Kuchařík, Hana Turčičová, Michael Písařík, Jan Brajer, Danijela Rostohar, Tomáš Mocek, Martin Duda, Antonio Lucianetti**
Micromachining of Invar with 784 Beams Using 1.3 ps Laser Source at 515 nm
Materials **13** (2020) 2962(1)–2962(9).
doi.org/10.3390/ma13132962
 12. **R. Hippler, M. Čada, Z. Hubička**
Time-resolved diagnostics of a bipolar HiPIMS discharge
Journal of Applied Physics **127** (2020) 303303(1)–303303(10).
doi.org/10.1063/5.0006425
 13. **Jaromír Hrdý**
X-ray pulse stretching after diffraction
Journal of Applied Crystallography **53** (2020) 623–628.
doi.org/10.1107/S1600576720003714
 14. **J. Hrdý, P. Oberta**
Diffractive-refractive optics: focus size of sagittally focusing X-ray monochromator
Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A **980** (2020) 164469(1)–164469(4).
doi.org/10.1016/j.nima.2020.164469
 15. **J. Junek, L. Ondič, and K. Židek**
Random temporal laser speckles for the robust measurement of sub-microsecond photoluminescence decay
Optics Express **28** (2020) 12363–12372.
doi.org/10.1364/OE.382811
 16. **Karolina A. Drogowska-Horna, Inam Mirza, Alvaro Rodriguez, Petr Kovaříček, Juraj Sládek, Thibault J. -Y. Derrien, Mindaugas Gedvilas, Gediminas Račiukaitis, Otakar Frank, Nadezhda Bulgakova, Martin Kalbáč**
Periodic surface functional group density on graphene via laser-induced substrate patterning at Si/SiO₂ interface
Nano Research **13** (2020) 2332–2339.
doi.org/10.1007/s12274-020-2852-3
 17. **T. Kozák, A. D. Pajdarová, M. Čada, Z. Hubička, P. Mareš, J. Čapek**
Ion energy distributions at substrate in bipolar HiPIMS: effect of positive pulse delay, length and amplitude
Plasma Sources Science and Technology **29** (2020) 065003(1)–065003(10).
doi.org/10.1088/1361-6595/ab8fbb
 18. **Tadzio Levato, Michal Nevrkla, Muhammad Fahad Nawaz, Lorenzo Giuffrida, Filip Grepl, Haris Zulic, Jan Pilar, Martin Hanus, Martin Divoky, Antonio Lucianetti, Tomas Mocek, Daniele Margarone**
Experimental Study of Nanosecond Laser-Generated Plasma Channels
Applied Sciences **10** (2020) 4082(1)–4082(12).
doi.org/10.3390/app10124082

19. **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
Cellular and Molecular Life Sciences **77** (2020) 2815–2838.
doi.org/10.1007/s00018-019-03321-z
20. **R. Machulka, J. Peřina Jr.; O. Haderka, A. Allevi, M. Bondani**
Waves in intensity coherence of evolving intense twin beams
Physical Review A **101** (2020) 063841(1)-063841(7).
doi.org/10.1103/PhysRevA.101.063841
21. **V. Michálek, J. Peřina, O. Haderka**
Experimental Quantification of the Entanglement of Noisy Twin Beams
Physical Review Applied **14** (2020) 024003(1)-024003(8).
doi.org/10.1103/PhysRevApplied.14.024003
22. **J. Nejd, M. Kozlová, F. Tissandier, J. Gautier, J. -P. Goddet, A. Kabacinski, S. Sebban, G. Maynard**
Two-Color Soft X-Ray Lasing in a High-Density Nickel-like Krypton Plasma
Physical Review Letters **124** (2020) 133902–133902.
doi.org/10.1103/PhysRevLett.124.133902
23. **A. D. Pajdarová, T. Kozák, Z. Hubička, M. Čada, P. Mareš, J. Čapek**
Plasma parameters in positive voltage pulses of bipolar HiPIMS discharge determined by Langmuir probe with a sub-microsecond time resolution
Plasma Sources Science and Technology **29** (2020) 085016(1)-085016(11).
doi.org/10.1088/1361-6595/aba773
24. **P. Pavlíček, E. Mikeska**
White-light interferometer without mechanical scanning
Optical Engineering **124** (2020) 105800(1)-105800(7).
doi.org/10.1016/j.optlaseng.2019.105800
25. **J. Peřina, O. Haderka, V. Michálek**
Nonclassicality and entanglement criteria for bipartite optical fields characterized by quadratic detectors. II. Criteria based on probabilities
Physical Review A **102** (2020) 043713(1)-043713(15).
doi.org/10.1103/PhysRevA.102.043713
26. **J. Peřina, V. Michálek, O. Haderka**
Non-classicality of optical fields as observed in photocount and photon-number distributions
Optics Express **28** (2020) 32620–32631.
doi.org/10.1364/OE.405548
27. **V. Prysiashnyi, F. Dycka, J. Kratochvíl, V. Straňák**
Gas aggregated Ag NPs as a matrix for small molecules: a study on natural amino acids
Journal of Nanoparticle Research **22** (2020) 351(1)-351(13).
doi.org/10.1007/s11051-020-05082-4
28. **Jan Racek, Jan Duchoň, Marek Vronka, Miroslav Cieslar**
TEM observation of twins in surface grains of superelastic NiTi wire after cyclic loading
Materials Science and Engineering A **782** (2020) 139271(1)-139271(6).
doi.org/10.1016/j.msea.2020.139271
29. **P. B. Rimmer, M. Ferus, I. P. Waldmann, A. Knížek, D. Kalvaitis, O. Ivanek, P. Kubelík, S. N. Yurchenko, T. Burian, J. Dostál, L. Juha, R. Dudžák, M. Kr s, J. Tennyson, S. Civiš, A. T. Archibald, A. Granville-Willett**
Identifiable Acetylene Features Predicted for Young Earth-like Exoplanets with Reducing Atmospheres Undergoing Heavy Bombardment
Astrophysical Journal **888**:21 (2020) 1–12.
doi.org/10.3847/1538-4357/ab55e8
30. **J. Roik, K. Lemr, A. Černocho, K. Bartkiewicz**
Interplay between strong and weak measurement: comparison of three experimental approaches to weak value estimation
Journal of Optics **22** (2020) 065202(1)-065202(9).
doi.org/10.1088/2040-8986/ab8a7a
31. **Yury Ryabchikov, Jan Behrends**
Expedient paramagnetic properties of surfactantfree plasmonic siliconbased nanoparticles
Optical and Quantum Electronics **52** (2020) 177(1)-177(17).
doi.org/10.1007/s11082-020-02297-6
32. **Marine Scius-Bertrand, Laurent Videau, Alexandre Rondepierre, Emilien Lescoute, Yann Rouchausse, Jan Kaufman, Danijela Rostohar, Jan Brajer, Laurent Berthe**
Laser induced plasma characterization in direct and water confined regimes: new advances in experimental studies and numerical modelling
Journal of Physics D: Applied Physics **54** (2020) 1–14.
doi.org/10.1088/1361-6463/abc040



33. **P. Severová, S. S. Nagisetty, M. Chyla, T. Miura, A. Endo, M. Smrž, T. Mocek**
Investigation of spectrally-dependent phonon relaxation mechanism in Yb:YAG gain media and its consequences for thin disk laser performance
Laser Physics **30** (2020) 1 (8pp)-7 (8pp).
doi.org/10.1088/1555-6611/ab602a
34. **O. Slezák, A. Lucianetti, T. Mocek**
Tensor-to-matrix mapping in elasto-optics
Journal of the Optical Society of America B-Optical Physics **37** (2020) 1090–1097.
doi.org/10.1364/JOSAB.383975
35. **P. Šmíd, V. Havránek, G. Ivanov**
Detection of visual defects on rotationally symmetric objects
Journal of the Optical Society of America A: Optics, Image Science, and Vision **37** (2020) 1583–1594.
doi.org/10.1364/JOSAA.394091
36. **Hanna Sopha, Inam Mirza, Hana Turcicova, David Pavlinak, Jan Michalicka, Milos Krbal, Jhonatan Rodriguez-Pereira, Ludek Hromadko, Ondrej Novak, Jiri Muzik, Martin Smrz, Eva Kolibalova, Nathan Goodfriend, Nadezhda Bulgakova, Tomas Mocek, Jan M. Macak**
Laser-induced crystallization of anodic TiO₂ nanotube layers
RSC Advances **10** (2020) 22137–22145.
doi.org/10.1039/d0ra02929g
37. **A. Špaček, L. Indra, F. Batysta, P. Hříbek, J. T. Green, J. Novák, R. Antipenkov, P. Bakule, B. Rus**
Stability mechanism of picosecond supercontinuum in YAG
Optics Express **28** (2020) 20205–20214.
doi.org/10.1364/OE.394879
38. **S. Starinskiy, A. Rodionov, Y. Shukhov, A. Safonov, E. Maximovskiy, V. Sulyaeva, A. Bulgakov**
Formation of periodic superhydrophilic microstructures by infrared nanosecond laser processing of single-crystal silicon
Applied Surface Science **512** (2020) 1–9.
doi.org/10.1016/j.apsusc.2020.145753
39. **S. Starinskiy, A. Safonov, V. Sulyaeva, A. Rodionov, Y. Shukhov, A. Bulgakov**
An optical method for determination of the mass thickness of thin gold films with arbitrary morphology
Thin Solid Films **714** (2020) 1–7.
doi.org/10.1016/j.tsf.2020.138392
40. **Denisa Štěpánková, Jiří Mužík, Ondřej Novák, Lukáš Roškot, Vadim Smirnov, Leonid Glebov, Michal Jelínek, Martin Smrž, Antonio Lucianetti, Tomáš Mocek**
Experimental study on compression of 216-W laser pulses below 2 ps at 1030 nm with chirped volume Bragg grating
Applied Optics **59** (2020) 7938 (1)-7944 (7).
doi.org/10.1364/AO.400415
41. **P. Topka, M. Dvořáková, P. Kšířová, R. Perekrestov, M. Čada, J. Balabánová, M. Koštejn, K. Jiráková, F. Kovanda**
Structured cobalt oxide catalysts for VOC abatement: the effect of preparation method
Environmental Science and Pollution Research **27** (2020) 7608–7617.
doi.org/10.1007/s11356-019-06974-2
42. **V. Trávníček, K. Bartkiewicz, A. Černoč, K. Lemr**
Experimental Diagnostics of Entanglement Swapping by a Collective Entanglement Test
Physical Review Applied **14** (2020) 064071(1)-064071(10).
doi.org/10.1103/PhysRevApplied.14.064071
43. **V. A. Trepakov, A. P. Skvortsov, Z. Potůček, L. Jastrabík, A. Dejneka**
Temperature Shift of the Zero-Phonon f-f Lines of Er³⁺ Luminescence in Quantum Paraelectric KTaO₃
Physics of the Solid State **62** (2020) 912–918.
doi.org/10.1134/S1063783420050303
44. **M. Uzhytchak, B. Smolková, M. Lunova, M. Jirsa, A. Frtús, Š. Kubinová, A. Dejneka, O. Lunov**
Iron Oxide Nanoparticle-Induced Autophagic Flux Is Regulated by Interplay between p53-mTOR Axis and Bcl-2 Signaling in Hepatic Cells
Cells **9** (4) (2020) 1015 (1)-1015 (24).
doi.org/10.3390/cells9041015
45. **P. K. Velpula, D. Kramer, B. Rus**
Femtosecond Laser-Induced Damage Characterization of Multilayer Dielectric Coatings
Coatings **10** (2020) 6–6.
doi.org/10.3390/coatings10060603
46. **A. V. Vlasov, N. L. Maliar, S. V. Bazhenov, E. I. Nikelshparg, N. A. Brazhe, A. D. Vlasova, S. D. Osipov, V. V. Sudarev, Y. L. Ryzhykau, A. O. Bogorodskiy, E. V. Zinovev, A. V. Rogachev, I. V. Manukhov, V. I. Borshchevskiy, A. I. Kuklin, J. Pokorný, O. Sosnovtseva, G. V. Maksimov, V. I. Gordeliy**
Raman scattering: from structural biology to medical applications
Crystals **10** (2020) 38–49.
doi.org/10.3390/cryst10010038

47. David Vojna, **Martin Duda**, Ryo Yasuhara, **Ondřej Slezák**, Wolfgang Schlichting, Kevin Stevens, Hengjun Chen, **Antonio Lucianetti**, **Tomáš Mocek**
Verdet constant of potassium terbium fluoride crystal as a function of wavelength and temperature
Optics Letters **45** (2020) 1683–1686.
doi.org/10.1364/OL.387911
48. **D. Vojna**, **O. Slezák**, R. Yasuhara, H. Furuse, **A. Lucianetti**, **T. Mocek**
Faraday Rotation of Dy_2O_3 , CeF_3 and $\text{Y}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ at the Mid-Infrared Wavelengths
Materials **13** (2020) 5324 (1)-5324 (18).
doi.org/10.3390/ma13235324
49. Fangxin Yue, Pavel Loiko, Mengting Chen, Josep Maria Serres, Yicheng Wang, Jiang Li, Liza Basyrova, Elena Dunina, Alexey Kornienko, Liudmila Fomicheva, Shibo Dai, Zhenqiang Chen, Ji Eun Bae, Tae Gwan Park, Fabian Rotermund, Venkatesan Jambunathan, Antonio Lucianetti, Tomas Mocek, Magdalena Aguiló, Francesc Díaz, Uwe Griebner, Valentin Petrov, and Xavier Mateos
Spectroscopy and diode-pumped laser operation of transparent $\text{Tm}:\text{Lu}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ ceramics produced by solid-state sintering
Optics Express **28** (2020) 28399–28413.
doi.org/10.1364/OE.400802
4. M Bardon, J G Moreau, L Romagnani, C Rousseaux, M Ferri, F Lefevre, I Lantuejoul, B Etchessahar, S Bazzoli, D Farcage, H Maskrot, F Serres, M Chevrot, E Loyez, E Veuillot, W Cayzac, B Vauzour, G Boutoux, G Sary, A Compant La Fontaine, L Gremillet, A Poye, E D Humieres and V T Tikhonchuk
Physics of chromatic focusing, post-acceleration and bunching of laser-driven proton beams in helical coil targets
Plasma Physics and Controlled Fusion **62** (2020) 125019 (1)-125019 (14).
doi.org/10.1088/1361-6587/abbe35
5. A. Ben-Asher, **D. Šimsa**, T. Uhlířová, **M. Šindelka**, N. Moiseyev
Laser Control of Resonance Tunneling via an Exceptional Point
Physical Review Letters **124** (2020) 253202(1)-253202(6).
doi.org/10.1103/PhysRevLett.124.253202
6. Blackman, DR; Nuter, R; Korneev, P.; Tikhonchuk, VT.
Nonlinear Landau damping of plasma waves with orbital angular momentum
Physical Review E **102** (2020) 033208 (1)-033208 (8).
doi.org/10.1103/PhysRevE.102.033208
7. D. Bleiner, **L. Juha**, Di Qu
TUTORIAL REVIEW: Soft X-ray laser ablation for nano-scale chemical mapping microanalysis
Journal of Analytical Atomic Spectrometry **35** (2020) 1051–1070.
doi.org/10.1039/c9ja00366e

Fyzika interakce laserového záření s hmotou

1. Hadjisolomou, P; Tsygvintsev, IP; Sasorov, P; Gasilov, V ; Korn, G; Bulanov, SV
Preplasma effects on laser ion generation from thin foil targets
Physics of Plasmas **27** (2020) 013107 (1)-013107 (16).
doi.org/10.1063/1.5124457
2. Valenta, P; Esirkepov, TZ; Koga, JK; Pirozhkov, AS; Kando, M; Kawachi, T; Liu, Y-K ; Fang, P; Chen, P; Mu, J; Korn, G; Klimo, O ; Bulanov, SV
Recoil effects on reflection from relativistic mirrors in laser plasmas
Physics of Plasmas **27** (2020) 032109 (1)-032109 (9).
doi.org/10.1063/1.5142084
3. Lazzarini, CM; Goncalves, LV; Grittani, GM; Lorenz, S ; Nevrkla, M; Valenta, P; Levato, T; Bulanov, SV; Korn, G
Electron acceleration at ELI-Beamlines: Towards high-energy and high-repetition rate accelerators
International Journal of Modern Physics A **34** (2020) 1943010 (1)-1943010 (18).
doi.org/10.1142/S0217751X19430103
8. P. Bradford, M. P. Rea, M. Ehret, L. Antonelli, M. Khan, N. Booth, K. Glize, D. Carroll, R. J. Clarke, R. Heathcote, S. Ryazantsev, S. Pikuz C. Spindloe, J. D. Moody, B. B. Pollock, V. T. Tikhonchuk, C. P. Ridgers, J. J. Santos and N. C. Woolsey
Proton deflectometry of a capacitor coil target along two axes
High Power Laser Science and Engineering **8** (2020) e11 (1)-e11 (9).
doi.org/10.1017/hpl.2020.9
9. **T. Burian**, **J. Chalupský**, **V. Hájková**, **M. Toufarová**, **V. Vorlíček**, S. Hau-Riege, J. Krzywinski, J. D. Bozek, C. Bostedt, A. T. Graf, U. F. Jastrow, S. Kreis, R. A. London, M. Messerschmidt, S. Moeller, R. Sobierajski, K. Tiedtke, M. de Grazia, T. Auguste, B. Carré, S. Guizard, H. Merdji, **N. Medvedev**, **L. Juha**
Subthreshold Erosion of an Organic Polymer Induced by Multiple Shots of an X-Ray Free-Electron Laser
Physical Review Applied **14** (2020) 034057(1)-



- 034057(14).
doi.org/10.1103/PhysRevApplied.14.034057
10. T. Chodukowski, S. Borodziuk, Z. Rusiniak, J. Cikhardt, K. Jach, **J. Krása**, M. Rosinski, D. Terwinska, **R. Dudžák**, T. Pisarczyk, R. Swierczynski, **T. Burian**, P. Tchorz, **J. Dostal**, M. Szymanski, **M. Pfeifer**, **J. Skála**, S. Singh, M. Krupka, M. Krůs
 Neutron production in cavity pressure acceleration of plasma objects
AIP Advances **10** (2020) 085206/1-085206/6.
doi.org/10.1063/5.0005977
 11. M. F. Ciappina, E. E. Peganov and S. V. Popruzhenko
 Focal-shape effects on the efficiency of the tunnel-ionization probe for extreme laser intensities
Matter and Radiation at Extremes **5** (2020) 044401 (1)-044401 (10).
doi.org/10.1063/5.0005380
 12. F. Consoli, V. T. Tikhonchuk, M. Bardon, P. Bradford, D. C. Carroll, J. Cikhardt, M. Cipriani, R. J. Clarke, T. E. Cowan, C. N. Danson, R. De Angelis, **M. De Marco**, J. -L. Dubois, B. Etchessahar, A. L. Garcia, D. I. Hillier, A. Honsa, W. Jiang, V. Kmetik, **J. Krása**, Y. Li, F. Lubrano, P. McKenna, J. Metzkes-Ng, A. Poyé, I. Prencipe, P. Raczka, R. A. Smith, R. Vrana, N. C. Woolsey, E. Zemaityte, Y. Zhang, Z. Zhang, B. Zielbauer, D. Neely
 REVIEW: Laser produced electromagnetic pulses: generation, detection and mitigation
High Power Laser Science and Engineering **8**, e22 (2020) 1–59.
doi.org/10.1017/hpl.2020.13
 13. Daniil O. Golovin, Seyed R. Mirfayzi, Yan Jun Gu, Yuki Abe, Yuki Honoki, Takato Mori, Hideo Nagatomo, Kazuki Okamoto, Satoru Shokita, Kohei Yamanoi, Yasunobu Arikawa, **Georg Korn**, Tatiana A. Pikuz, Shinsuke Fujioka, Ryosuke Kodama, Sergey V. Bulanov, Akifumi Yogo
 Enhancement of ion energy and flux by the influence of magnetic reconnection in foam targets
High Energy Density Physics **36** (2020) 100840 (1)-100840 (5).
doi.org/10.1016/j.hedp.2020.100840
 14. Rostyslav Danylo, Guillaume Lambert, Yi Liu, Vladimir Tikhonchuk, Aurelien Houard AND Andre Mysyrowicz
 Quantum erasing of laser emission in N_2^+
Optics Letters **45** (2020) 4670–4673.
doi.org/10.1364/OL.395261
 15. M. Dhital, S. Bastola, A. Silvas, J. Davis, B. R. Lamichhane, E. Ali, M. F. Ciappina, R. Lomsadze, A. Hasan, D. H. Madison and M. Schulz
 Ejected-electron-energy and angular dependence of fully differential ionization cross sections in medium-velocity proton collisions with He and H_2
Physical Review A **102** (2020) 032818 (1)-032818 (13).
doi.org/10.1103/PhysRevA.102.032818
 16. Feger, G; Angelov, B; Angelova, A Prediction of Amphiphilic Cell-Penetrating Peptide Building Blocks from Protein-Derived Amino Acid Sequences for Engineering of Drug Delivery Nanoassemblies
Journal of Physical Chemistry B **124** (2020) 4069–4078.
doi.org/10.1021/acs.jpchb.0c01618
 17. Shirley Espinoza, Fabio Samparisi, Fabio Frassetto, Steffen Richter, Mateusz Rebarz, **Ondrej Finke**, **Martin Albrecht**, **Matej Jurkovic**, **Ondrej Hort**, Nicola Fabris, Anna Zymaková, Dong Du Mai, Roman Antipenkov, **Jaroslav Nejdrl**, Luca Poletto and Jakob Andreasson
 Characterization of the high harmonics source for the VUV ellipsometer at ELI Beamlines
 Characterization of the high harmonics source for the VUV ellipsometer at ELI Beamlines
Journal of Vacuum Science and Technology B **38** (2020) 024005 (1)-024005 (5).
doi.org/10.1116/1.5129674
 18. Espinoza S., Samparisi F., Frassetto F., Richter S., Rebarz M., **Finke O.**, **Albrecht M.**, **Jurkovic M.**, **Hort O.**, Fabris N., Zymaková A., Mai D., Antipenkov R., **Nejdrl J.**, Poletto L., **Andreasson J.**
 Characterization of the high harmonics source for the VUV ellipsometer at ELI Beamlines
Journal of Vacuum Science and Technology B **38** (2020) 024005-1-024005-5.
doi.org/10.1116/1.5129674
 19. **K. Falk**, C. J. Fontes, C. L. Fryer, C. W. Greeff, M. Holec, H. M. Johns, D. S. Montgomery, D. W. Schmidt, **M. Šmíd**
 Experimental observation of elevated heating in dynamically compressed CH foam
Plasma Physics and Controlled Fusion **62** (2020) 074001-1-074001-10.
doi.org/10.1088/1361-6587/ab8bb3
 20. **M. Ferus**, L. Petera, J. Koukal, L. Lenža, B. Drtinová, J. Haloda, D. Matýšek, A. Pastorek, V. Laitl, R. C. Poltronieri, M. W. Domingues, G. Gonçalves, R. del Olmo Sato, A. Knížek, **P. Kubelík**, A. Křivková, J. Srba, C. A. di Pietro,

- M. Bouša, T. Vaculovič, S. Civiš
Elemental composition, mineralogy and orbital parameters of the Porangaba meteorite
Icarus **341** (2020) 113670(1)-113670(13).
doi.org/10.1016/j.icarus.2020.113670
21. M. Galletti, F. G. Bisesto, M. P. Anania, M. Ferrario, R. Pompili, A. Poyé, V. Tikhonchuk, and A. Zigler
Direct observation of ultrafast electrons generated by high-intensity laser-matter interaction
Applied Physics Letters **116** (2020) 064102 (1)-064102 (5).
doi.org/10.1063/1.5142265
22. E. G. Gelfer, A. M. Fedotov, O. Klimo and S. Weber
Absorption and opacity threshold for a thin foil in a strong circularly polarized laser field
Physical Review E **101** (2020) 033204 (1)-033204 (6).
doi.org/10.1103/PhysRevE.101.033204
23. 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. Istokskaia, R. Catalano, S. Tudisco, C. Verona, K. Jungwirth, P. Bellutti, G. Korn, G. A. P. Cirrone
High-current stream of energetic α particles from laser-driven proton-boron fusion
Physical Review E **101** (2020) 013204-1-013204-13.
doi.org/10.1103/PhysRevE.101.013204
24. Giuseppe A. P. Cirrone, Giada Petringa, Roberto Catalano, Francesco Schillaci, Luciano Allegra, Antonino Amato, Renato Avolio, Michele Costa, Giacomo Cuttone, Antonin Fajstavr, Giuseppe Gallo, Lorenzo Giuffrida, Mariacristina Guarrera, Georg Korn, Giuseppina Larosa, Renata Leanza, Enzo Lo Vecchio, Gustavo Messina, Giuliana Milluzzo, Veronika Olsovcova, Salvatore Pulvirenti, Jan Pipek, Francesco Romano, Daniele Rizzo, Antonio D. Russo, S. Salamone, Valentina Scuderi, Andriy Velyhan, Salvatore Vinciguerra, Martina Zakova, Emilio Zappalà and Daniele Margarone
ELIMED-ELIMAIA: The First Open User Irradiation Beamline for Laser-Plasma-Accelerated Ion Beams
Frontiers in Physics **8** (2020) 564907 (1)-564907 (8).
doi.org/10.3389/fphy.2020.564907
25. A. J. Gonsalves, K. Nakamura, C. Benedetti, C. V. Pieronek, S. Steinke, J. H. Bin, S. S. Bulanov, J. van Tilborg, C. G. R. Geddes, C. B. Schroeder, J. Daniels, Cs. Tóth, L. Obst-Huebl, R. G. W. van den Berg, G. Bagdasarov, N. Bobrova, V. Gasilov, G. Korn, P. Sasorov, W. P. Leemans and E. Esarey
Laser-heated capillary discharge plasma waveguides for electron acceleration to 8 GeV
Physics of Plasmas **27** (2020) 053102 (1)-053102 (11).
doi.org/10.1063/5.0002769
26. Haden, D.; Golovin, G.; Yan, W.; Fruhling, C.; Zhang, P.; Zhao, B.; Banerjee, S.; Umstadter, D.
High energy X-ray Compton spectroscopy via iterative reconstruction
Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A **951** (2020) 163032 (1)-163032 (9).
doi.org/10.1016/j.nima.2019.163032
27. P Hadjisolomou, H Ahmed, R Prasad, M Cerchez, S Brauckmann, B Aurand, A M Schroer, M Swantusch, O Willi, M Borghesi and S Kar
Dynamics of guided post-acceleration of protons in a laser-driven travelling-field accelerator
Plasma Physics and Controlled Fusion **62** (2020) 115023 (1)-115023 (9).
doi.org/10.1088/1361-6587/abb91a
28. Prokopis Hadjisolomou, S. V. Bulanov and G. Korn
Towards laser ion acceleration with holed targets
Journal of Plasma Physics **86** (2020) 905860304 (1)-905860304 (23).
doi.org/10.1017/S0022377820000379
29. Khakurel, KP; Angelov, B; Andreasson, J
Macromolecular Nanocrystal Structural Analysis with Electron and X-Rays: A Comparative Review
Molecules **24** (2020) 1–13.
doi.org/10.3390/molecules24193490
30. Zhang, X; Danylo, R; Fan, ZQ; Ding, PJ; Kou, CH; Liang, QQ; Houard, A ; Tikhonchuk, V ; Mysyrowicz, A ; Liu, Y
Backward lasing of singly ionized nitrogen ions pumped by femtosecond laser pulses
Applied Physics B: Laser and Optics **126** (2020) 53 (1)- 53 (7).
doi.org/10.1007/s00340-020-7402-x
31. P. Hauschwitz, R. Jagdheesh, S. Alamri, D. Rostohar, T. Kunze, J. Brajer, J. Kopeček, T. Mocek
Fabrication of functional superhydrophobic surfaces on carbon fibre reinforced plastics by IR and UV direct laser interference patterning
Applied Surface Science **508** (2020) 1–9.
doi.org/10.1016/j.apsusc.2019.144817



32. **P. Hauschwitz**, D. Jochcová, R. Jagdheesh, **D. Rostohar**, **J. Brajer**, J. Kopeček, M. Cimrmana, M. Smrž, T. Mocek, A. Lucianetti Towards rapid large-scale LIPSS fabrication by 4-beam ps DLIP *Optics and Laser Technology* **133** (2020) 106532-1-106532-5.
doi.org/10.1016/j.optlastec.2020.106532
33. **P. Hauschwitz**, D. Jochcová, R. Jagdheesh, **M. Cimrman**, **J. Brajer**, **D. Rostohar**, **T. Mocek**, J. Kopeček, **A. Lucianetti**, **M. Smrž** Large-Beam Picosecond Interference Patterning of Metallic Substrates *Materials* **13** (2020) 4676–1-4676–11.
doi.org/10.3390/ma13204676
34. Yusaku Hontani, Matthias Broser, Meike Luck, Joern Weissenborn, Miroslav Kloz, Peter Hegemann, and John T. M. Kennis Dual Photoisomerization on Distinct Potential Energy Surfaces in a UV-Absorbing Rhodopsin *Journal of the American Chemical Society* **142** (2020) 11464–11473.
doi.org/10.1021/jacs.0c03229
35. Fangzhou Hu, Borislav Angelov, Shuang Li, Na Li, Xubo Lin and Aihua Zou Single-Molecule Study of Peptides with the Same Amino Acid Composition but Different Sequences by Using an Aerolysin Nanopore *ChemBioChem* **21** (2020) 2467–2473.
doi.org/10.1002/cbic.202000119
36. Ciappina, MF; Iorio, A; Pais, P; Zampeli, A Torsion in quantum field theory through time-loops on Dirac materials *Physical Review D* **101** (2020) 036021 (1)-036021 (13).
doi.org/10.1103/PhysRevD.101.036021
37. Williams, GJ; Patankar, S ; Mariscal, DA; Tikhonchuk, VT; Bude, JD; Carr, CW; Goyon, C; Norton, MA; Pollock, BB; Rubenchik, AM; Swadling, G; Tubman, ER; Moody, J Laser intensity scaling of the magnetic field from a laser-driven coil target *Journal of Applied Physics* **127** (2020) 083302 (1)-083302 (8).
doi.org/10.1063/1.5117162
38. Tissandier, F; Gautier, J; Goddet, JP; Kabacinski, A ; Sebban, S ; Nejdil, J; Kozlova, M; Maynard, G Two-Color Soft X-Ray Lasing in a High-Density Nickel-like Krypton Plasma *Physical Review Letters* **124** (2020) 133902 (1)-133902 (6).
doi.org/10.1103/PhysRevLett.124.133902
39. Pizl, M; Picchiotti, A ; Rebarz, M; Lenngren, N; Liu, YL; Zalis, S ; Kloz, M, Vlcek, Antonin Time-Resolved Femtosecond Stimulated Raman Spectra and DFT Anharmonic Vibrational Analysis of an Electronically Excited Rhenium Photosensitizer *Journal of Physical Chemistry A* **124** (2020) 1253–1265.
doi.org/10.1021/acs.jpca.9b10840
40. James K. Koga, Masakatsu Murakami, Alexey V. Arefiev, Yoshihide Nakamiya, Stepan **S. Bulanov**, Sergei V. Bulanov Electron-positron pair creation in the electric fields generated by micro-bubble implosions *Physics Letters A* **384** (2020) 126854 (1)-126854 (7).
doi.org/10.1016/j.physleta.2020.126854
41. Jirka, M.; Vranic, M.; Grismayer, T.; Silva, LO. Scaling laws for direct laser acceleration in a radiation-reaction dominated regime *New Journal of Physics* **22** (2020) 083058 (1)-083058 (20).
doi.org/10.1088/1367-2630/aba653
42. **Martin Jirka**, **Ondrej Klimo**, Yan-Jun Gu and Stefan Weber Enhanced photon emission from a double-layer target at moderate laser intensities *Scientific Reports* **10** (2020) 8887 (1)-8887 (8).
doi.org/10.1038/s41598-020-65778-4
43. N. Jourdain, U. Chaulagain, M. Havlik, **D. Kramer**, D. Kumar, I. Majerova, V. T. Tikhonchuk, **G. Korn** and **S. Weber** The L4n laser beamline of the P3-installation: Towards high-repetition rate high-energy density physics at ELI-Beamlines *Matter and Radiation at Extremes* **6** (2020) 015401-1-015401-9.
doi.org/10.1063/5.0022120
44. Kawata, S.; Karino, T.; Gu, Y. J. Phase control of a z-current-driven plasma column *Physical Review E* **101** (2020) 041201 (1)-041201 (5).
doi.org/10.1103/PhysRevE.101.041201
45. Evgeniy Khain, Baruch Meerson and **Pavel Sasorov** Velocity fluctuations of stochastic reaction fronts propagating into an unstable state: Strongly pushed fronts *Physical Review E* **102** (2020) 022137 (1)-022137 (9).
doi.org/10.1103/PhysRevE.102.022137
46. D. Klir, S. L. Jackson, A. V. Shishlov, V. A. Kokshenev, K. Rezac, A. R. Beresnyak, R. K. Cherdizov, J. Cikhardt, B. Cikhardtova, G. N. Dudkin, J. T. Engelbrecht, F. I. Fursov,

- J. Krása**, J. Kravarik, P. Kubes, N. E. Kurmaev, V. Munzar, N. A. Ratakhin, K. Turek, V. A. Varlachev
Ion acceleration and neutron production in hybrid gas-puff z-pinch on the GIT-12 and HAWK generators
Matter and Radiation at Extremes **5** (2020) 026401(1)-026401(10).
doi.org/10.1063/1.5132845
47. D. Klir, A. V. Shishlov, S. L. Jackson, V. A. Kokshenev, P. Kubes, K. Rezac, A. R. Beresnyak, R. K. Cherdizov, J. Cikhardt, B. Cikhardtova, G. N. Dudkin, J. T. Engelbrecht, F. I. Fursov, J. Kaufman, **J. Krása**, J. Kravarik, N. E. Kurmaev, V. Munzar, N. A. Ratakhin, K. Turek, V. A. Varlachev
Spatial distribution of ion emission in gas-puff z-pinch and dense plasma foci
Plasma Physics and Controlled Fusion **62**, 035009 (2020) 035009-1-035009-13.
doi.org/10.1088/1361-6587/ab6902
48. D. Klir, A. V. Shishlov, V. A. Kokshenev, S. L. Jackson, K. Řezáč, R. K. Cherdizov, J. Cikhardt, G. N. Dudkin, F. I. Fursov, **J. Krása**, J. Kravarik, P. Kubeš, N. E. Kurmaev, V. Munzar, N. A. Ratakhin, K. Turek, V. A. Varlachev
Production of energetic protons, deuterons, and neutrons up to 60 MeV via disruption of a current-carrying plasma column at 3 MA
New Journal of Physics **22** (2020) 103036(1)-103036(17).
doi.org/10.1088/1367-2630/abbab5
49. **Michaela Kozlova**, Igor Andriyash, **Julien Gautier**, **Stephane Sebban**, Slava Smartsev, Noemie Jourdain, Uddhab Chulagain, Yasmina Azamoum, Amar Tafzi, Jean-Philippe Goddet, Kosta Oubrierie Cedric Thauray, 4 Antoine Rousse, 4 and Kim Ta Phuoc4, *
Hard X Rays from Laser-Wakefield Accelerators in Density Tailored Plasmas
Physical Review X **10** (2020) 011061 (1)- 011061 (7).
doi.org/10.1103/PhysRevX.10.011061
50. **J. Krása**, F. Consoli, J. Cikhardt, **M. Pfeifer**, R. De Angelis, M. Krupka, D. Klir, K. Řezáč, J. Dostál, M. Krůs, **R. Dudžák**
Effect of expanding plasma on propagation of electromagnetic pulses by laser-plasma interaction
Plasma Physics and Controlled Fusion **62** (2020) 025021/1-025021/8.
doi.org/10.1088/1361-6587/ab5c4e
51. **J. Krása**, D. Klir
Scaling of Laser Fusion Experiments for DD-Neutron Yield
Frontiers in Physics **8** (A 310) (2020) 1–8.
doi.org/10.3389/fphy.2020.00310
52. **J. Krása**, D. Klir, J. Cikhardt, **M. Pfeifer**, H. Hora, M. Krupka, K. Řezáč, **R. Dudžák**, J. Dostál, **T. Burian**, M. Krůs, **J. Skála**, **K. Jungwirth**, Z. Rusiniak, T. Pisarczyk, T. Chodukowski
Laser-Target Experiments at PALS for Deuterium Plasma Beam Fusion
Acta Physica Polonica A **138**, No 4 (2020) 579–585.
doi.org/10.12693/APhysPolA.138.579
53. **J. Krása**, D. Klir, M. Krupka, J. Cikhardt, **M. Pfeifer**, T. Pisarczyk, J. Dostál, K. Řezáč, **R. Dudžák**, **T. Burian**, Z. Rusiniak, T. Chodukowski, M. Krůs, M. Kálal
Ion bursts and multi-electron population in expanding laser-produced plasma
Journal of Instrumentation **15** (2020) C05046(1)-C05046(9).
doi.org/10.1088/1748-0221/15/05/C05046
54. D. Kumar, S. Singh, H. Ahmed, **R. Dudžák**, **J. Dostál**, T. Chodukowski, L. Giuffrida, P. Hadjisolomu, T. Hodge, **L. Juha**, **E. Krouský**, M. Krůs, Y. Li, P. Lutoslawski, M. De Marco, **M. Pfeifer**, Z. Rusiniak, **J. Skála**, J. Ullschmeid, T. Pisarczyk, M. Borghesi, S. Kar
Magnetic field generation using single-plate targets driven by kJ-ns class laser
Plasma Physics and Controlled Fusion **62** (2020) 125024–125011.
doi.org/10.1088/1361-6587/abb617
55. Deepak Kumar, Sushil Singh, Hamad Ahmed, Roman Dudžák, **Jan Dostál**, Tomasz Chodukowski, Lorenzo Giuffrida, Prokopis Hadjisolomu, Thomas Hodge, **Libor Juha**, **Eduard Krouský**, Miroslav Krus, Yuanzhe Li, **Piotr Lutoslawski**, **Massimo De Marco**, **Miroslav Pfeifer**, Zofia Rusiniak, Jiri Skala, Jiri Ullschmeid, Tadeusz Pisarczyk, **Marco Borghesi** and Satyabrata Kar
Magnetic field generation using single-plate targets driven by kJ-ns class laser
Plasma Physics and Controlled Fusion **62** (2020) 125024 (1)-125024 (2).
doi.org/10.1088/1361-6587/abb617
56. Valentyna Kuznetsova, Maria Agustina Dominguez-Martin, Han Bao, Sayan Gupta, Markus Sutter, Miroslav Klotz, Mateusz Rebarz, Martin Přechek, Yan Chen, Christopher J. Petzold, Corie Y. Ralston, Cheryl A. Kerfeld, Tomáš Polívka
Comparative ultrafast spectroscopy and structural analysis of OCP1 and OCP2 from Tolypothrix
Biochimica et Biophysica Acta-Biomembranes **1861**



- (2020) 148120 (1)-148120 (41).
doi.org/10.1016/j.bbabbio.2019.148120
57. **J. Limpouch**, V. T. Tikhonchuk, J. Dostál, **R. Dudžák**, M. Krupka, N. G. Borisenko, J. Nikl, A. A. Akunets, L. A. Borisenko, V. G. Pimenov
 Characterization of residual inhomogeneities in a plasma created by laser ionization of a low-density foam
Plasma Physics and Controlled Fusion **62** (2020) 035013-1-035013-6.
doi.org/10.1088/1361-6587/ab6b4d
 58. S Lorenz, G Grittani, L V N Goncalves, C M Lazzarini, J Limpouch, M Nevrla, S Bulanov and G Korn
 Tomographic reconstruction algorithms for structured gas density profiles of the targets for laser wakefield acceleration
Measurement Science and Technology **31** (2020) 085205 (1)-085205 (11).
doi.org/10.1088/1361-6501/ab7cf5
 59. Erik Lötstedt, Marcelo F. Ciappina and Kaoru Yamanouchi
 Static-field ionization model of He-like ions for diagnostics of light-field intensity
Physical Review A **102** (2020) 013112 (1)-013112 (13).
doi.org/10.1103/PhysRevA.102.013112
 60. P. Mabey, B. Albertazzi, G. Rigon, J.R. Marquès, C. A. J. Palmer, J. Topp-Mugglestone, P. Perez-Martin, F. Kroll, F. -E. Brack, T. E. Cowan, U. Schramm, **K. Falk**, G. Gregori, E. Falize, M. Koenig
 Laboratory Study of Bilateral Supernova Remnants and Continuous MHD Shocks
Astrophysical Journal **896**:167 (2020) 1-7.
doi.org/10.3847/1538-4357/ab92a4
 61. **Daniele Margarone**, Alessio Morace, Julien Bonvalet, Yuki Abe, Vasiliki Kantarelou, Didier Raffestin, Lorenzo Giuffrida, Philippe Nicolai, Marco Tosca, Antonino Picciotto, Giada Petringa, Giuseppe A. **P. Cirrone**, Yuji Fukuda, Yasuhiro Kuramitsu, Hideaki Habara, Yasunobu Arikawa, Shinsuke Fujioka, Emmanuel D'Humieres, **Georg Korn** and Dimitri Batani
 Generation of alpha-Particle Beams With a Multi-kJ, Peta-Watt Class Laser System
Frontiers in Physics **8** (2020) 343 (1)- 343 (5).
doi.org/10.3389/fphy.2020.00343
 62. Martin Matys, Katsunobu Nishihara, Mariana Kecova, **Jan Psikal**, **Georg Korn**, Sergei V. Bulanov
 Laser-driven generation of collimated quasi-monoenergetic proton beam using double-layer target with modulated interface
High Energy Density Physics **36** (2020) 100844 (1)-100844 (11).
doi.org/10.1016/j.hedp.2020.100844
 63. **N. Medvedev**
 Nonthermal phase transitions in irradiated oxides
Journal of Physics: Condensed Matter **32** (2020) 435401(1)-435401(8).
doi.org/10.1088/1361-648X/aba389
 64. **N. Medvedev**, I. Milov
 Electron-phonon coupling in metals at high electronic temperatures
Physical Review B **102** (2020) 064302(1)-064302(22).
doi.org/10.1103/PhysRevB.102.064302
 65. **N. Medvedev**, I. Milov
 Nonthermal phase transitions in metals
Scientific Reports **10** (2020) 12775(1)-12775(8).
doi.org/10.1038/s41598-020-69604-9
 66. **N. Medvedev**, A. E. Volkov
 Analytically solvable model of scattering of relativistic charged particles in solids
Journal of Physics D: Applied Physics **53** (2020) 235302(1)-235302(11).
doi.org/10.1088/1361-6463/ab7c09
 67. I. Milova, V. Lipp, D. Ilnitsky, **N. Medvedev**, K. Migdal, V. Zhakhovsky, V. Khokhlov, Yu. Petrov, N. Inogamov, S. Semin, A. Kimel, B. Ziaja, I. A. Makhotkin, E. Louis, F. Bijkerk
 Similarity in ruthenium damage induced by photon swith different energies: From visible light to hard X-rays
Applied Surface Science **501** (2020) 143973-1-143973-13.
doi.org/10.1016/j.apsusc.2019.143973
 68. I. Milov, V. Zhakhovsky, D. Ilnitsky, K. Migdal, V. Khokhlov, Yu. Petrov, N. Inogamov, V. Lipp, **N. Medvedev**, B. Ziaja, V. Medvedev, I. A. Makhotkin, E. Louis, F. Bijkerk
 Two-level ablation and damage morphology of Ru films under femtosecond extreme UV irradiation
Applied Surface Science **528** (2020) 146952(1)-146952(18).
doi.org/10.1016/j.apsusc.2020.146952
 69. Minenna, Damien F. G.; Poye, Alexandre; Bradford, Philip; Woolsey, Nigel; Tikhonchuk, Vladimir T.
 Electromagnetic pulse emission from target holders during short-pulse laser interactions
Physics of Plasmas **27** (2020) 063102 (1)-063102 (10).
doi.org/10.1063/5.0006666

70. E. Mohammadi, L. Petera, H. Saeidfirozeh, A. Knížek, **P. Kubelík**, **R. Dudžák**, M. Krůs, **L. Juha**, S. Civiš, R. Coulon, O. Malina, J. Ugolotti, V. Ranc, M. Otyepka, J. Šponer, **M. Ferus**, J. E. Šponer
Formic Acid, a Ubiquitous but Overlooked Component of the Early Earth Atmosphere
Chemistry-A European Journal **26** (2020) 1275–12080.
doi.org/10.1002/chem.202000323
71. Tae Moon Jeong, Sergei V. Adimirovich Bulanov, Pavel Vasilievich Sasorov, Stepan Sergeevich Bulanov, James Kevin Koga and Georg Korn
4 π -spherically focused electromagnetic wave: diffraction optics approach and high-power limits
Optics Express **28** (2020) 13991–14006.
doi.org/10.1364/OE.387654
72. Q Moreno, M E Dieckmann, D Folini, R Walder, X Ribeyre, V T Tikhonchuk, E d'Humières
Shocks and phase space vortices driven by a density jump between two clouds of electrons and protons
Plasma Physics and Controlled Fusion **62** (2020) 1–12.
doi.org/10.1088/1361-6587/ab5bfb
73. Q. Moreno, A. Araudo, Ph. Korneev, C. K. Li, V. T. Tikhonchuk, X. Ribeyre, E. d'Humières, and S. Weber
Mildly relativistic collisionless shock formed by magnetic piston
Physics of Plasmas **27** (2020) 122106-(1)-122106-(13).
doi.org/10.1063/1.5144683
74. **V. Mortet**, **I. Gregora**, **A. Taylor**, **N. Lambert**, **P. Ashcheulov**, **Z. Gedeonová**, **P. Hubík**
New perspectives for heavily boron-doped diamond Raman spectrum analysis
Carbon **168** (2020) 319–327.
doi.org/10.1016/j.carbon.2020.06.075
75. Jie Mu, Timur Zh. Esirkepov, Petr Valenta, **Yanjun Gu**, Tae Moon Jeong, Alexander S. Pirozhkov, James K. Koga, Masaki Kando, **Georg Korn**, and Sergei V. Bulanov
Relativistic flying forcibly oscillating reflective diffraction grating
Physical Review E **102** (2020) 053202 (1)-053202 (9).
doi.org/10.1103/PhysRevE.102.053202
76. M. Murakami, J. J. Honrubi, K. Weichman, A. V. Arefiev & **S. V. Bulanov**
Generation of megatesla magnetic fields by intense-laser-driven microtube implosions
Scientific Reports **10** (2020) 16653 (1)-16653 (11).
doi.org/10.1038/s41598-020-73581-4
77. T. Nishihara, H. Satoub, S. Kawataa, Y. J. Gu, Q. Konge, Y. Y. Maf, P. X. Wange
Control of intense-laser ion acceleration
High Energy Density Physics **36** (2020) 100799 (1)-100799 (6).
doi.org/10.1016/j.hedp.2020.100799
78. Tim Oelze, Olena Kulyk, Bernd Schütte, Ulrike Frühling, Eva Klimešová, Bartholomäus Jagielski, Laura Dittrich, Markus Drescher, Rui Pan, Nikola Stojanovic, Vitaly Polovinkin, Krishna P. Khakurel, Kerstin Muehlig, Ivette J. Bermudez Macias, Stefan Düsterer, Bart Faatz, Jakob Andreasson, Marek Wieland, and Maria Krikunova
THz streak camera performance for single-shot characterization of XUV pulses with complex temporal structures
Optics Express **28** (2020) 20686–20703.
doi.org/10.1364/OE.393547
79. Kenta Okamoto, Ricardo J. Ferreira, Daniel S. D. Larsson, Filipe R. N. C. Maia, Haruhiko Isawa, Kyoko Sawabe, Kazuyoshi Murata, Janos Hajdu, Kenji Iwasaki, Peter M. Kasson, and Naoyuki Miyazaki
Acquired Functional Capsid Structures in Metazoan Totivirus-like dsRNA Virus
Structure **28** (2020) 888–896.e3.
doi.org/10.1016/j.str.2020.04.016
80. O. G. Olkhovskaya, G. A. Bagdasarov, N. A. Bobrova, V. A. Gasilov, L. V. N. Goncalves, C. M. Lazzarini, **M. Nevrla**, **G. Grittani**, **S. S. Bulanov**, A. J. Gonsalves, C. B. Schroeder, E. Esarey, W. P. Leemans, P. V. Sasorov, S. V. Bulanov and **G. Korn**
Plasma channel formation in the knife-like focus of laser beam
Journal of Plasma Physics **86** (2020) 905860307 (1)-905860307 (24).
doi.org/10.1017/S0022377820000458
81. Horny, V; Krus, M; Yan, WC; Fulop, T
Attosecond betatron radiation pulse train
Scientific Reports **10** (2020) 15074 (1)-15074 (8).
doi.org/10.1038/s41598-020-72053-z
82. Fourmaux, S; Hallin, E; Chaulagain, U; Weber, S; Kieffer, JC
Laser-based synchrotron X-ray radiation experimental scaling
Optics Express **28** (2020) 3147–3158.
doi.org/10.1364/OE.383818
83. Francesco Pegoraro, **Sergei V. Bulanov**
Nonlinear electrodynamics at cylindrical “cumulation” fronts



Rendiconti Lincei. Scienze Fisiche e Naturali **31** (2020) 303–313.

doi.org/10.1007/s12210-020-00906-w

84. Francesco Pegoraro, **Sergei V. Bulanov**
Nonlinear, nondispersive wave equations:
Lagrangian and Hamiltonian functions in the
hodograph transformation
Physics Letters A **384** (2020) 126064 (1)-126064
(6).
doi.org/10.1016/j.physleta.2019.126064
85. H. Peng, C. Riconda, M. Grech, C.-T. Zhou and
S. Weber
Dynamical aspects of plasma gratings driven by
a static ponderomotive potential
Plasma Physics and Controlled Fusion **62** (2020)
115015 (1)-115015 (13).
doi.org/10.1088/1361-6587/abb3aa
86. C. V. Pieronek, A. J. Gonsalves, C. Benedetti,
S. S. Bulanov, J. van Tilborg, J. H. Bin,
K. K. Swanson, J. Daniels, G. A. Bagdasarov,
N. A. Bobrova, V. A. Gasilov, **G. Korn**,
P. V. Sasorov, C. G. R. Geddes, C. B. Schroeder,
W. P. Leemans and E. Esarey
Laser-heated capillary discharge waveguides as
tunable structures for laser-plasma acceleration
Physics of Plasmas **27** (2020) 093101 (1)-093101
(13).
doi.org/10.1063/5.0014961
87. T. Pisarczyk, M. Kálal, S. Yu Gus'kov, D. Batani,
O. Renner, J. Santos, **R. Dudžák**, A. Zaras-
Szydłowska, T. Chodukowski, Z. Rusiniak,
J. Dostál, **J. Krása**, M. Krupka, Iu. Kochetkov,
S. Singh, J. Cikhart, **T. Burian**, M. Krús,
M. Pfeifer, G. Cristoforetti, L. A. Gizzi,
F. Baffigi, L. Antonelli, N. N. Demchenko,
M. Rosinski, D. Terwinska, S. Borodziuk,
P. Kubeš, M. Ehret, **L. Juha**, **J. Skála**, Ph.
Korneev
Hot electron retention in laser plasma created
under terawatt subnanosecond irradiation of Cu
targets
Plasma Physics and Controlled Fusion **62** (2020)
115020(1)-115020(15).
doi.org/10.1088/1361-6587/abb74b
88. T. Pisarczyk, M. Kalal, S. Yu Gus'kov, D. Batani,
O. Renner, J. Santos, R. Dudzak, A. Zaras-
Szydłowska, T. Chodukowski, Z. Rusiniak,
J. Dostal, J. Krasa8, M. Krupka, Iu. Kochetkov,
S. Singh, J. Cikhart, T. Burian, M. Krus,
M. Pfeifer, G. Cristoforetti, L.A. Gizzi, F. Baffigi,
L. Antonelli, N N Demchenko, M Rosinski,
D. Terwińska, S. Borodziuk, P. Kubes, M. Ehret,
L. Juha, J. Skala and Ph. Korneev
Hot electron retention in laser plasma created
under terawatt subnanosecond irradiation of Cu
targets
Plasma Physics and Controlled Fusion **62** (2020)
115020 (1)-115020 (15).
doi.org/10.1088/1361-6587/abb74b
89. T. R. Preston, S. Göde, J. -P. Schwinkendorf,
K. Appel, E. Brambrink, V. Cerantola,
H. Höppner, M. Makita, A. Pelka, C. Prescher,
K. Sukharnikov, A. Schmidt, I. Thorpe,
T. Toncian, A. Amouretti, D. Chekrygina,
R. W. Falcone, **K. Falk**, L. B. Fletcher, E. Galtier,
M. Harmand, N. J. Hartley, S. P. Hau-Riege,
P. Heimann, L. G. Huang, O. S. Humphries,
O. Karnbach, D. Kraus, H. J. Lee, B. Nagler,
S. Ren, A. K. Schuster, **M. Smid**, K. Voigt,
M. Zhang, U. Zastra
Design and performance characterisation of
the HAPG von Hámos Spectrometer at the High
Energy Density Instrument of the European
XFEL
Journal of Instrumentation **15**, P11033 (2020)
1–14.
doi.org/10.1088/1748-0221/15/11/P11033
90. Prokopis C. Andrikopoulos, Yingliang Liu,
Alessandra Picchiotti, Nils Lenngren, Miroslav
Kloz, Aditya S. Chaudhari, Martin Precek,
Mateusz Rebarz, Jakob Andreasson, Janos
Hajdu, Bohdan Schneider a and Gustavo Fuertes
Femtosecond-to-nanosecond dynamics of flavin
mononucleotide monitored by stimulated
Raman spectroscopy and simulations
Physical Chemistry Chemical Physics **22** (2020)
6538–6552.
doi.org/10.1039/c9cp04918e
91. **J. Racek**, **P. Šittner**
Environmental fatigue of superelastic NiTi wire
with two surface finishes
*Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical
Materials* **111** (2020) 1–15.
doi.org/10.1016/j.jmbbm.2020.104028
92. P Rueda, F Videla, E Neyra, J A Pérez-
Hernández, M F Ciappina and G A Torchia
Above-threshold ionization driven by few-cycle
spatially bounded inhomogeneous laser fields
*Journal of Physics B: Atomic, Molecular and
Optical Physics* **53** (2020) 065403 (1)-065403
(10).
doi.org/10.1088/1361-6455/ab63ab
93. Daniela Rupp, Leonie Flückiger, Marcus Adolph,
Alessandro Colombo, Tais Gorkhover, Marion
Harmand, Maria Krikunova, Jan Philippe
Müller, Tim Oelze, Yevheniy Ovcharenko, Maria
Richter, Mario Sauppe, Sebastian Schorb, Rolf
Treusch, David Wolter, Christoph Bostedt, and
Thomas Möller
Imaging plasma formation in isolated
nanoparticles with ultrafast resonant scattering
Structural Dynamics-US **7** (2020) 034303 (1)-

034303 (10).

doi.org/10.1063/4.0000006

94. R. A. Rymzhanov, J. H. O'Connell, A. Janse van Vuuren, V. A. Skuratov, **N. Medvedev**, A. E. Volkov
Insight into picosecond kinetics of insulator surface under ionizing radiation
Journal of Applied Physics **127** (2020) 01590-1-01590-8.
doi.org/10.1063/1.5109811
95. A. Sagisakaa, K. Ogura, T. Zh. Esirkepov, D. Neely, T. A. Pikuz, J. K. Koga, Y. Fukuda, H. Kotaki, Y. Hayashi, B. Gonzalez-Izquierdo, K. Huang, S. V. Bulanov, H. Kiriyaama, K. Kondo, T. Kawachi, M. Kando, A. S. Pirozhkova
Observation of Burst Intensification by Singularity Emitting Radiation generated from relativistic plasma with a high-intensity laser
High Energy Density Physics **36** (2020) 100751 (1)-100751 (4).
doi.org/10.1016/j.hedp.2020.100751
96. S. Samal, **O. Tyc**, **L. Heller**, **P. Šittner**, M. Malik, P. Poddar, M. Catauro, I. Blanco
Study of Interfacial Adhesion between Nickel-Titanium Shape Memory Alloy and a Polymer Matrix by Laser Surface Pattern
Applied Sciences **10** (2020) 2172 (1)-2172 (12).
doi.org/10.3390/app10062172
97. Schillaci, F.; Nevrkla, M.; Maggiore, M.; Goncalves, L.; Cirrone, G. A. P.; Velyhan, A.; Margarone, D.
Design of a high energy Thomson Parabola ion spectrometer for the ELIMAIA beamline
Journal of Instrumentation **14** (2020) T06004 (1)-T06004 (22).
doi.org/10.1088/1748-0221/14/06/T06004
98. **V. Scuderi**, G. Milluzzo, D. Doria, A. Alejo, A. G. Amico, N. Booth, G. Cuttone, J. S. Green, S. Kar, **G. Korn**, G. Larosa, R. Leanza, P. Martin, P. McKenna, H. Padda, G. Petringa, J. Pipek, L. Romagnani, F. Romano, A. Russo, **F. Schillaci**, G. A. P. Cirrone, **D. Margarone**, **M. Borghesi**
TOF diagnosis of laser accelerated, high-energy protons
Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A **978** (2020) 164364 (1)-164364 (7).
doi.org/10.1016/j.nima.2020.164364
99. Sebelik, V.; Kloz, M.; Rebarz, M.; Precek, M.; Kang, E.H.; Choi, T.L.; Christensen, R.L.; Polivka, T.
Spectroscopy and excited state dynamics of nearly infinite polyenes
Physical Chemistry Chemical Physics **22** (2020) 17867-17879.
doi.org/10.1039/d0cp02465a
100. Timur Zh. Esirkepov, Jie Mu, **YanJun Gu**, Tae Moon Jeong, Petr Valenta, **Ondrej Klimo**, James K. Koga, Masaki Kando, David Neely, **Georg Korn**, Sergei V. Bulanov, and Alexander S. Pirozhkov
Optical probing of relativistic plasma singularities
Physics of Plasmas **27** (2020) 052103 (1)-052103 (9).
doi.org/10.1063/5.0004525
101. Bulanov, S.V.
Dynamics of relativistic laser-produced plasmas
Rendiconti Lincei. Scienze Fisiche e Naturali **30** (2020) 5-9.
doi.org/10.1007/s12210-019-00787-8
102. Bulanov, S.V.; Satorov, P.V.; Pegoraro, F.; Kadlecova, H.; Bulanov, S.S.; Esirkepov, T.Z.; Rosanov, N.N.; Korn, G.
Electromagnetic solitons in quantum vacuum
Physical Review D **101** (2020) 016016- (1)-016016- (16).
doi.org/10.1103/PhysRevD.101.016016
103. S. M. Vinko, **V. Vozda**, **J. Andreasson**, S. Bajt, J. Bielecki, **T. Burian**, **J. Chalupsky**, O. Ciricosta, M. P. Desjarlais, H. Fleckenstein, J. Hajdu, **V. Hajkova**, P. Hollebon, **L. Juha**, M. F. Kasim, E. E. McBride K. Muehlig, 12 T. R. Preston, 7 D. S. Rackstraw, 1 S. Roling, 13 S. Toleikis, 6 J. S. Wark, 1 and H. Zacharias13
Time-Resolved XUV Opacity Measurements of Warm Dense Aluminum
Physical Review Letters **124** (2020) 225002 (1)-225002 (6).
doi.org/10.1103/PhysRevLett.124.225002
104. R. A. Voronkov, **N. Medvedev**, A. E. Volkov
Superionic State in Alumina Produced by Nonthermal Melting
Physica Status Solidi-Rapid Research Letters **3** (2020) 1900641(1)-1900641(6).
doi.org/10.1002/pssr.201900641
105. **V. Vozda**, **N. Medvedev**, **J. Chalupský**, J. Čechal, **T. Burian**, **V. Hájková**, **L. Juha**, M. Krůs, J. Kunc
Detachment of epitaxial graphene from SiC substrate by XUV laser radiation
Carbon **161** (2020) 36-43.
doi.org/10.1016/j.carbon.2020.01.028
106. **L. Vyšín**, P. Wachulak, **M. Toufarová**, **N. Medvedev**, R. A. Voronkov, A. Bartnik, H. Fiedorowicz, **L. Juha**
Chemical Dosimetry in the "Water Window": Ferric Ions and Hydroxyl Radicals Produced by



Intense Soft X Rays
Radiation Research **193** (2020) 372–382.
doi.org/10.1667/RR15520.1

107. Jingwei Wang, Sergei V. Bulanov, Min Chen, Bifeng Lei, Yuxue Zhang, Rishat Zagidullin, Veronika Zorina, Wei Yu, Yuxin Leng, Ruxin Li, Matt Zepf and Sergey G. Rykovanov
 Relativistic slingshot: A source for single circularly polarized attosecond x-ray pulses
Physical Review E **102** (2020) 061201 (1)-061201 (5).
doi.org/10.1103/PhysRevE.102.061201
108. J. Wild, P. Pira, T. Burian, L. Vyšín, L. Juha, Z. Zelinger, S. Daniš, V. Nehasil, Z. Rafaj, V. Nevrlý, M. Dostál, P. Bitala, P. Kudrna, M. Tichý, J. J. Rocca
 Ablation of single-crystalline cesium iodide by extreme ultraviolet capillary-discharge laser
Nukleonika **65** (4) (2020) 205–210.
doi.org/10.2478/nuka-2020-0031
109. Vyskocil, J; Gelfer, E; Klimo, O
 Inverse Compton scattering from solid targets irradiated by ultra-short laser pulses in the 1022–1023 W/cm² regime
Plasma Physics and Controlled Fusion **62** (2020) 064002 (1)-064002 (12).
doi.org/10.1088/1361-6587/ab83cb
110. F. Yue, V. Jambunathan, S. P. David, X. Mateos, M. Aguilo, F. Diaz, J. Šulc, A. Lucianetti, T. Mocek
 Spectroscopy and diodepumped continuouswave laser operation of Tm:Y₂O₃ transparent ceramic at cryogenic temperatures
Applied Physics B: Laser and Optics **126** (2020) 1–8.
doi.org/10.1007/s00340-020-7385-7
111. Michal Zajaček, Anabella Araudo, Vladimír Karas, Božena Czerny and Andreas Eckart
 Depletion of Bright Red Giants in the Galactic Center during Its Active Phases
Astrophysical Journal **903** (2020) 140(1)-140(18).
doi.org/10.3847/1538-4357/abbd94
112. A. Zaras-Szydłowska, T. Pisarczyk, T. Chodukowski, Z. Rusiniak, R. Dudźák, J. Dostál, M. Kálal, Iu. Kochetkov, M. Krupka, S. Borodziuk, P. Pisarczyk
 Implementation of amplitude–phase analysis of complex interferograms for measurement of spontaneous magnetic fields in laser generated plasma
AIP Advances **10** (2020) 115201(1)-115201(20).
doi.org/10.1063/5.0020511
113. Anna Zymakova, Krishna Khakurel Prasad, Alessandra Picchiotti, Wojciech Błachucki,

Jakub Szlachetko, Mateusz Rebarz, Jens Uhlig and Jakob Andreasson

Implementation of a crossed-slit system for fast alignment of sealed polycapillary X-ray optics
Journal of Synchrotron Radiation **27** (2020) 1–4.
doi.org/10.1107/S1600577520012217

nepřirazené obory

1. Ahmida M. A., Forthaus M. K., Geibel C., Hossain Z., Hearne G. R., Kaštil J., Prchal J., Sechovsky V., Abd-Elmeguid M. M.
 Charge fluctuations across the pressure-induced quantum phase transition in EuCu₂(Ge_{1-x}Si_x)₂
Phys. Rev. B **101** (2020) 205127
doi.org/10.1103/PhysRevB.101.205127
2. A. Apostolakis, M. F. Pereira
 Superlattice nonlinearities for Gigahertz-Terahertz generation in harmonic multipliers
Nanophotonics **9** (2020) 3941–3952.
doi.org/10.1515/nanoph-2020-0155
3. I Duran, S Entler, O Grover, I Bolshakova, K Vyborny, M Kocan, T Jirman, G Vayakis, O Vasyliov, M Radishevskiy, Zhenxing Wang, D Neumaier
 Status of steady-state magnetic diagnostic for ITER and outlook for possible materials of Hall sensors for DEMO
Fusion Engineering and Design **146** (2020) 2397–2400.
doi.org/10.1016/j.fusengdes.2019.03.201
4. H. -J. Elmers, S. V. Chernov, S. W. D'Souza, S. P. Bommanaboyena, S. Yu Bodnar, K. Medjanik, S. Babenkov, O. Fedchenko, D. Vasilyev, S. Y. Agustsson, C. Schlueter, A. Gloskovskii, Yu Matveyev, V. N. Strocov, Y. Skourski, L. Smejkal, J. Sinova, J. Minar, M. Kläui, G. Schönhense, M. Jourdan
 Néel Vector Induced Manipulation of Valence States in the Collinear Antiferromagnet Mn₂Au
ACS Nano **14**: 12 (2020) 17554–17564.
doi.org/10.1021/acsnano.0c08215
5. S Entler, I Duran, K Kovarik, P Sladek, O Grover, M Vilemova, D Najman, M Kohout, J Sebek, K Vyborny, Z Soban
 Temperature dependence of the Hall coefficient of sensitive layer materials considered for DEMO Hall sensors
Fusion Engineering and Design **153** (2020) 111454-
doi.org/10.1016/j.fusengdes.2020.111454
6. Evan A. Doud, Rachel L. Starr, Gregor Kladnik, Anastasia Voevodin, Enrique Montes, Narendra P. Arasu, Yaping Zang, Percy Zahl, Alberto

- Morgante, Latha Venkataraman, **Héctor Vázquez**, Dean Cvetko and Xavier Roy
Cyclopropenylidenes as Strong Carbene Anchoring Groups on Au Surfaces
Journal of the American Chemical Society **142** (2020) 19902–19906.
doi.org/10.1021/jacs.0c10743
7. G. Fischer, X. Zubizarreta, **A. Marmodoro**, M. Hoffmann, P. Buczek, N. Buczek, M. Däne, W. Hergert, E. Sasioglu, I. Galanakis, A. Ernst
Effect of correlation and disorder on the spin-wave spectra of Pd₂MnSn, Ni₂MnSn, and Cu₂MnAl Heusler alloys: A first-principles study
Physical Review Materials **4** (2020) 064405-1-064405-11.
doi.org/10.1103/PhysRevMaterials.4.064405
8. **A. Frtús**, **B. Smolková**, **M. Uzhytchak**, **M. Lunova**, M. Jirsa, Š. Kubinová, **A. Dejneka**, **O. Lunov**
Analyzing the mechanisms of iron oxide nanoparticles interactions with cells: A road from failure to success in clinical applications
Journal of Controlled Release **328** (2020) 59–77.
doi.org/10.1016/j.jconrel.2020.08.036
9. S. Husain, X. Chen, R. Gupta, N. Behera, **P. Kumar**, T. Edvinsson, F. García-Sánchez, R. Brucas, S. Chaudhary, B. Sanyal, P. Svedlindh, and A. Kumar
Large Damping-Like Spin–Orbit Torque in a 2D Conductive 1T-TaS₂ Monolayer
Nano Letters **20** (2020) 6372–6380.
doi.org/10.1021/acs.nanolett.0c01955
10. Sajid Husain, Rahul Gupta, Ankit Kumar, **Prabhat Kumar**, Nilamani Behera, Rimantas Brucas, Sujeet Chaudhary, Peter Svedlindh
Emergence of spin–orbit torques in 2D transition metal dichalcogenides: A status update
Applied Physics Reviews **7** (2020) 041312-1-041312-27.
doi.org/10.1063/5.0025318
11. Alka Jakhar, **Prabhat Kumar**, Sajid Husain, Veerendra Dhyani, and Samaresh Das
Integration of Nanometer-Thick 1T-TaS₂ Films with Silicon for an Optically Driven Wide-Band Terahertz Modulator
ACS Applied Nano Materials **3** (2020) 10767–10777.
doi.org/10.1021/acsanm.0c02076
12. P. Kleinschmidt, **P. Mutombo**, T. Bertholda, A. Paszuk, M. Steidl, G. Ecke, A. Nägelein, C. Koppka, O. Supplie, S. Krischok, **O. Romanyuk**, M. Himmerlichad, T. Hannappel
Atomic surface structure of MOVPE-prepared GaP(111)B
Applied Surface Science **534** (2020) 147346-
doi.org/10.1016/j.apsusc.2020.147346
13. Konoplyuk S. M., Kokorin V. V., Kolomiets A., V. Paukov M., **Kastil J.**, Gerstein G., Maier H. J.
Order and Temperatures of Magnetic Transitions in a Ni_{51.9}Mn_{27.0}Ga_{21.1} Alloy
IEEE Transactions on Magnetics **7** (2020) 2500305.
doi.org/10.1109/TMAG.2020.2991317
14. E. Kozenkova, K. Levada, M. V. Efremova, A. Omelyanchik, Y. A. Nalench, A. S. Garanina, S. Pshenichnikov, D. G. Zhukov, **O. Lunov**, **M. Lunova**, I. Kozenkov, C. Innocenti, M. Albino, M. Abakumov, C. Sangregorio, V. Rodionova
Multifunctional Fe₃O₄-Au nanoparticles for the MRI diagnosis and potential treatment of liver cancer
Nanomaterials **10** (2020) 1646(1)-1646(15).
doi.org/10.3390/nano10091646
15. **P. Kužel**, **H. Němec**
Terahertz Spectroscopy of Nanomaterials: a Close Look at Charge-Carrier Transport
Advanced Optical Materials **8** (2020) 1900623(1)-1900623(23).
doi.org/10.1002/adom.201900623
16. K. Levada, S. Pshenichnikov, A. Omelyanchik, V. Rodionova, A. Nikitin, A. Savchenko, I. Schetinin, D. Zhukov, M. Abakumov, A. Majouga, **M. Lunova**, M. Jirsa, **B. Smolková**, **M. Uzhytchak**, **A. Dejneka**, **O. Lunov**
Progressive lysosomal membrane permeabilization induced by iron oxide nanoparticles drives hepatic cell autophagy and apoptosis
Nano Convergence **7** (2020) 17(1)-17(17).
doi.org/10.1186/s40580-020-00228-5
17. T. Mackuľak, E. Medvecká, A. Vojs Staňová, P. Brandeburová, R. Grabic, O. Golovko, M. Marton, I. Bodík, A. Medvedová, M. Gál, M. Planý, **A. Kromka**, V. Špalková, A. Škulcová, I. Horáková, M. Vojs
Boron doped diamond electrode – the elimination of psychoactive drugs and resistant bacteria from wastewater
Vacuum **171** (2020) 108957 (1)-108957 (6).
doi.org/10.1016/j.vacuum.2019.108957
18. O. V. Maryeva, G. Koenigsberger, S. V. Karpov, T. A. Lozinskaya, O. V. Egorov, C. Rossi, M. Calabresi, R. F. Viotti
Asymmetrical nebula of the M33 variable GR290 (WR/LBV)
Astronomy and Astrophysics **635** (2020) A201-
doi.org/10.1051/0004-6361/201936840



19. A. Möller, J. Peloton, E. Ishida, Ch. Arnault, E. Bachelet, T. Blaineau, D. Boutigny, A. Chauhan, E. Gangler, F. Hernandez, J. Hrivnac, M. Leoni, N. Leroy, M. Moniez, S. Pateyron, A. Ramparison, D. Turpin, R. Ansari, T. Allam Jr, A. Bajat, B. Biswas, A. Boucaud, J. Bregeon, J. Campagne, J. Cohen-Tanugi, A. Coleiro, D. Dornic, D. Fouchez, O. Godet, P. Gris, S. Karpov, A. N. Gomez-Moran, J. Neveu, S. Plaszczyński, V. Savchenko, N. Webb
FINK, a new generation of broker for the LSST community
Monthly Notices of the Royal Astronomical Society **501** (2020) 3272–3288.
doi.org/10.1093/mnras/staa3602
20. **O. Molnárová, J. Duchoň, E. de Prado,** Š. Csáki, F. Průša, P. Málek
Bimodal microstructure in an AlZrTi alloy prepared by mechanical milling and spark plasma sintering
Materials **13** (2020) 3756(1)-3756(13).
doi.org/10.3390/ma13173756
21. **O. Molnárová, S. Habr, P. Málek, P. Lejček**
Complex shearing of extruded tube (CSET) method for production of tubes with ultra-fine-grained structure
Materials Letters **278** (2020) 128341(1)-128341(4).
doi.org/10.1016/j.matlet.2020.128341
22. **O. Molnárová, P. Šittner, J. Veselý, M. Cieslar**
TEM analysis of deformation bands created by tensile deformation of superelastic NiTi wires
Materials Characterization **167** (2020) 110470(1)-110470(10).
doi.org/10.1016/j.matchar.2020.110470
23. Naka T., Valenta J., **Kastil J., Mísek M.,** Prchal J., Sechovsky V, Abe H., Nakane T., Nakayama M., Uchikoshi T.
Chemical and physical pressure effects in the A-site spinel antiferromagnets CoM₂O₄ (M = Al, Co, and Rh)
Mater. Res. Express **7** (2020) 056105.
doi.org/10.1088/2053-1591/ab924f
24. **M. Novotný, P. Hruška, P. Fitl, E. Marešová,** Š. Havlová, **J. Bulíř, L. Fekete,** R. Yatskiv, M. Vrnáta, J. Čížek, M. O. Liedke, **J. Lančok**
Investigation of Optical Properties and Defects Structure of Rare Earth (Sm, Gd, Ho) Doped Zinc Oxide Thin Films Prepared by Pulsed Laser Deposition
Acta Physica Polonica A **137** (2020) 215–218.
doi.org/10.12693/APhysPolA.137.215
25. A. Omelyanchik, A. Gurevich, S. Pshenichnikov, V. Kolesnikova, **B. Smolková, M. Uzhytchak,** I. Baraban **O. Lunov,** K. Levada, L. Panina, V. Rodionova
Ferromagnetic glass-coated microwires for cell manipulation
Journal of Magnetism and Magnetic Materials **512** (2020) 166991(1)-166991(6).
doi.org/10.1016/j.jmmm.2020.166991
26. **M. F. Pereira, V. Anfertev, Y. Shevchenko,** V. Vaks
Giant controllable gigahertz to terahertz nonlinearities in superlattices
Scientific Reports **10**:15950 (2020) 1–9.
doi.org/10.1038/s41598-020-72746-5
27. V. L. Plokhotnichenko, G. M. Beskin, S. V. Karpov, A. V. Solin, A. A. Solin, A. S. Terekhov, S. N. Kosolobov, G. E. Scheibler, V. G. de Bur, S. V. Moiseev, V. V. Pavlova & S. S. Moiseev
Photosensor Device Based on a 16-Electrode Position-Sensitive Detector with High Temporal Resolution
Astrophysical Bulletin **75** (2020) 59–68.
doi.org/10.1134/S199034132001006X
28. **Jiří Pokorný, J. Pokorný, J. Kobílková,** A. Jandová, R. Holaj
Cancer development and damped electromagnetic activity
Applied Sciences **10** (2020) 1826-1-1826-17.
doi.org/10.3390/app10051826
29. **J. Pokorný, Jiří Pokorný, J. Vrba**
Electromagnetic communication between cells through tunnelling nanotubes
International Journal of Microwave and Wireless Technologies **12** (2020) 831–838.
doi.org/10.1017/S175907872000046X
30. P. Ripka, V. Grim, M. Mirzaei, D. Hrakova, J. Uhrig, F. Emmerich, C. Thielemann, **J. Hejtmánek, O. Kaman, and R. Tesař**
Modelling and measurement of magnetically soft nanowire arrays for sensor applications
Sensors **1** (2021) 1–17.
doi.org/10.3390/s21010003
31. G. Şengör, **C. Skordis**
Unitarity at the Late time Boundary of de Sitter
Journal of High Energy Physics **06** (2020) 1–41.
[doi.org/10.1007/JHEP06\(2020\)041](https://doi.org/10.1007/JHEP06(2020)041)
32. **B. Smolková, A. Frtús, M. Uzhytchak,** **M. Lunova, Š. Kubínová, A. Dejnek, O. Lunov**
Critical analysis of non-thermal plasma-driven modulation of immune cells from clinical perspective
International Journal of Molecular Sciences **21** (17) (2020) 6226(1)-6226 (24).
doi.org/10.3390/ijms21176226

33. D. Wagenknecht, **K. Výborný**, K. Carva, I. Turek
Antiferromagnetic CuMnAs: Ab initio
description of finite temperature magnetism and
resistivity
Journal of Magnetism and Magnetic Materials **513**
(2020) 1–25.
doi.org/10.1016/j.jmmm.2020.167078
34. Shogo Yamashita, Daiki Suzuki, Takuya
Yoshioka, Hiroki Tsuchiura, and **Pavel Novák**
Finite-temperature magnetic properties of
 $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}_x$ using an ab initio effective spin
model
Physical Review B **102** (2020) 214439(1)-
214439(7).
doi.org/10.1103/PhysRevB.102.214439
35. Humaira Zafar, **Mauro Pereira**, Kenneth
L. Kennedy, and Dalaver Hussain Anjum
Fabrication-tolerant and CMOS-compatible
polarization splitter and rotator based on
a compact bent-tapered directional coupler
AIP Advances **10** (2020) 125214(1)-125214(8).
doi.org/10.1063/5.0030638

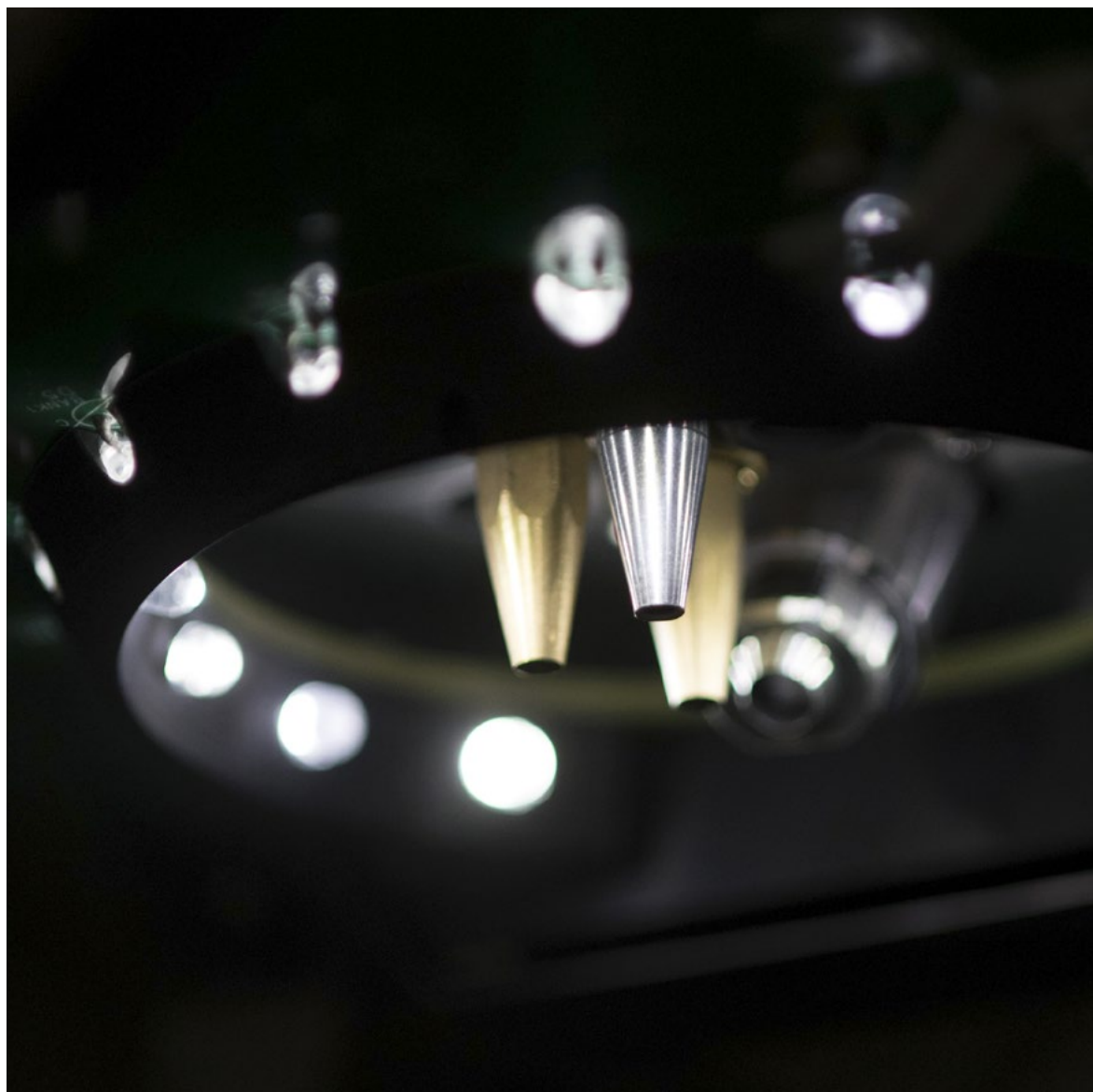
2.10.6. Patenty

1. **Grittani Gabriele Maria; Korn Georg; Lazzarini Carlo Maria; Levato Tadzio**
Device and Method for High Dose per Pulse
Radiotherapy with Real Time Imaging
2. **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
evropská patentová přihláška EP20197349.2
3. **L. Havlák, V. Jarý, J. Bárta, J. Pejchal, M. Nikl**
Luminofoxy na bázi Eu^{2+} a $\text{Eu}^{2+}/\text{Ce}^{3+}$
dopovaných granátů
Popisují se luminofoxy na bázi gadolinito-
yttrito-hlinitého granátu dopovaného
dvojmocným europiem a na bázi granátů
současně dopovaných dvojmocným europiem
a trojmocným cerem pro pevnolátkové světelné
zdroje.
4. V. Herynek, K. Turnovcová, E. Syková,
P. Jendelová, **J. Koktan, M. Veverka,**
P. Veverka, P. Žvátora
Nanoparticles for magnetic and fluorescent cell
labelling, preparation and use
Patentový spis číslo 305154. Majitelé patentu:
Ústav experimentální medicíny AV ČR, v. v. i.,
Fyzikální ústav AV ČR, v. v. i. Číslo přihlášky:
2015–606. Přihlášeno: 04. 09. 2015. Zveřejněno
(Věstník č. 24/2017): 14. 06. 2017. Uděleno:
18. 12. 2019. Oznámení o udělení ve věstníku
(Věstník č. 5/2020): 29. 01. 2020.
- Nanočástice pro magnetické a fluorescenční
značení buněk, způsob přípravy a použití
5. **M. Kačenka, O. Kaman, M. Veverka, I. Lukeš**
Způsob přípravy manganitových nanočástic
v tavenině
Patentový spis č. 308166. Majitelé patentu:
Fyzikální ústav AV ČR, v. v. i., Univerzita
Karlova v Praze. Číslo přihlášky: 2014–432.
Přihlášeno: 25. 06. 2014. Zveřejněno (věstník
č. 1/2016): 06. 01. 2016. Uděleno: 27. 12. 2019.
Oznámení o udělení ve věstníku (věstník
č. 6/2020): 05. 02. 2020
6. **M. Košelja**
Optical elements for constructing performance
laser systems and their preparation
7. **M. Košelja**
Optical Elements for Constructing Performance
Laser Systems and their Preparation
8. **M. Košelja**
Optical elements for constructing performance
laser systems and their preparation
9. **I. Kratochvílová, P. Ashcheulov, R. Škoda,**
J. Škarohlíd
Povlak vhodný pro ochranu vnějšího povrchu
pokrytí jaderného paliva, použití povlaku,
způsob výroby povlaku a jaderné palivo
Předkládaný vynález se týká ochrany
jaderného paliva, konkrétně pokrytí paliva
v podobě tenkostěnných trubek, vyrobených
z kovových podkladů, zejména zirkoniových
slitin, umístěného v jaderném reaktoru, proti
korozním změnám za standardních i havarijních
podmínek v prostředí energetických
lehkovodních a těžkovodních jaderných
reaktorů. Předkládaný vynález se zejména týká
tenkého povlaku, použití povlaku a způsob
ochrany jaderného paliva povlakováním.
10. Ing. **Jaroslav Nejdí, Ph. D. Ing. Martin**
Albrecht Bc. Jakub Vančura
A device, use of the device and a method for
high-contrast imaging
11. **J. Pilař, S. Hutchinson, A. Lucianetti, T. Mocek**
Způsob korekce aberace vlnoplochy optického
svazku
12. **A. Reza, J. Cvrček, M. Smrž**
A method and a device for heat removal from
a flat NIR-MIR laser mirror

2.10.7 Užité a průmyslové vzory

1. **J. Remsa, P. Písařík, A. Dejneka,**
A. Chrzanowski, J. Lát, O. Kurkin
Povlak, zejména pro povrchy chladících systémů
2. **L. Sosnovec**
Koloidní směs absorbující UV záření
a kosmetický přípravek







3.

Ekonomická část výroční zprávy za rok 2020

253

3.1 Rozvaha

Zřizovatel: Akademie věd ČR

Rozvaha

sestavena dle vyhl. 504/2002 Sb., ve znění pozdějších předpisů k 31. 12. 2020

(v tis. Kč)

Název účetní jednotky: Fyzikální ústav AV ČR, v. v. i.

Sídlo: Na Slovance 1999/2, 182 21 Praha 8

IČ: 68378271

254

Název	SÚ	číslo řádku	Stav	
			k 01. 01. 20	k 31. 12. 20
A. Dlouhodobý majetek celkem			8 330 532	8 373 220
I. Dlouhodobý nehmotný majetek celkem	01	1	82 832	96 000
1. Nehmotné výsledky výzkumu a vývoje	012	2	0	0
2. Software	013	3	76 039	89 244
3. Ocenitelná práva	014	4	2 512	2 512
4. Drobný dlouhodobý nehmotný majetek	018	5	3 366	3 003
5. Ostatní dlouhodobý nehmotný majetek	019	6	0	0
6. Nedokončený dlouhodobý nehmotný majetek	041	7	915	1 241
7. Poskytnuté zálohy na dlouhodobý nehmotný majetek	051	8	0	0
II. Dlouhodobý hmotný majetek celkem	02+03	9	10 846 656	11 461 593
1. Pozemky	031	10	276 508	276 460
2. Umělecká díla, předměty, sbírky	032	11	0	0
3. Stavby	021	12	2 932 143	3 038 624
4. Hmotné movité věci a jejich soubory	022	13	6 525 180	7 573 393
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	48 044	45 602
8. Ostatní dlouhodobý hmotný majetek	029	17	0	0
9. Nedokončený dlouhodobý hmotný majetek	042	18	1 029 978	501 177
10. Poskytnuté zálohy na dlouhodobý hmotný majetek	052	19	34 803	26 337
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



Název	SÚ	číslo řádku	Stav	
			k 01. 01. 20	k 31. 12. 20
IV. Oprávky k dlouhodobému majetku celkem	07–08	28	-2 599 296	-3 184 713
1. Oprávky k nehmotným výsledkům výzkumu a vývoje	072	29	0	0
2. Oprávky k softwaru	073	30	-63 087	-72 767
3. Oprávky k ocenitelným právům	074	31	-2 463	-2 488
4. Oprávky k drobnému dlouhodobému nehmotnému majetku	078	32	-3 366	-3 003
5. Oprávky k ostatnímu dlouhodobému nehmotnému majetku	079	33	0	0
6. Oprávky ke stavbám	081	34	-288 587	-348 050
7. Oprávky k samost. hmot. mov. věcem a souborům hmot. mov. věcí	082	35	-2 193 748	-2 712 803
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	-48 045	-45 602
11. Oprávky k ostatnímu dlouhodobému hmotnému majetku	089	39	0	0
B. Krátkodobý majetek celkem		40	949 536	2 631 529
I. Zásoby celkem	11–13	41	14 928	13 059
1. Materiál na skladě	112	42	13 080	12 615
2. Materiál na cestě	111,119	43	6	33
3. Nedokončená výroba	121	44	1 837	402
4. Polotovary vlastní výroby	122	45	0	0
5. Výrobky	123	46	5	8
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	35 554	1 450 549
1. Odběratelé	311	52	1 701	5 167
2. Směnky k inkasu	312	53	0	0
3. Pohledávky za eskontované cenné papíry	313	54	0	0
4. Poskytnuté provozní zálohy	314	55	816	1 624
5. Ostatní pohledávky	316	56	498	2 028
6. Pohledávky za zaměstnanci	335	57	650	218
7. Pohledávky za 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	713	106 819
18. Dohadné účty aktivní	388	69	31 176	1 334 693
19. Opravná položka k pohledávkám	391	70	0	0



Název	SÚ	číslo řádku	Stav	
			k 01. 01. 20	k 31. 12. 20
III. Krátkodobý finanční majetek celkem	21–26	71	891 014	1 158 987
1. Peněžní prostředky v pokladně	211	72	627	577
2. Ceniny	212	73	0	0
3. Peněžní prostředky na účtech	221	74	890 387	1 158 410
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	8 040	8 935
1. Náklady příštích období	381	82	8 040	8 935
2. Příjmy příštích období	385	83	0	0
A+B Aktiva celkem		85	9 280 068	11 004 749
A. Vlastní zdroje celkem		86	8 913 752	9 084 335
I. Jmění celkem	90–92	87	8 911 793	9 072 829
1. Vlastní jmění	901	88	8 344 528	8 387 216
2. Fondy	91	89	566 354	685 293
3. Oceňovací rozdíly z přecenění finančního majetku a závazků	921	90	911	319
II. Výsledek hospodaření celkem	93–96	91	1 959	11 506
1. Účet výsledku hospodaření	963	92	0	11 506
2. Výsledek hospodaření ve schvalovacím řízení	931	93	1 959	0
3. Nerozdělený zisk, neuhrazená ztráta minulých let	932	94	0	0
B. Cizí zdroje celkem		95	366 316	1 920 414
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	364 508	1 920 096
1. Dodavatelé	321	107	20 040	18 522
2. Směnky k úhradě	322	108	0	0
3. Přijaté zálohy	324	109	504	583
4. Ostatní závazky	325	110	0	0
5. Zaměstnanci	331	111	45 343	53 249
6. Ostatní závazky vůči zaměstnancům	333	112	0	0
7. Závazky k institucím sociálního zabezpečení a VZP	336	113	23 056	29 491
8. Daň z příjmů	341	114	508	1 610
9. Ostatní přímé daně	342	115	9 098	11 500
10. Daň z přidané hodnoty	343	116	11 201	17 535
11. Ostatní daně a poplatky	345	117	4	8

Název	SÚ	číslo řádku	Stav	
			k 01. 01. 20	k 31. 12. 20
12. Závazky ze vztahu k státnímu rozpočtu	347	118	253 601	1 695 819
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	861	91 778
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	292	0
23. Ostatní krátkodobé finanční výpomoci	289	129	0	0
IV. Jiná pasiva celkem	38	130	1 808	319
1. Výdaje příštích období	383	131	1 808	319
2. Výnosy příštích období	384	132	0	0
A+B Pasiva celkem		134	9 280 068	11 004 749



Předmět činnosti: vědecký výzkum

Rozvahový den: 31. 12. 2020

Ing. Václav Říšský

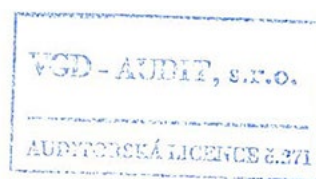
sestavil, podpis a jméno

Datum sestavení: 14. 5. 2021

RNDr. Michael Prouza, Ph.D.

odpov. osoba, podpis a jméno

otisk razítka



3.2 Výkaz zisku a ztráty

Zřizovatel: Akademie věd ČR

Výkaz zisku a ztráty
sestavený dle vyhl. 504/2002 Sb., ve znění pozdějších předpisů k 31. 12. 2020
(v tis. Kč)

Název účetní jednotky:

Fyzikální ústav AV ČR, v. v. i.

Sídlo: Na Slovance 1999/2, 182 21 Praha 8

IČ: 68378271

Název ukazatele	SÚ	čís. řád.	Činnost		
			hlavní 1	jiná 2	Celkem 3
A. Náklady		1	2 202 673	10 369	2 213 041
I. Spotřebované nákupy celkem	50+51	2	513 054	4 828	517 883
1. Spotřeba materiálu, energie a ostatních neskladovaných látek	501–503	3	275 074	3 859	278 933
2. Prodané zboží	504	4	0	0	0
3. Opravy a udržování	511	5	28 139	78	28 217
4. Náklady na cestovné	512	6	11 493	0	11 493
5. Náklady na reprezentaci	513	7	1 166	67	1 233
6. Ostatní služby	518, 514	8	197 183	824	198 007
II. Změny stavu zásob vlastní činnosti a aktivace	56+57	9	-8 683	1 435	-7 248
7. Změna stavu zásob vlastní činnosti	56	10	-3	1 435	1 432
8. Aktivace materiálu, zboží a vnitroorganizačních služeb	571, 572	11	-8 680	0	-8 680
9. Aktivace dlouhodobého majetku	573, 574	12	0	0	0
III. Osobní náklady	52	13	1 041 923	3 521	1 045 444
10. Mzdové náklady	521,3	14	755 304	2 597	757 900
11. Zákonné sociální pojištění	524	15	251 322	874	252 196
12. Ostatní sociální pojištění	525	16	0	0	0
13. Zákonné sociální náklady	527	17	35 298	50	35 348
14. Ostatní sociální náklady	528	18	0	0	0
IV. Daně a poplatky	53	19	270	0	270
15. Daně a poplatky	53	20	270	0	270
V. Ostatní náklady	54	21	45 037	153	45 190
16. Smluvní pokuty, úroky z prodlení, ostatní pokuty a penále	541, 542	22	536	0	536
17. Odpis nedobytné pohledávky	543	23	0	0	0
18. Nákladové úroky	544	24	0	0	0
19. Kurzové ztráty	545	25	8 129	33	8 162
20. Dary	546	26	0	0	0
21. Manka a škody	548	27	12	0	12
22. Jiné ostatní náklady	547, 549	28	36 360	120	36 480



Název ukazatele	SÚ	čís. řád.	Činnost		
			hlavní 1	jiná 2	Celkem 3
VI. Odpisy, prodaný majetek, tvorba a použití rezerv a opr. položek celkem	55	29	609 047	431	609 478
23. Odpisy dlouhodobého majetku	551	30	608 998	431	609 429
24. Prodaný dlouhodobý majetek	552	31	49	0	49
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	2 025	0	2 025
29. Daň z příjmů	59	41	2 025	0	2 025
B. Výnosy		1	2 204 416	20 131	2 224 548
I. Provozní dotace	69	2	1 476 727	0	1 476 727
1. Provozní dotace	691	3	1 476 727	0	1 476 727
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	325	20 017	20 342
IV. Ostatní výnosy	64	16	727 274	115	727 389
5. Smluvní pokuty, úroky z prodlení, ostatní pokuty a penále	641, 642	17	9 261	0	9 261
6. Platby za odepsané pohledávky	643	18	0	0	0
7. Výnosové úroky	644	19	2 591	0	2 591
8. Kurzové zisky	645	20	7 245	42	7 287
9. Zúčtování fondů	648	21	75 990	0	75 990
10. Jiné ostatní výnosy	649	22	632 187	73	632 260
V. Tržby z prodeje majetku	65	24	90	0	90
11. Tržby z prodeje DNM a DHM	651	25	90	0	90
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	3 768	9 763	13 531
D. Výsledek hospodaření po zdanění		40	1 743	9 763	11 506

Předmět činnosti: vědecký výzkum

Rozvahový den: 31. 12. 2020

Ing. Václav Říšský

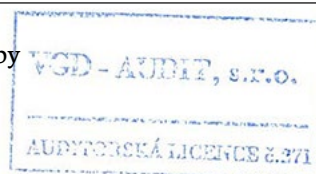
podpis a jméno
sestavil

Datum sestavení: 14. 5. 2021

RNDr. Michael Prouza, Ph.D.

podpis a jméno
odpovědné osoby

otisk razítka



3.3 Příloha k účetní závěrce v plném rozsahu k 31. 12. 2020

I. Obecné údaje

260

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. 2020

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., o Akademii věd ČR, 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),
- administrativní úsek Cukrovarnická,
- vědecké sekce (6),
- výzkumná, administrativní a podpůrná 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) Administrativní úsek Cukrovarnická tvoří:

- THS v Cukrovarnické,
- mechanické dílny v Cukrovarnické,
- vědecká knihovna v Cukrovarnické.

e) Vědecká činnost FZÚ se provádí ve vědeckých sekcích**1. Sekce fyziky elementárních částic**

Výzkumná oddělení:

- astročásticové fyziky,
- experimentální fyziky částic,
- teorie částic a kosmologie,
- 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:

- povrchů a molekulárních struktur,
- polovodičů,
- spintroniky a nanoelektroniky,
- strukturní analýzy,
- magnetik a supravodičů,
- tenkých vrstev a nanostruktur,
- optických materiálů,
- diamantových a příbuzných materiálů.

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 PALS,
- vývoje pokročilých laserů (Centrum HiLASE),
- průmyslových aplikací laserů (Centrum HiLASE),
- vědeckých aplikací laserů (Centrum HiLASE).

Podpůrná oddělení:

- technické podpory center PALS a HiLASE,
- inženýrské a technické podpory (Centrum HiLASE),
- řízení projektů (Centrum HiLASE).

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 2020 pokračovala realizace tohoto společného projektu FZÚ a UK RI – Science and Technology Facilities Council (STFC) z Velké Británie. Cílem je přeměnit HiLASE do roku 2023 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 2020 současně realizovalo v rámci svého projektového portfolia dalších cca 20 projektů financovaných z národních a mezinárodních grantů. Oddělení 53, Centrum HiLASE s účinností od 1. 7. 2020 prošlo organizační změnou s tím, že nově tvoří pět samostatných oddělení, přičemž Centrum HiLASE představuje dominantní část sekce výkonových laserů sekce 5 FZÚ.

9. Sekce realizace projektu ELI Beamlines

Výzkumná oddělení:

- radiační fyziky a urychlování elektronů
- urychlování iontů a aplikací vysokoenergetických částic
- strukturní dynamiky
- fyziky plazmatu a interakcí s ultravysokou intenzitou
- laserových systémů
- technické infrastruktury a přístrojových služeb

Podpůrná oddělení:

- konstrukční a projekční podpory
- administrace
- kanceláře ředitele Centra ELI Beamlines
- transferu technologií (CITT)
- stavební infrastruktury a IT

V roce 2020 probíhaly práce na dokončení instalací kompresoru. V průběhu celého roku probíhaly instalační práce na BT pro systém L3, aby mohl být zahájen uživatelský provoz na experimentálních stanicích v halách E2, E3, E4 a E5. V hale E1 probíhalo několik uživatelských experimentů. Průběh uživatelských experimentů byl výrazně omezen pandemií covid-19. Většina experimentů na dodaných vzorcích byla prováděna našimi zaměstnanci, protože účast zahraničních experimentálních týmů nebyla možná.

Probíhá realizace tří projektů financovaných z OPVVV – ADONIS, ELIBIO, HIFI. K 31. 12. 2020 byla dokončena realizace projektu v rámci národního programu udržitelnosti II. S ohledem na pandemii covid-19 byla realizace projektů v rámci OPVVV prodloužena do poloviny roku 2023.

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
Ing. Alexandr Dejnek, Ph.D.	interní člen
RNDr. Antonín Fejfar, CSc.	interní člen
RNDr. Stanislav Kamba, CSc.	interní člen
Mgr. Jindřich Kolorenč, Ph.D.	interní člen
prof. Ing. Pavel Lejček, DrSc.	interní člen
RNDr. Jiří J. Mareš, CSc.	interní člen
RNDr. Michael Prouza, Ph.D.	interní člen
prof. Jan Řídký, DrSc.	interní člen
prof. 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 2020 několik obchodních smluv (dodavatelských i odběratelských), z nichž celkové plnění představuje 2 582 245 Kč včetně DPH. Rodinný příslušník člena Rady FZÚ prof. Jana Řídkého, DrSc., realizoval v roce 2020 pro FZÚ grafické práce za 20 300 Kč. Místopředseda Dozorčí rady FZÚ Ing. Ivan Gregora, CSc., fakturoval v roce 2020 FZÚ překlady a jazykové korektury za celkem 24 120 Kč. Ředitel FZÚ RNDr. Michael Prouza, Ph.D., je statutárním zástupcem spolku Astropis, z.s., který FZÚ v roce 2020 fakturoval roční předplatné časopisu Astropis za 295 Kč.

Kromě výše uvedených skutečností není vedení FZÚ známo, že by některý ze členů řídicích a kontrolních orgánů a jejich rodinných příslušníků měl účast v osobách, s nimiž organizace uzavřela za účetní období roku 2020 obchodní smlouvy nebo jiné smluvní vztahy. Členům řídicích a kontrolních orgánů organizace nebyly poskytnuty v účetním období 2020 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 2020 zisk ve výši 5 454 tis. Kč a vlastní kapitál ve výši 7 473 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.

Na základě připomínek auditora byl u vybraných laserových zařízení projektu ELI změněn odpisový plán na 20 let tak, aby odpovídal odpisovému plánu laserových zařízení skupiny 3 (viz výše). Tím došlo ke snížení odpisů proti plánovaným odpisům o 445 981 166 Kč. Vzhledem k tomu, že majetek byl pořízen z dotace, je celkový dopad na hospodářský výsledek 0 Kč.

6. Způsob uplatnění 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 2020 byly dle platné metodiky využity vstupní údaje roku 2019.

8. Podstatné změny postupů účtování oproti předchozímu účetnímu období

Závazky ze záloh na poskytnuté dotace jsou počínaje rokem 2020 zúčtovávány až po finančním vypořádání celého dotačního případu, do té doby jsou evidovány na dohadných účtech aktivních a kumulovaně na poskytnutých zálohách. Obdobně je postupováno u dotací poskytnutých hlavním řešitelem projektu, které jsou evidovány jako ostatní závazky a jsou k nim účtovány dohadné aktivní účty. V případě poskytnutých nároků spolupříjemcům dotací, jsou pohledávky za spolupříjemci evidovány jako ostatní pohledávky do jejich vyúčtování.

9. Podstatné změny způsobů oceňování oproti požadavkům § 24–27, zákon 563/1991 Sb., o účetnictví

Způsoby oceňování odpovídají požadavkům zákona o účetnictví.

10. Podstatné změny způsobů odpisování oproti požadavkům § 28, zákon 563/1991 Sb., o účetnictví

Způsoby odpisování odpovídají požadavkům zákona o účetnictví.

11. Podstatné změny postupů účtování oproti požadavkům § 4, zákon 563/1991 Sb., o účetnictví

Postupy účtování odpovídají požadavkům zákona o účetnictví.

265

III. Doplnující informace k rozvaze a výkazu zisku a ztráty (údaje jsou v tisících Kč)

1. Účet 021 – Budovy a stavby

Skupina majetku	2020			2019		
	Vstupní cena	Oprávky	Zůstatková cena	Vstupní cena	Oprávky	Zůstatková cena
Budovy a stavby	3 038 624	348 050	2 690 574	2 932 143	288 587	2 643 556

2. Účet 022 – Samostatné movité věci a soubory movitých věcí a 082 – Oprávky k samostatným movitým věcem

Skupina majetku	2020			2019		
	Vstupní cena	Oprávky	Zůstatková cena	Vstupní cena	Oprávky	Zůstatková cena
Celkem, z toho:	7 573 393	2 712 803	4 860 590	6 525 180	2 193 748	4 331 432
Dopr. prostředky	8 380	5 042	3 338	8 478	4 335	4 143
Inventář	19 787	5 675	14 112	10 499	3 962	6 537
Předměty z drahých kovů	14 407	13 255	1 152	14 407	13 053	1 354
Stroje, přístroje a zařízení	7 530 819	2 688 831	4 841 988	6 491 796	2 172 398	4 319 398

3. Dlouhodobý nehmotný majetek

Skupina majetku	2020			2019		
	Vstupní cena	Oprávký	Zůstatková cena	Vstupní cena	Oprávký	Zůstatková cena
Celkem, v tom:	91 756	75 255	16 501	78 551	65 550	13 001
Ocenitelná práva	2 512	2 488	24	2 512	2 464	48
Software	89 244	72 767	16 477	76 039	63 086	12 953

4. Nedokončený dlouhodobý majetek

Skupina majetku	2020			
	Stav k 1. 1.	Pořízeno	Zařazeno	Zůstatek k 31. 12.
Celkem, v tom	1 030 892	660 631	1 189 105	502 418
Nedok. dl. nehmotný majetek (041)	914	1 976	1 649	1 241
Nedok. dl. hmotný majetek (042)	1 029 978	658 655	1 187 456	501 177

5. Přehled přírůstků a úbytků dlouhodobého majetku dle skupin

Skupina majetku	2020			
	Stav k 1. 1.	Pořízeno	Vyřazeno	Zůstatek k 31.12.
Software	76 039	13 413	208	89 244
Ocenitelná práva	2 512	0	0	2 512
Drobný dlouhodobý nehmotný majetek	3 366	0	363	3 003
Nedok. dlouhodobý nehmotný majetek	914	1 976	1 649	1 241
Pozemky	276 508	0	48	276 460
Stavby	2 932 143	106 624	143	3 038 624
Dopravní prostředky	8 478	0	98	8 380
Inventář	10 499	9 305	17	19 787
Předměty z drahých kovů	14 407	0	0	14 407
Stroje, přístroje a zařízení	6 491 796	1 059 763	20 740	7 530 819
Drobný dlouhodobý hmotný majetek	48 045	0	2 443	45 602
Nedok. dlouhodobý hmotný majetek	1 029 978	658 655	1 187 456	501 177
Poskytnuté zálohy na dlouh. hm. majetek	34 803	27 841	36 307	26 337

6. Souhrnná výše majetku neuvedená v rozvaze

Skupina majetku	Analytický účet	Zůstatek k 31.12.
Drobný dlouhodobý nehmotný majetek	9712	19 212
Drobný dlouhodobý hmotný majetek	9711	338 560



7. Pohledávky

Pohledávky	Částka
k odběratelům	5 167
poskytnuté provozní zálohy	1 624
pohledávky za zaměstnanci	218
jiné pohledávky	106 819
dohadné položky	1 334 693

Na dohadných účtech aktivních jsou evidovány dohady z titulu dotačních programů. Na účtech jiných pohledávek vykazuje FZÚ pohledávky za spolupříjemci z dotačních titulů.

Obchodní pohledávky po lhůtě splatnosti (311)	Částka
do 30 dnů	954
31-90 dnů	952
91-180 dnů	4
nad 180 dnů	97

Pohledávky kryté podle zástavního práva

FZÚ k datu účetní uzávěrky nevykazuje.

Opravné položky

FZÚ k datu účetní uzávěrky nevykazuje.

8. Jmění

Jmění	Částka
Jmění celkem	9 072 829
z toho: vlastní jmění	8 387 216
fondy	685 293
Oceňovací rozdíl finančních derivátů	319

9. Rozdělení zisku za minulé účetní období

Rozdělení zisku za minulé účetní období	Částka
Příděl do rezervního fondu	1 959
Příděl do fondu reprodukce majetku	0

10. Závazky

Dlouhodobé závazky

FZÚ k datu účetní uzávěrky nevykazuje.

Krátkodobé závazky

Částka

K dodavatelům	18 522
Přijaté zálohy	583
K zaměstnancům	53 249
K institucím sociálního zabezpečení a veř. zdravotního pojištění	29 491
Daň z příjmů ze závislé č. za zaměstnance	11 500
DPH	17 535
Daň z příjmů PO	0
Ostatní daně	8
Závazky ze vztahu k SR	1 695 819
Jiné závazky	91 778
Dohadné položky	0

Na účtu závazky ke SR jsou evidovány zálohy na provozní dotace přijaté v roce 2020 a 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.

Obchodní závazky po lhůtě splatnosti (321)

Částka

do 30 dnů	1 808
31–90 dnů	45
91–180 dnů	0
nad 180 dnů	2 492
nad 360 dnů	0

FZÚ neeviduje dluhy vzniklé v daném účetním období, kde doba splatnosti k 31. 12. 2020 přesahuje 5 let. Všechny finanční a jiné dluhy jsou obsaženy v rozvaze.

Závazky kryté podle zástavního práva

FZÚ k datu účetní uzávěrky nevykazuje.

11. Krátkodobé a dlouhodobé bankovní úvěry

FZÚ k datu účetní závěrky nevykazuje.

12. Finanční leasing

FZÚ k datu účetní závěrky nevykazuje.

13. Nepeněžitě závazky a jiná plnění neuvedené v účetnictví

FZÚ k datu účetní závěrky nevykazuje.



14. Výnosy z běžné činnosti

Výnosy celkem	Hlavní činnost	Jiná činnost
Provozní institucionální dotace na výzkum od zřizovatele AV ČR celkem	637 206	0
Provozní účelové dotace na výzkum od poskytovatelů z ČR mimo zřizovatele	813 749	0
Dotace, granty a dary na výzkum ze zahraničí *	25 772	0
Tržby za výrobky a poskytnuté služby	325	20 017
Aktivace vnitroorganizačních složek	-8 680	0
Smluvní pokuty a penále	9 261	0
Úroky	2 591	0
Kurzové zisky	7 245	42
Zúčtování fondů	75 990	0
z toho: RF	0	0
sociální fond	13 427	0
FÚUP	62 563	0
Jiné provozní výnosy	632 187	73
z toho: nájemné, výnosy z konferencí, jiné ostatní výnosy	26 402	73
zúčtování poměrné části odpisů	605 785	0
Tržby z prodeje dlouhodobého majetku	90	0

269

15. Osobní náklady

Informace	Počet/Částka Rok 2019	Počet/Částka Rok 2020
Průměrný počet zaměstnanců	1 104	1 139,30
z toho: řídících	9	10
Výše osobních nákladů na zaměstnance v tis. Kč	970 282	1 045 444
z toho: na řídící pracovníky	19 493	23 116
hrubé mzdy pracovníků (bez OON)	667 695	718 018
OON	16 091	16 440
sociální a zdravotní pojištění	232 464	252 196
příděl do sociálního fondu	13 754	14 823
ostatní sociální náklady a čerpání sociálního fondu	20 469	20 525
odměny Radě ústavu	186	186
odměny Dozorčí radě	130	140

16. Významné položky výkazu zisku a ztráty

FZÚ k datu účetní závěrky nevykazuje.

17. Propojené a spřízněné osoby

FZÚ vykazuje pouze půjčky zaměstnancům ve výši 729 tis. Kč.

18. Půjčky, záruky a ostatní plnění poskytnutá členům orgánů FZÚ včetně bývalých členů

FZÚ k datu účetní závěrky nevykazuje.

19. Pohledávky vůči propojeným osobám

FZÚ k datu účetní závěrky nevykazuje.

20. Závazky vůči propojeným osobám

FZÚ k datu účetní závěrky nevykazuje.

21. Významné položky, které jsou ve výkazech kompenzovány s jinými položkami

FZÚ k datu účetní závěrky nevykazuje.

22. Události mezi rozvahovým dnem a datem sestavení závěrky

Dne 12. ledna 2021 byla zapsána do obchodního rejstříku společnost Hi-Beams, s.r.o., IČ 09818898 se sídlem Průmyslová 3020/2, 787 01 Šumperk. V této společnosti má FZÚ podíl 50 % v hodnotě 100 000 Kč. Předmětem podnikání je obráběčství, kovářství, podkovářství, zámečnictví, nástrojářství a výroba, obchod a služby neuvedené v přílohách č. 1 až 3 živnostenského zákona.

23. Přijaté dary a veřejné sbírky

FZÚ k datu účetní závěrky nepřijal finanční dary ani veřejné sbírky.

24. Poskytnuté dary

FZÚ k datu účetní závěrky neposkytl žádné dary jiným subjektům.

25. Dotace

Poskytovatel	Částka
AV ČR – podpora činnosti pracoviště AV a VO	380 200
AV ČR – příspěvek na zajištění činnosti	257 006
GA ČR	119 097
Projekty ostatních resortů	592 111
TA ČR	42 358
Projekty – FZÚ je spolupříjemce	85 955
Ostatní	0
Celkem	1 476 727

Přijaté prostředky na investice

Poskytovatel	Částka
AV ČR – podpora činnosti VO	66 775
AV ČR – příspěvek na zajištění činnosti	209 041
GA ČR	5 485
Projekty ostatních resortů	429 690
Dotace mimorozpočtové ostatní	2 659
Celkem	713 650

26. Daňová povinnost

Za rok 2020 činí daňová povinnost FZÚ 2 024 610 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.

Datum sestavení: 14. 5. 2021

Ing. Václav Říšský



podpis a jméno autora zprávy

27. Ostatní

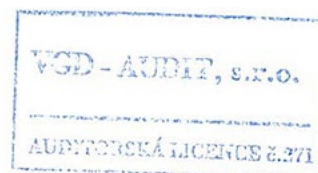
Odměna auditora za povinný audit roční účetní závěrky včetně ověření výroční zprávy za rok 2020 činí 200 872,10 Kč včetně DPH.

RNDr. Michael Prouza, Ph.D.



podpis a jméno odpovědné osoby

otisk razítka



3.4 Údaje požadované dle §

3.4.1 Předpokládaný vývoj pracoviště*

Výzkumná činnost pracoviště bude probíhat v souladu s hlavní činností ústavu a 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 důležité dále rozšiřovat experimentální infrastrukturu a dále rozvíjet spolupráci s vysokými školami. Důraz bude kladen na řádné začlenění admi-

nistrativních činností spojených s projekty financovanými z evropských fondů tak, aby nedošlo k narušení probíhajících badatelských aktivit.

272 3.4.2 Aktivity v oblasti pracovněprávních vztahů*

V roce 2020 byl ve FZÚ dosažen významný pokrok v HR oblasti a vylepšování pracovního a výzkumného prostředí. Tyto aktivity probíhaly v rámci Akčního plánu FZÚ a ocenění excelence lidských zdrojů ve výzkumu „HR Excellence in Research Award“, které FZÚ získal v roce 2019 od Evropské komise. V rámci personálního útvaru byly na začátku roku 2020 dokončeny náborové na pozice HR specialistů a došlo k doplnění HR týmu FZÚ tak, aby bylo možné zastřešit a pokrýt veškeré plánované HR činnosti v rámci Akčního plánu FZÚ. Díky tomuto kroku bylo možné od března 2020 nastartovat tzv. systém HR partneringu. V rámci tohoto systému má každá sekce FZÚ přiděleného svého HR partnera, který pomáhá v implementaci HR procesů, nastavení a proškolení připravených metodik, organizuje a koordinuje výběrová řízení na volné pracovní pozice, organizuje zaškolení nových zaměstnanců v prvních dnech na pracovišti apod.

V rámci HR týmu působí kolegyně, které se kontinuálně starají o koordinaci školení ve FZÚ, především školení „měkkých dovedností“ zaměřených na administrativní, vědecké a vedoucí pracovníky. Díky pandemii způsobené onemocněním covid-19 bylo nutné vzdělávací aktivity z důvodu vládních opatření omezit nebo nahradit jinými formami on-line vzdělávání nebo webinářů. V roce 2020 se HR tým také začal intenzivněji zabývat přípravou mentoringových aktivit a mapovat oblasti, ve kterých v rámci FZÚ již podobné aktivity probíhají, tak aby došlo k centralizaci těchto aktivit. Jedná se o podporu pravidelné spolupráce především mezi vědeckými zaměstnanci.

Kromě výše zmíněných aktivit se HR tým zabýval tématy zlepšování pracovních podmínek a pracovního prostředí FZÚ, a to v návaznosti na zpětnou vazbu od zaměstnanců pomocí dotazníků a osobních setkání. Dále se HR tým zabýval genderovými otázkami a té-

matem tzv. nevědomých předsudků, který s tímto tématem přímo souvisí. V rámci těchto aktivit HR tým spolupracuje s Národním kontaktním centrem – NKC Gender a věda. Ve spolupráci s touto institucí proběhly v září 2020 na všech pracovištích FZÚ semináře zaměřené na nevědomé předsudky.

V oblasti adaptace nových zaměstnanců došlo ke standardizaci vstupních školení pro nové zaměstnance, včetně přípravy uvítací prezentace, a to jak v českém, tak anglickém jazyce.

V červnu 2020 byly spuštěny nové webové stránky FZÚ pro veřejnost i pro zaměstnance. Díky aktualizaci intranetových stránek, mají zaměstnanci FZÚ na webu k dispozici informace nejen o aktivitách HR týmu, ale i ostatní interní dokumenty, strategie, metodiky, zprávy a aktuality. Tyto informace jsou postupně doplňovány a aktualizovány. Zároveň v roce začaly vycházet tzv. „HR News“ v tištěné a elektronické podobě, které informují zaměstnance o novinkách z personální a mzdové oblasti.

Jelikož FZÚ čeká v roce 2021 zhodnocení plnění jeho Akčního plánu FZÚ za roky 2018–2020 Evropskou komisí, probíhalo v druhé polovině roku 2020 zhodnocení naplňování tohoto plánu a příprava nového Akčního plánu na roky 2021–2023.



3.4.3 Aktivity v oblasti ochrany životního prostředí*

Soustavný dohled nad radiační ochranou zajišťuje dohlížející osoba (dle zákona 263/2016 Sb.), Ing. Veronika Olšovcová, PhD., která je interním zaměstnancem FZÚ.

Kontrolním úřadem je SÚJB, Regionální centrum Praha. Zkoušky dlouhodobé stability uzavřených radionuklidových zářičů 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 provádí průběžně každý měsíc likvidaci nebezpečného odpadu z nádob pro tento odpad určených (tonery, baterie, elektrický odpad aj.). Bioodpad produkovaný vědeckými odděleními se soustřeďuje ve speciálních nádobách a jednou za čtrnáct dní je výše uvedenou firmou odvezen a zlikvidován.

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 a Magistrátu hl. m. Prahy.

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 papíru, kartonových obalů a plastů je soustředěn do nádob k tomu určených. Odvoz a likvidaci zajišťují společnosti FCC Česká republika, s.r.o. a Pražské služby, a.s. Praha. Kovový odpad je skladován na určeném místě a dle potřeby odvážen do Sběrných surovin.

3.4.4 Zpráva o poskytování informací za období od 1. 1.–31. 12. 2020**

1.	Počet podaných žádostí o informace	0
2.	Počet vydaných rozhodnutí o odmítnutí žádosti o 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 řízení o přestupku nebo správním deliktu.
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 na postup při vyřizování žádosti o informace.
8.	Další informace vztahující se k uplatňování zákona	0

* Údaje požadované dle §21 zákona 563/1991 Sb., o účetnictví, ve znění pozdějších předpisů.

** Údaje požadované dle § 18 odst. 1 zákona č. 106/1999 Sb., o svobodném přístupu k informacím, a ve znění pozdějších předpisů.

3.5 Zpráva nezávislého auditora pro Fyzikální ústav AV ČR, v. v. i.



274

ZPRÁVA NEZÁVISLÉHO AUDITORA

o ověření účetní závěrky za období
od 1. ledna 2020 do 31. prosince 2020
organizace

Fyzikální ústav AV ČR, v.v.i.

BELGIUM - BULGARIA - CZECH REPUBLIC - GERMANY - HUNGARY - LUXEMBOURG - NETHERLANDS - POLAND - RUSSIA - SLOVAK REPUBLIC



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 2020, výkazu zisku a ztráty, za rok končící 31. prosince 2020 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 2020 a nákladů a výnosů a výsledku jejího hospodaření za rok končící 31. prosince 2020 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 obdržенých 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.

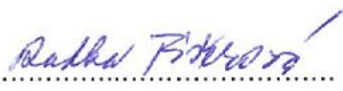
- Vyhodnotit celkovou prezentaci, členění a obsah účetní závěrky, včetně přílohy, a dále to, zda účetní závěrka zobrazuje podkladové transakce a události způsobem, který vede k věrnému zobrazení.

Naši 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 14. května 2021

Auditorská společnost:

Auditor, který byl auditorskou společností určen jako odpovědný za provedení auditu jménem auditorské společnosti:

		
VGD - AUDIT, s.r.o. evidenční č. 271 Bělehradská 18, 140 00 Praha 4		Ing. Radka Fišerová evidenční č. 2000





NÁZEV: Výroční zpráva o činnosti a hospodaření za rok 2020

AUTOR: FZÚ AV ČR

VYDALA: FZÚ AV ČR

TISK: MaRK5 Production

GRAFICKÉ ZPRACOVÁNÍ: Designiq

POČET STRAN: 278

NÁKLAD: 50 výtisků



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



Vydání této zprávy bylo podpořeno projektem Strategická tvorba intenzivního rozvoje kapacit
Fyzikálního ústavu AV ČR, reg. č. CZ.02.2.69/0.0/0.0/18_054/0014658



Akademie věd
České republiky