



FZU

Fyzikální ústav
Akademie věd
České republiky

Výroční zpráva o činnosti a hospodaření za rok 2022

Úvodní slovo



Zpracovatel:

Fyzikální ústav AV ČR, v. v. i.
IČO: 68378271

Sídlo:

Na Slovance 1999/2 182 00 Praha 8
tel.: (+420) 266 052 110
fax.: (+420) 266 052 255
e-mail: secretary@fzu.cz
www.fzu.cz

Zřizovatel:

Akademie věd ČR

Dozorčí radou pracoviště projednáno dne 9. 6. 2023
Radou pracoviště schváleno dne 19. 6. 2023
V Praze dne 19. 6. 2023

Výroční zprávy jsou milníky, které lemují cestu, růst a proměny dané instituce v čase. V případě Fyzikálního ústavu AV ČR (FZU) byl rok 2022 opět nabitý událostmi a poměrně zásadními změnami.

Když jsem psal před rokem úvodní slovo k výroční zprávě FZU za rok 2021, docela silně jsem doufal, že naposledy musím řešit covid a s ním spjatá mnohá omezení. To se vlastně vyplnilo, z hrozivé pandemie se stala dosti nepříjemná, ale celkem běžná součást našich životů, která nás nyní na celém světě už neomezuje ani v cestování, ani v setkávání se. Zároveň jsem na počátku roku 2022 doufal, že tento uplynulý rok bude klidnější a podobnější těm před covidem. Jak všichni víme, to se bohužel nesplnilo. Hrůzná válka na Ukrajině, příliv uprchlíků i do ČR a FZU, energetická krize a několikanásobný růst cen energií, to všechno se odrazilo v našich životech, tedy jak v osobní, tak v pracovní rovině.

Kupodivu, tyto dramatické události světového kalibru ale nebyly tím, co naši realitu v loňském i letošním roce ovlivňuje nejvíce. Díky aktivní roli vedení AV ČR se podařilo rychle připravit a spustit docela velkorysý program podpory ukrajinských uprchlíků, stejně tak se díky spojeným silám a spojené podpoře opět ze strany AV ČR a též ze strany ministryně pro vědu Heleny Langšádlové podařilo nalézt mimořádné prostředky na mimořádně drahé energie a většinu děr v rozpočtu tak v loňském roce zalepit. Největší dopad na FZU měly události, které jsem zmiňoval ve výroční zprávě již loni a které se potvrdily – konec projektů OP VVV a zatím jen pomalý náběh nového Operačního programu JAK, významně ořezaná provozní podpora velkých výzkumných infrastruktur v ČR a konec programů mezinárodní vědecké spolupráce na MŠMT spolu se stagnujícím rozpočtem celé AV ČR vedly k tomu, že se nám vyrovnaný rozpočet FZU na rok 2023 sestavoval za mnoho let nazpět nejobtížněji.

Jako prioritu jsme si dali, že nechceme propouštět nikoho z velmi kvalitních a pracně vybudovaných projektových týmů – ať již jde o týmy vědecké (např. v obo-

ru kosmologie či gravitační fyziky), anebo o týmy technické či administrativní (např. tým podpory lidských zdrojů, tým pro popularizaci vědy, tým pro technologický transfer nebo naši grantovou kancelář). Spolu se všemi výše uvedenými negativními vlivy z toho ale vyplynulo, že rozhodně nebudeme mít žádné prostředky na růst institucionálních mezd, a tak poprvé po několika letech, na pozadí dvouciferné inflace, jsme nebyli schopni počátkem roku 2023 navýšit našim zaměstnancům mzdy. A zatím se zdá, že si budeme muset pro vyrovnání nějaké peníze vyzvednout i z Rezervního fondu FZU, ale to už předbírám přece jen příliš dříve...

Zpět k roku 2022 – jak už jsem také avizoval před rokem – nejvýznamnější změnou organizační struktury FZU byl odchod celého laserového centra ELI Beamlines do mezinárodní organizace ELI ERIC, který jsme pečlivě připravovali většinu minulého roku a který formálně nastal k 31. 12. 2022. Zanikla tak jedna z vědeckých sekcí FZU a odešla asi jedna čtvrtina zaměstnanců. Jsem moc rád, že tato změna proběhla velmi hladce a podle očekávání. Centrum ELI Beamlines již dosáhlo provozní i vědecké dospělosti a pro další růst a skutečně evropské i světové fungování je pro něj potřebný a vhodný provoz pod střechou evropské organizace. Přesto jsou moje pocity smíšené – říkám si, že asi podobně jako u matky, které odchází do světa její dospělý syn – je to zvláštní směsice hrdosti a radosti, spojená ale s nezanedbatelným množstvím nostalgie a pocitu ztráty. ELI Beamlines nicméně nikam nemizí, celé ELI se stalo strategickým partnerem FZU a rozvíjíme více velmi důležitých programů vzájemné spolupráce.

Situace české vědy zůstává zatím neuspokojivá a poněkud zamrzlá – zejména v oblasti základního výzkumu prostředky nijak nepřibývají, či spíše ubývají. Aby takto nezamrzl ani celý FZU, musíme neustále hledat nové možnosti a příležitosti pro další rozvoj. Příkladem je situace v oblasti aplikovaného výzkumu, tam se na konci roku 2022 pro FZU podařilo zajistit pokračování Národního centra kompetence MATCA, ze

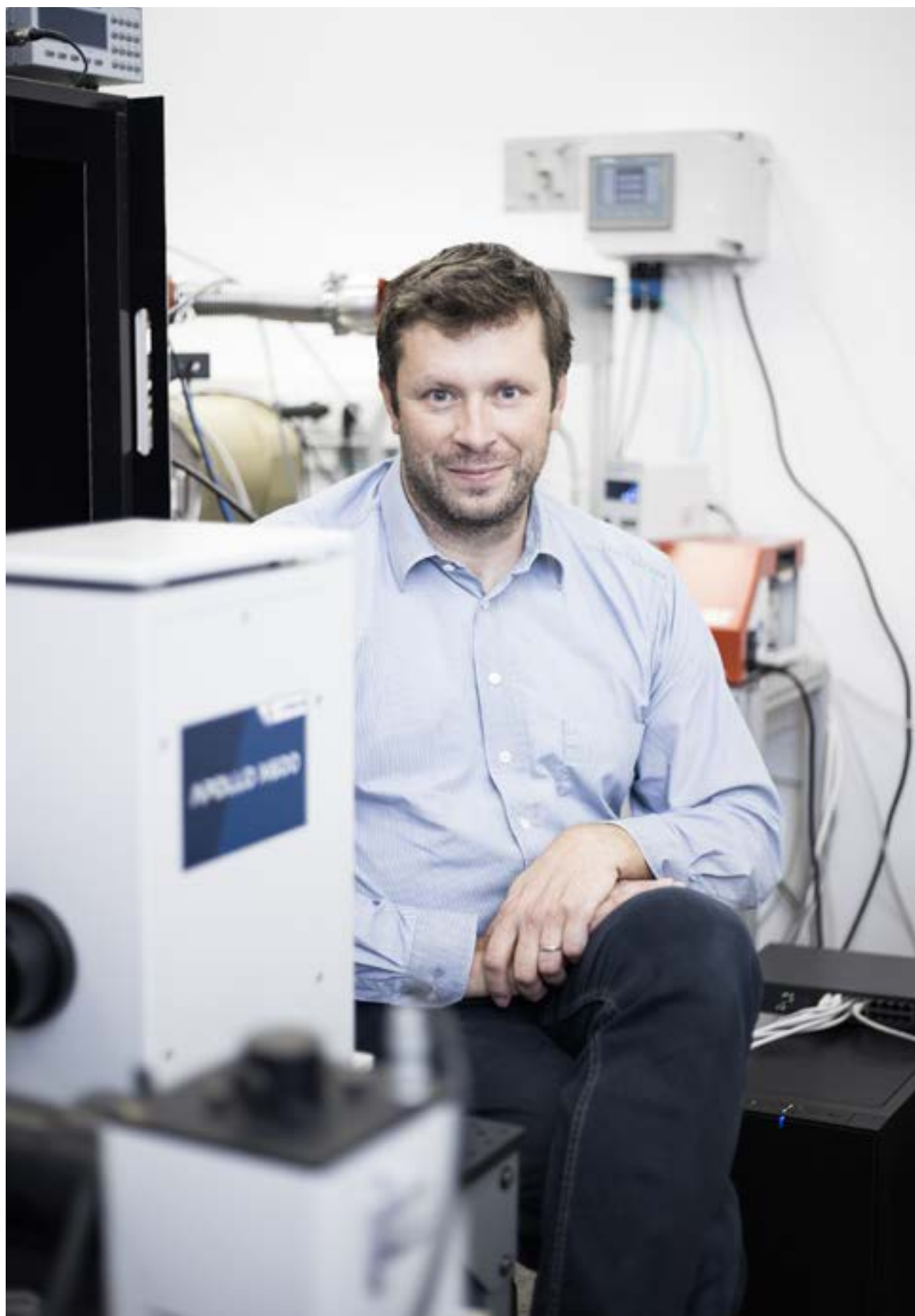


Foto: Denisa Dimitrovová, 100vědců

zdrojů OP PIK spravovaného Ministerstvem průmyslu a obchodu se povedlo v Dolních Břežanech vybudovat zbrusu nové inovační centrum B4I nebo se podařilo pro FZU získat jeden ze šesti evropských digitálních inovačních hubů v ČR. Velmi dobře se nám daří také v různých programech TA ČR.

Druhou cestou je pak navýšení objemu zahraničních grantů, zejména těch evropských. A FZU se velmi daří i v tomto ohledu. V programu MSCA jsme již získali více než dvacítku prestižních individuálních postdoktorských stipendií a v létě roku 2022 pak zejména projekt MSCA COFUND P4F, díky kterému do FZU zamíří v roce 2024 30 excelentních postdoků a dalších 30 v roce 2026, všichni se zajištěnou mzdou z evropských zdrojů a na skutečně evropské úrovni. Z roku 2022 máme jeden grant ERC Starting (řešitel Tim Verhagen) a z roku 2023 zatím jeden grant ERC Advanced (řešitel Tomáš Jungwirth), daří se získávat i nové kolaborativní granty Horizon Europe. Potřebujeme rozšířit naši účast v projektech mimo první pilíř Horizon Europe. V druhém pilíři jsme zatím získali jen jediný projekt a ve třetím pilíři dva projekty. Více bychom měli využít i poměrně štedrý program WIDERA pro rozšiřování účasti nyní již jen v uvozovkách „nových“ zemích Evropské unie.

I když jsme v této oblasti evropských a v širším smyslu obecně mezinárodních projektů pořád spíše na začátku naší cesty, v rámci AV ČR již nyní v tomto ohledu máme zcela výsadní postavení. Za rok 2022 pocházela z našeho ústavu více než polovina příjmů ze zahraničních grantů v rámci celé Akademie!

Při každodenním docházení do ústavu to není tak dobře patrné, ale s časem se docela významně mění i složení zaměstnanců FZU. V této souvislosti chci zmínit dvě jistě pozitivní změny. Zastoupení žen roste v rámci celého FZU, nejvýrazněji pak v kategorii vědeckých pracovníků – postdoktorandů, kde na konci roku 2022 bylo již více než 29 % žen. To už je dokonce vyšší zastoupení, než bývá žen studujících ve fyzikálních oborech na vysokých školách jak v ČR, tak i v jiných

evropských zemích. Relativně rychle narůstá i počet zahraničních zaměstnanců ve vědeckých kategoriích. Na konci roku 2022 jsme se pak přiblížili významnému milníku, kdy aktuálně již téměř polovina úvazků vědců připadá na zaměstnance ze zahraničí.

Na závěr úvodního slova bych chtěl zkusit nahlédnout i do budoucnosti. Co se týká cen energií, vyhlídka do dalšího roku je jistě dobrá, již nyní jsou námi hrazené spotové ceny asi o čtvrtinu pod vládním stropem a pro příští rok se s vysokou pravděpodobností ještě více přiblížíme cenám energií z doby před válkou na Ukrajině. Zbytek je méně pozitivní. Rada pro výzkum, vývoj a inovace navrhla tentokrát přívětivý rozpočet Akademie věd ČR, který by měl narůst ve srovnání s rokem 2023 o 14 %, přičemž obdobně by měl narůst i institucionální rozpočet FZU. Bohužel, ve světle úsporných opatření o takovém navýšení zatím nechce ani slyšet Ministerstvo financí, které by se spíše snažilo prosadit plošné škrtky oproti stavu z roku 2023. Jak tato partie mezi ministry nakonec dopadne, nevíme. Máme ale ještě několik železek v ohni v podobě tří projektů OP VVV ve výzvě Špičkový výzkum, které FZU podal jako příjemce dotace, a devět dalších projektů ve stejné výzvě, kde je FZU jako partner. Pokud se snad před koncem roku 2023 dozvíme, že jsme aspoň v jednom „našem“ a v několika dalších „partnerských“ projektech byli úspěšní, pak jsem přesvědčen o tom, že se nám rozpočet pro rok 2024 bude sestavovat již příjemněji.

Myslím, že takový přiměřeně optimistický výhled za objektivně těžkých časů je možné vyslovit jen díky neutuchající pili a skvělým výsledkům všech pracovníků FZU. Za tuto vynikající práci, za nadšení a zápal pro věc a za jedinečnou vytrvalost všem moc děkuji!

V Praze dne 28. 5. 2023

Michael Prouza
ředitel FZU

Obsah



4

Úvodní slovo	1
Dvořákova přednáška 2022	10
1. Přehled vybraných ukazatelů FZU v roce 2022	13
1.1 Struktura ústavu	14
1.2 Stručně o FZU	16
1.3 Nejvýznamnější výsledky vědecké činnosti FZU za rok 2022	18
1.4 Ocenění a úspěchy zaměstnanců	21
1.5 Významné vědecké akce s mezinárodní účastí	24
1.6 Publikační činnost	26
1.7 Projekty	27
1.8 Základní personální údaje	28
2. Výzkumná činnost	33
Struktura vědeckých sekcí FZU v roce 2022	34
2.1 Sekce fyziky elementárních částic v roce 2022	36
Oddělení astročásticové fyziky	38
Oddělení experimentální fyziky částic	39
Oddělení teorie částic a kosmologie	41
Oddělení vývoje detektorů a zpracování dat	42
Oddělení kosmologie a gravitační fyziky	43
2.2 Sekce fyziky kondenzovaných látek	44
Oddělení magnetických měření a materiálů	46
Oddělení dielektrik	47
Oddělení materialové analýzy	49
Oddělení funkčních materiálů	52
Oddělení teorie kondenzovaných látek	54
Oddělení chemie	55

5

2.3 Sekce fyziky pevných látek	56
Oddělení povrchů a molekulárních struktur	58
Oddělení polovodičů	60
Oddělení spintroniky a nanoelektroniky	61
Oddělení strukturní analýzy	63
Oddělení magnetik a supravodičů	65
Oddělení tenkých vrstev a nanostruktur	67
Oddělení optických materiálů	68
2.4 Sekce optiky	70
Oddělení optických a biofyzikálních systémů	72
Oddělení nízkoteplotního plazmatu	76
Oddělení analýzy funkčních materiálů	77
Společná laboratoř optiky	78
2.5 Sekce výkonových laserů – Centrum HiLASE	80
Výzkum a vývoj pokročilých laserových systémů	82
Vývoj průmyslových laserových aplikací	83
Laserová příprava nových materiálů a přizpůsobení jejich vlastností	84
Specifické projevy vysokoparametrových interakcí fotonů a nabitých částic	86
2.6 Sekce realizace projektu ELI Beamlines	90
Oddělení radiační fyziky a urychlování elektronů	92
Oddělení urychlování iontů a aplikací vysokoenergetických částic	93
Oddělení strukturní dynamiky	95
Oddělení fyziky plazmatu a interakcí s ultravysokou intenzitou	96
Oddělení laserových systémů	97
3. Spolupráce	99
3.1 Spolupráce s vysokými školami	100
3.2 Výuka studentů	104
3.2.1 Uzavření dílčí dohody o spolupráci s VŠ při uskutečňování DSP	104
3.2.2 Výchova studentů	104
3.2.3 Výchova pregraduálních studentů	104
3.2.4 Vědecké a vědecko-pedagogické hodnosti pracovníků ústavu	104
3.2.5 Pedagogická činnost pracovníků ústavu	105
3.2.6 Vzdělávání středoškolské mládeže	105

3.3	Mezinárodní spolupráce FZU	108
3.4	Popularizace vědy	114
3.4.1	Mediální prezentace FZU v roce 2022	114
3.4.2	Popularizace vědy pro studenty a veřejnost	115
3.4.3	Akce pro pedagogy	121
3.4.4	Stáže a další akce pro studenty	121
4.	Orgány FZU	125
4.1	Ředitel a vedení ústavu	126
4.2	Rada pracoviště	127
4.2.1	Složení rady pracoviště do 12. 2. 2022	127
4.2.2	Složení rady pracoviště od 13. 2. 2022	127
4.2.2	Zasedání Rady FZU AV ČR	128
4.3	Dozorčí rada pracoviště	130
4.3.1	Složení Dozorčí rady do 30. 4. 2022	130
4.3.2.	Složení Dozorčí rady od 1. 4. 2022	130
4.3.3	Zasedání Dozorčí rady FZU v roce 2022	130
4.4	Mezinárodní poradní sbor	132
4.4.1	Mezinárodní poradní sbor	132
5.	Další informace	135
5.1	Předpokládaný vývoj pracoviště*	136
5.2	Aktivity v oblasti pracovněprávních vztahů*	137
5.3	Aktivity v oblasti ochrany životního prostředí*	138
5.4	Poskytování informací za období od 1. 1.–31. 12. 2022**	139
6.	Ekonomická část	141
6.1	Rozvaha	142
6.2	Výkaz zisku a ztráty	146
6.3	Příloha k účetní závěrce v plném rozsahu k 31. 12. 2022	148
7.	Zpráva auditora	161
7.1	Zpráva nezávislého auditora pro Fyzikální ústav AV ČR, v. v. i.	162





Na Ondřejovské hvězdárně se od roku 2021 postupně staví dva čerenkovské dalekohledy budované původně jako prototypy pro malé teleskopy pro observatoř Cherenkov Telescope Array. Za systém optiky teleskopu zodpovídá v mezinárodním týmu SST-1M Fyzikální ústav a Univerzita Palackého v Olomouci. První spršky sekundárního kosmického záření způsobené interakcí primární částice v atmosféře zaznamenal ve středu 23. února Čerenkovský dalekohled SST-1M. Ten bude měřit gama záření o vysoké energii ze zdrojů v naší Galaxii i ze vzdálenějších míst vesmíru.

Nejvyšší vědeckou kvalifikaci v profesní kariéře vědce, titul Doktora věd, převzali z rukou Evy Zažímalové předsedkyně Akademie věd ČR dva pracovníci Fyzikálního ústavu: RNDr. Stanislav Kamba, CSc., DSc., a Mgr. Marek Taševský, Ph.D., DSc.



Kapalné krystaly opět vévodí fotosoutěži FZU – fotografií roku 2022 se stal snímek Alexeje Bubnova, který zachytil pozorování textur kapalných krystalů v polarizačním mikroskopu. Výběr z 169 zaslaných fotografií tvoří tradičně i kalendář FZU na následující rok.



Budoucnost nanotechnologií, vývoje kvantových počítačů, ale i chemie a medicíny zásadním způsobem ovlivňuje chování velmi malých systémů velikosti řádově desítek až stovek nanometrů v obecně nerovnovážných podmínkách. Právě systémům této velikosti se věnovala srpnová mezinárodní fyzikální konference Hranice kvantové a mezoskopické termodynamiky 2022. V rámci konference měli posluchači jedinečnou možnost si poslechnout veřejnou přednášku Astronomie, Bůh a hledání elegance astronoma a ředitele Vatikánské observatoře Guye Consolmagna. Astronaut a geolog Harrison Schmitt, člen posádky Apollo 17, přednesl přednášku From Coyotes to Moonbeams. Oběma vědcům před jejich vystoupením udělil Miloš Vysrčil, předseda Senátu, pamětní medaili Senátu za jejich přínos vědeckému poznání a práci pro společnost.

Má smysl vydávat tištěný časopis, který se zabývá propagací fyziky? Touto kontroverzní otázkou zahájil diskusi o budoucnosti popularizace fyziky ředitel Fyzikálního ústavu Michael Prouza. Debata se konala v pondělí 24. října u příležitosti oslav 150. výročí časopisu pro fyziku v zaplněném sálu budovy SOLID21 a následovala po odborných přednáškách věnovaných historii fyziky a její popularizace. Pětice popularizátorů fyziky, která přijala účast na panelové debatě – šéfredaktor Československého časopisu pro fyziku profesor Jan Valenta, jeho předchůdce doktor Libor Juha, docent Jiří Dolejší z České fyzikální společnosti, profesor Jiří Podolský z Matematicko-fyzikální fakulty Univerzity Karlovy a za Fyzikální ústav profesor Jiří Chýla – v reakci na úvodní vyzývavou otázku jednohlasně podpořili další existenci tištěného periodika.



Za přítomnosti předsedkyně Akademie věd České republiky Evy Zažímalové proběhlo 4. srpna slavnostní poklepání na základní kámen dolnobřežanské stavby inovačního centra konsorcia Brain4Industry. To bylo nedávno zařazeno do sítě evropských center pro digitální inovace. „Bez skvělé podpory Akademie věd bychom prakticky neudělali v těchto nepříznivých a složitých dobách nic,“ uvedl ředitel Fyzikálního ústavu Michael Prouza a vyzdvihl i zásluhy zesnulého starosty Věslava Michalíka, který stál i na počátku inovačního centra B4I

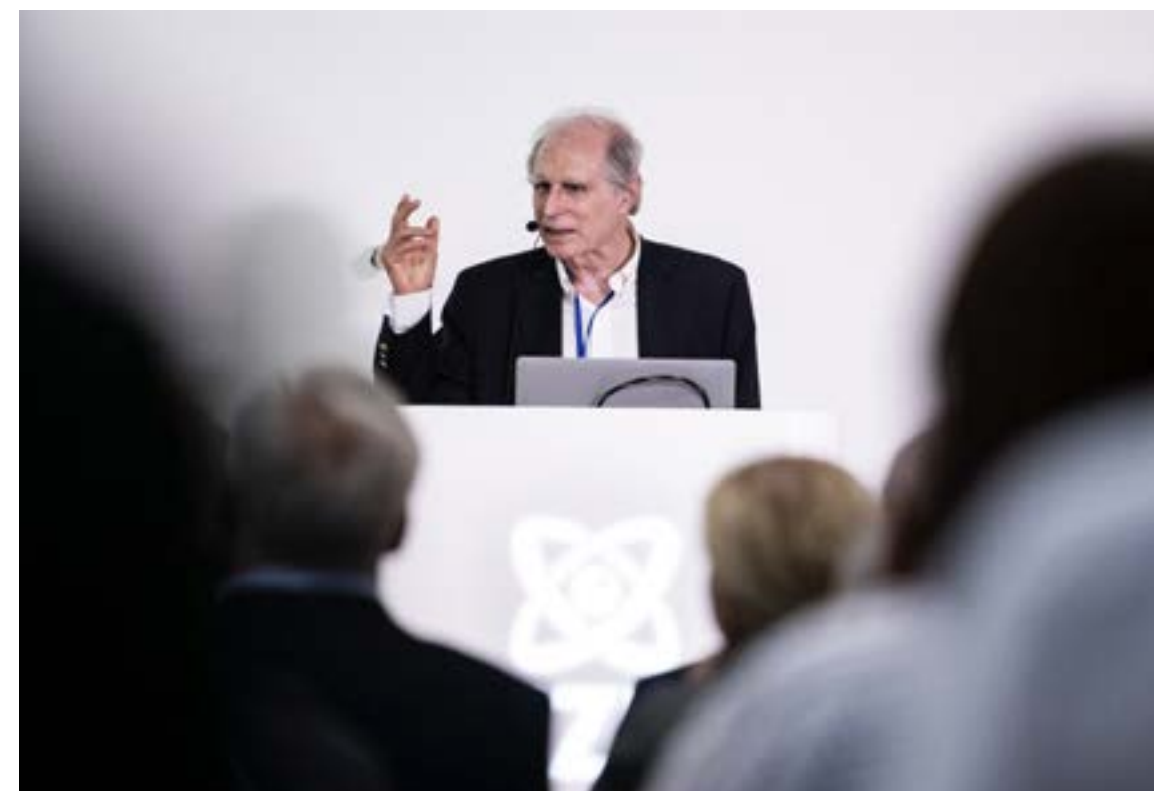
Dvořákova přednáška 2022

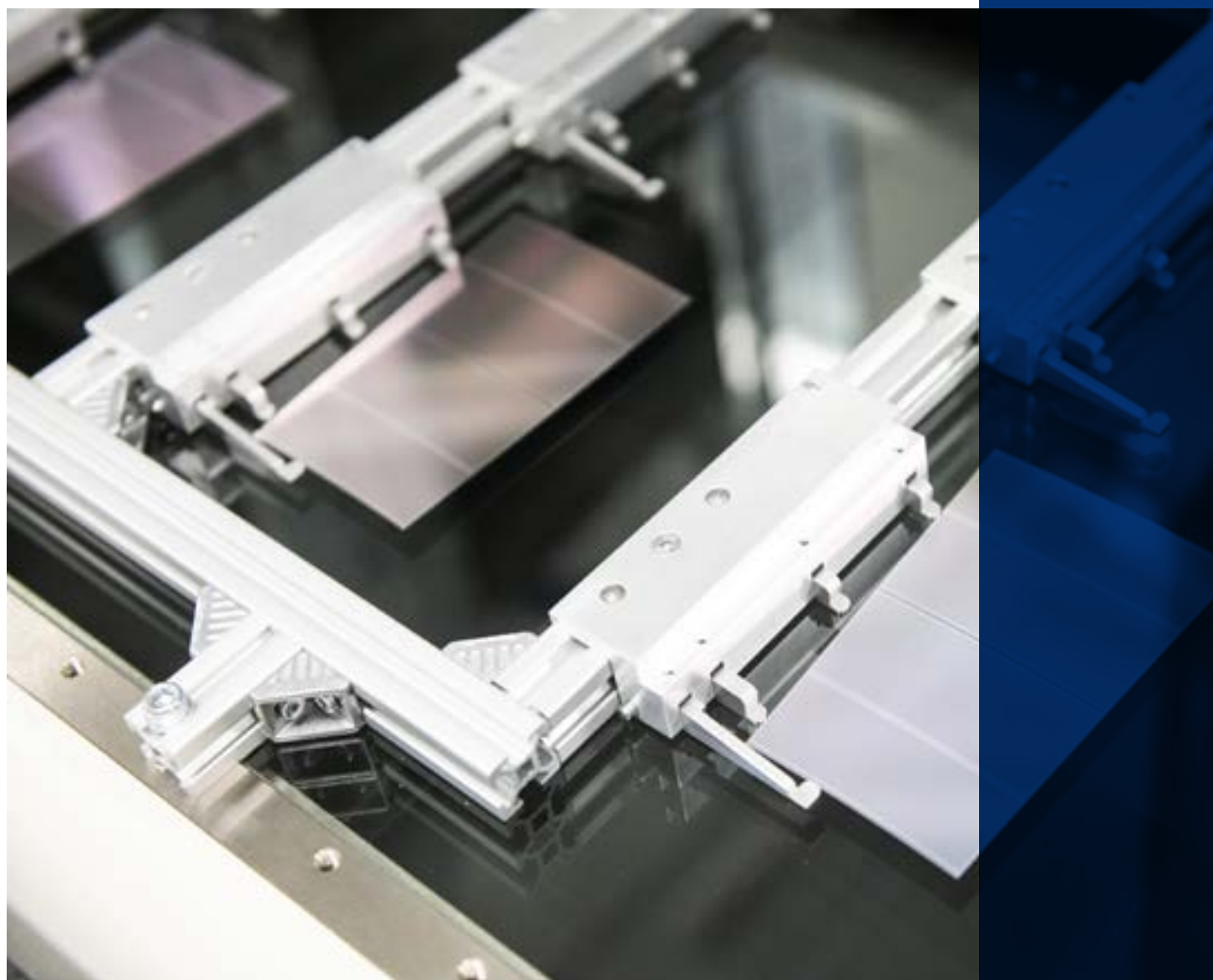
Fyzikální ústav každoročně pořádá slavnostní přednášku na počest profesora Vladimíra Dvořáka, významného vědce a bývalého ředitele ústavu. Jorge Rocca, univerzitní profesor na katedře elektrotechniky a informatiky a na katedře fyziky Coloradské státní univerzity, přednesl 13. června přednášku na téma Výkonné lasery: od intenzivních rentgenových paprsků po relativistickou nanofotoniku.

V přednášce představil přehled vývoje kompaktních měkkých rentgenových laserů na bázi plazmatu, které umožňují realizovat řadu praktických aplikací v nanovědách a nanotechnologiích. Rentgenové lasery na bázi plazmatu poskytují extrémně monochromatické pulzy s vysokou energií, které mohou dosáhnout plné koherence. Umožňují provádět experimenty, jako je morfologické zobrazování jedním pulzem a zobrazování složení v nanoměřítku, bezchybné nanostrukturování a studium elektronické struktury a reaktivity nanoklastrů v kompaktních zařízeních. Věnoval se také využití vysoce intenzivních ultrakrátkých optických laserových pulzů k objemovému ohřevu hmoty s hustotou pevné fáze do nového režimu ultrahorkého plazmatu charakterizovaného extrémními hustotami energie.

Profesor Jorge Rocca se specializuje na fyziku a vývoj výkonných laserů, rentgenových laserů a studium interakcí ultraintenzivních laserů s hmotou. Nedávno jeho tým dokázal, že intenzivní laserové ozařování uspořádaných nanostruktur vytváří plazmový režim s ultravysokou hustotou energie, který vede k tlakům o hodnotě několika gigabarů, extrémnímu stupni ionizace a rekordní účinnosti přeměny na pikosekundové pulsy rentgenového záření a k fúzi v mikroměřítku. Tyto výsledky byly publikovány ve více než 280 odbor-

ných článkách. Profesor Rocca obdržel cenu Arthura L. Schawlowa za laserovou vědu od Americké fyzikální společnosti a cenu Willise E. Lamba za laserovou vědu a kvantovou optiku. Je také členem Americké fyzikální společnosti, Americké optické společnosti a Institutu elektrotechnických a elektronických inženýrů. Získal také cenu IEEE LEOS Distinguished Lecturer Award.

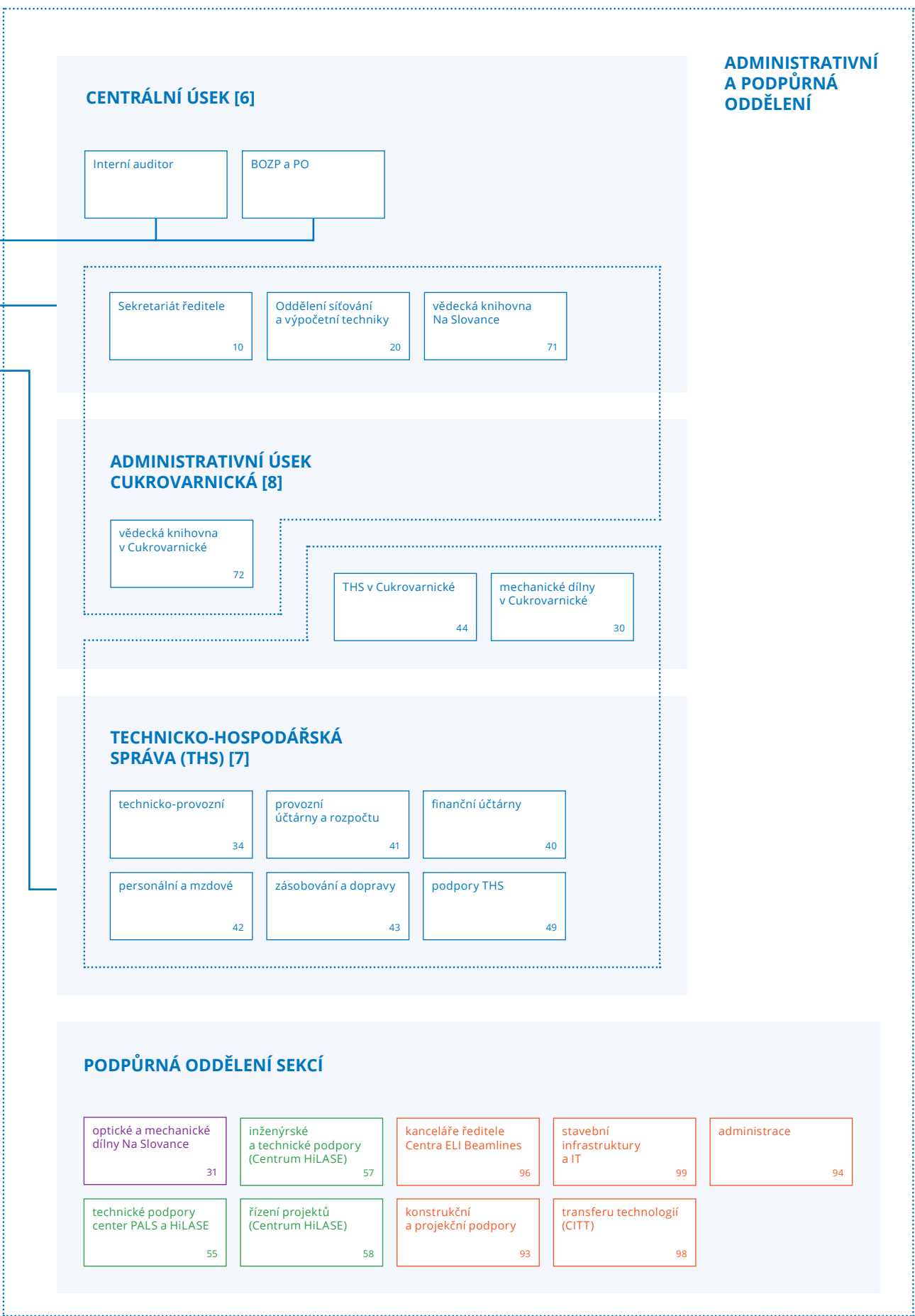
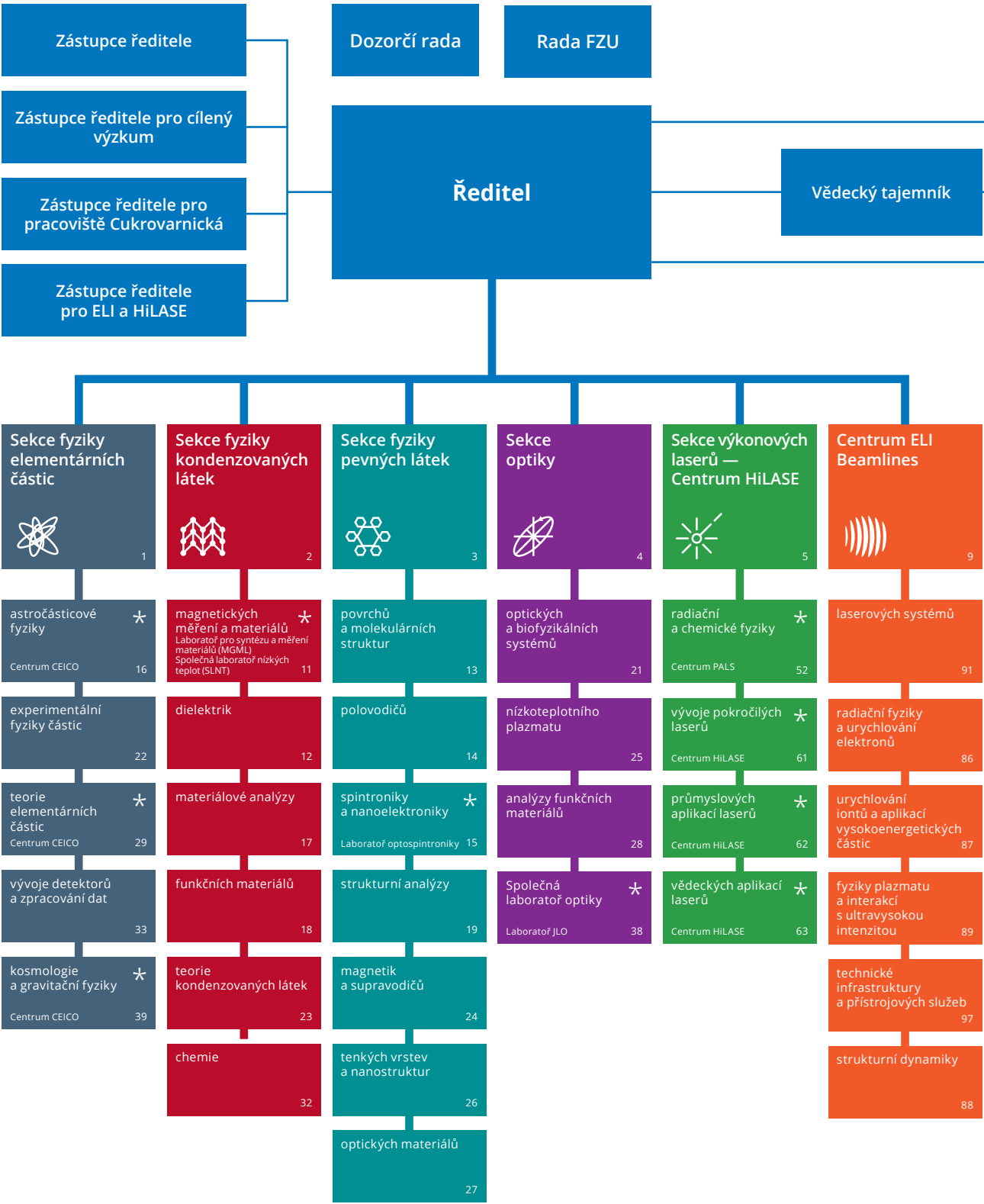




1.

Přehled vybraných ukazatelů FZU v roce 2022

1.1 Struktura ústavu



VÝZKUMNÁ ODDĚLENÍ

* Centra a laboratoře jsou uvedeny v rámci jednotlivých oddělení.

1.2 Stručně o FZU

16

Fyzikální ústav AV ČR (FZU) je veřejná výzkumná instituce zaměřená 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. FZU je největším pracovištěm Akademie věd České republiky s více než 1400 zaměstnanci.

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 FZU 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 je výzkum zaměřen na studium krystalických a amorfních látek, nanomateriálů, slitin, polovodičových, magnetických, spintronických, multiferoických, piezoelektrických materiálů, kapalných krystalů, moderních kovových materiálů, funkčních technických materiálů, jako jsou slitiny s tvarovou pamětí, polymerů, tenkých vrstev a nanostruktur. Cílem je získat hlubší pochopení souvislosti mezi jejich strukturou, složením, morfologií, technologií přípravy a vlastnostmi materiálů a hledání způsobů, jak připravit materiály a systémy žádaných vlastností.

V oblasti elementárních částic se získávají nové poznatky o vlastnostech, struktuře a interakcích hmoty na fundamentální úrovni a o jednotné teorii základních sil v přírodě. V rámci mezinárodních spoluprací Fyzikálního ústavu se na urychlovači LHC v CERN provádějí experimenty se srážkami hadronů a těžkých jader. Analyzují se rovněž data z experimentů v laboratoři FERMILAB v USA. V astročásticové fyzice je činnost soustředěna v rámci mezinárodních projektů Observatoře Pierra Augera, Cherenkov Telescope Array, Vera C. Rubin Observatoře a plánovaných zařízení Laser Interferometer Space Antenna a Southern Wide-field

Gamma-ray Observatory. Nedílnou součástí výzkumu je i kosmologie, gravitační fyzika a teorie strun.

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. 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 oblasti nízkoteplotního plazmatu je výzkum zaměřen na studium nových nízkoteplotních plazmatických zdrojů určených pro depozice různých typů tenkých vrstev a vícevrstevných struktur. Jedná se zejména o optické a polovodičové tenké vrstvy, které mají využití v aktivních optických bezpečnostních prvcích, optických senzorech a v systémech určených pro fotoelektrochemické a katalytické aplikace.

V oboru kvantové optiky jsou vyvíjeny zařízení pro přenos a zpracování informace uložené v kvantových stavech fotonů, které využívají kvantových korelací a umožňují tak realizaci procesů v klasické fyzice nedosažitelných. V klasické optice se vyvíjejí nové laserové prvky a zobrazovací systémy, včetně oblasti rentgenové optiky a spektrometrie. Pozornost je věnována i biofyzikálním systémům.

Výzkumná činnost a provoz FZU byly v roce 2022 finančně zajišťovány projekty podporovanými domácími poskytovateli (GAČR – 82, MŠMT – 22, TA ČR – 17, MV ČR – 2) a 26 evropskými projekty financovanými ze zahraničí. Více informací o projektech řešených ve FZU v roce 2022 je uvedeno v kapitole 1.7.

Část aktivit FZU 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 2022 FZU uzavřelo s ex-

Autor návrhu stavby: Bogie Architects



terními subjekty 123 obchodních smluv, popř. objednávek v celkovém objemu 11,17 mil. Kč bez DPH.

Fyzikální ústav je koordinátorem evropského projektu ELI Beamlines – projektu vybudování moderního laserového zařízení zaměřeného na uživatelský výzkum. V něm došlo k zahájení realizace výzkumných a aplikačních projektů zahrnující interakci hmoty se světlem o intenzitě, která je mnohokrát větší než současně dosažitelné hodnoty. Z organizačního hlediska byla hlavní činností v zařízení ELI Beamlines v průběhu roku 2022 příprava na přechod z Fyzikálního ústavu a začlenění do nově vzniklé organizace ELI ERIC vytvořené Evropskou komisí, aby umožňovala provoz výzkumných infrastruktur celoevropského zájmu. Tento proces byl schválen všemi zúčastněnými stranami a představuje bezprecedentní úsilí ve vnitrostátním i evropském kontextu, které zintenzivnilo interakci mezi zúčastněnými stranami a vyjasnilo jejich role v budoucí podpoře ELI. Tento přechod byl hladce a úspěšně realizován na přelomu let 2022/2023.

Centrum HiLASE rozvíjí spolupráci s českými a zahraničními firmami prostřednictvím společných projektů a zakázek smluvního výzkumu, aktivně se podílí na činnosti Českého optického klastru, poskytuje přístup na unikátní laserová zařízení externím uživatelům v režimu Open Access, a úspěšně pokračuje v realizaci významného projektu HiLASE Centre of Ex-

cellence programu Horizon 2020 jakož i řady dalších aplikačních projektů.

NCK MATCA realizovala úspěšně spolupráci s průmyslovými podniky v aplikovaném výzkumu v oblasti aditivní výroby, vývoje materiálů pro aditivní výrobu, plazmatických a laserových technologiích. Na tyto úspěchy navazuje nově Inovační centrum Brain 4 Industry, který portfolio doplňuje o digitalizaci, optimalizace, senzoriku a 3D tisk a zaměřuje své služby a aplikace primárně na české malé a střední podniky.

17



1.3 Nejvýznamnější výsledky vědecké činnosti FZU za rok 2022



Sekce fyziky elementárních částic

18

1. I. D. Saltas, J. Christensen-Dalsgaard, Searching for dark energy with the Sun, *Astronomy & Astrophysics* 667 (2022) A115.
<https://doi.org/10.1051/0004-6361/202244176>
2. A. Abdul Halim et al. (The Pierre Auger Collaboration, z FZU: A. Bakalová, J. Blažek, M. Boháčová, J. Chudoba, J. Ebr, P. Hamal, P. Janeček, J. Juryšek, D. Mandát, A. L. Müller, M. Palatka, M. Pech, M. Prouza, J. Řídký, E. Santos, P. Schovánek, M. Stadelmaier, P. Tobiška, P. Trávníček, J. Vícha, A. Yushkov), A Catalog of the Highest-energy Cosmic Rays Recorded during Phase I of Operation of the Pierre Auger Observatory, *Astrophysical Journal Supplement Series* 264 (2022) 2, 50.
<https://doi.org/10.48550/arXiv.2211.16020>
3. P. Abreu et al. (The Pierre Auger Collaboration, z FZU: A. Bakalová, J. Blažek, M. Boháčová, J. Chudoba, J. Ebr, P. Hamal, P. Janeček, J. Juryšek, D. Mandát, A. L. Müller, M. Palatka, M. Pech, M. Prouza, J. Řídký, E. M. Martins dos Santos, P. Schovánek, P. Tobiška, P. Trávníček, J. Vícha, A. Yushkov, F. Urban), Search for Spatial Correlations of Neutrinos with Ultra-high-energy Cosmic Rays, *Astrophysical Journal* 934 (2022) 164.
<https://doi.org/10.3847/1538-4357/ac6def>



Sekce fyziky kondenzovaných látek

1. V. Pushkarev, H. Němec, V. C. Paingad, J. Maňák, V. Jurka, V. Novák, T. Ostatnický, P. Kužel, Charge transport in single-crystalline GaAs nanobars: impact of band bending revealed by terahertz spectroscopy, *Advanced Functional Materials* 32 (2022) 2107403.
<https://doi.org/10.1002/adfm.202107403>
2. X. Bian, L. Heller, L. Kadeřávek, P. Šittner, In-situ synchrotron X-ray diffraction texture analysis of tensile deformation of nanocrystalline NiTi wire in martensite state, *Applied Materials Today* 26 (2022) 101378.
<https://doi.org/10.1016/j.apmt.2022.101378>
3. Y. Li, E. Zatterin, M. Conroy, A. Pylypets, F. Borodavka, A. Björling, D. J. Groenendijk, E. Lesne, A. J. Clancy, M. Hadjimichael, D. Kepaptsoglou, Q. M. Ramasse, A. D. Caviglia, J. Hlinka, U. Bangert, S. J. Leake, P. Zubko, Electrostatically driven polarization flop and strain-induced curvature in free-standing ferroelectric superlattices, *Advanced Materials* 34 (2022) 2106826.
<https://doi.org/10.1002/adma.202106826>
4. J. Doležal, S. Canola, P. Hapala, R. C. de Campos Ferreira, P. Merino, M. Švec, Evidence of exciton-libron coupling in chirally adsorbed single molecules, *Nature Communications* 13 (2022) 6008.
<https://doi.org/10.1038/s41467-022-33653-7>



Sekce fyziky pevných látek

1. L. Šmejkal, A. H. MacDonald, J. Sinova, S. Nakatsuji, T. Jungwirth, Anomalous Hall antiferromagnets, *Nature Reviews Materials* 7 (2022) 482–496.
<https://doi.org/10.1038/s41578-022-00430-3>
2. J. W. Park, E. Do, J. S. Shin, S. K. Song, O. Stetsovych, P. Jelinek, H. W. Yeom, Creation and annihilation of mobile fractional solitons in atomic chains, *Nature Nanotechnology* 17 (2022) 244–249.
<https://doi.org/10.1038/s41565-021-01042-8>
3. Z. Feng, X. Zhou, L. Šmejkal et al, An anomalous Hall effect in altermagnetic ruthenium dioxide, *Nature Electronics* 5 (2022) 735–743.
<https://www.nature.com/articles/s41928-022-00866-z>
4. Z. A. Zafar, G. Abbas, K. Knížek, M. Šilhavík, P. Kumar, P. Jiříček, J. Houdková, O. Frank, J. Červenka, Chaotropic anion based „water-in-salt“ electrolyte realizes a high voltage Zn–graphite dual-ion battery, *Journal of Materials Chemistry A* 10 (2022) 2064–2074.
<https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2022/TA/D1TA10122F>
5. Q. Wang, Q. Zhou, M. Nikl, J. Xiao, R. Kucerkova, A. Beitlerova, V. Babin, P. Prusa, V. Linhart, J. Wang, X. Wen, G. Niu, J. Tang, Guohao Ren, Y. Wu, Adv. Highly Resolved X-Ray Imaging Enabled by In(I) Doped Perovskite-Like Cs3Cu2I5 Single Crystal Scintillator, *Advanced Optical Materials* 10 (2022) 2200304.
<https://doi.org/10.1002/adom.202200304>



Sekce optiky

1. F. Diehl, S. Hageneder, S. Fossati, S. K. Auer, J. Dostalek, U. Jonas, Plasmonic nanomaterials with responsive polymer hydrogels for sensing and actuation. *Chemical Society Reviews* (2022) 10.
<https://doi.org/10.1039/D1CS01083B>
2. V. Neubertova, O. Guselnikova, Y. Yamauchi, A. Olshtrem, S. Rimpelova, E. Čižmár, M. Orendáč, J. Duchoň, L. Volfova, J. Lančok, V. Herynek, P. Fitl, P. Ulbrich, L. Jelinek, P. Schneider, J. Kosek, P. Postnikov, Z. Kolska, V. Svorcik, S. Chertopalov, O. Lyutakov, Covalent functionalization of Ti3C2T MXene flakes with Gd-DTPA complex for stable and biocompatible MRI contrast agent, *Chemical Engineering Journal* 446 (2022) 136939.
<https://doi.org/10.1016/j.cej.2022.136939>
3. A. Frtús, B. Smolková, M. Uzhytchak, M. Lunova, M. Jirsa, S. J. Henry, A. Dejneka, N. Stephanopoulos, O. Lunov, The interactions between DNA nanostructures and cells: A critical overview from a cell biology perspective. *Acta Biomaterialia* (2022) 146, 10–22.
<https://doi.org/10.1016/j.actbio.2022.04.046>

19





1.4 Ocenění a úspěchy zaměstnanců

20



Sekce výkonových laserů – Centrum HiLASE

1. O. Slezák, M. Sawicka-Chyla, M. Divoký, J. Pilař, M. Smrž, T. Mocek, Thermal-stress-induced birefringence management of complex laser systems by means of polarimetry, *Scientific Reports* (2022) 12, 18334.
<https://doi.org/10.1038/s41598-022-22698-9>
2. P. Suthar, F. Trojánek, P. Malý, T. J.-Y. Derrien, M. Kozák, Role of Van Hove singularities and effective mass anisotropy in polarization-resolved high harmonic spectroscopy of silicon, *Communications Physics* (2022) 5, 288.
<https://doi.org/10.1038/s42005-022-01075-y>
3. J. Sládek, Y. Levy, T.J.-Y. Derrien, Z. Bryknar, N.M. Bulgakova, Silicon surface patterning by regular stripes of laser-induced periodic surface structures, *Applied Surface Science* 605 (2022) 154664.
<https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2022.154664>



Sekce realizace projektu ELI Beamlines

1. P. Qian, A. T. Gardiner, I. Šimová, K. Naydenova, T. I. Croll, P. J. Jackson, Nupur, M. Kloz, P. Čubáková, M. Kuzma, Y. Zeng, P. Castro-Hartmann, B. van Knippenberg, K. N. Goldie, D. Kaftan, P. Hrouze, J. Hájek, J. Agirre, C. A. Siebert, D. Bína, K. Sader, H. Stahlberg, R. Sobotka, Ch. J. Russo, T. Polívka, C. N. Hunter, M. Koblížek, 2.4-Å structure of the double-ring Gemmatimonas phototrophica photosystem, *Science Advances* (2022) 8, 7.
<https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.abk3139>
2. D. Kolenatý, P. Hadjisolomou, R. Versaci, T. M. Jeong, P. Valenta, V. Olšovcová, S. V. Bulanov, Electron-positron pairs and radioactive nuclei production by irradiation of high-Z target with γ -photon flash generated by an ultra-intense laser in the λ_3 regime, *Physical Review Research* 4 (2022) 023124.
<https://doi.org/10.1103/PhysRevResearch.4.023124>
3. F. Schillaci, L. Giuffrida, M. Tryus, F. Grepl, S. Stancek, A. Velyhan, V. Istokskaia, T. Levato, G. Petringa, G. A. P. Cirrone, J. Cupal, L. Koubiková, D. Peceli, J. A. Jarboe, T. de Castro Silva, M. Cuhra, T. Chagovets, V. Kantarelou, M. Tosca, V. Ivanyan, M. Greplová, Žáková, J. Psikal, R. Trunecek, A. Cimmino, R. Versaci, V. Olšovcová, D. Kramer, P. Bakule, J. Ridky, G. Korn, B. Rus, D. Margarone. The ELIMAIA Laser-Plasma Ion Accelerator: Technological Commissioning and Perspectives. *Quantum Beam Science* 6 (30) (2022) 1–23.
<https://doi.org/10.3390/qubs6040030>

- **Ing. Alexandr Dejneka, Ph.D.**
Cena
Cena Technologické agentury ČR – vítěz v kategorii Partnerství
Oceněná činnost
Národní centrum kompetence pro materiály, pokročilé technologie, povlakování a jejich aplikace
Ocenění udělila
Technologická agentura ČR
- **Thibault Derrien, Ph.D.**
Cena
Support for ERC applicants – reward of the AS CR
Oceněná činnost
Applicant obtained mark B at ERC consolidator application
Ocenění udělila
Akademie věd ČR
- **Mgr. Jiří Doležal**
Cena
3. místo v soutěži o Cenu Milana Odehnala za rok 2022
Oceněná činnost
Experimentální výzkum optických vlastností molekul
Ocenění udělila
Česká fyzikální společnost JČMF
- **Ing. Drahomír Dvorský, Ph.D.**
Cena
Prémie Otto Wichterleho
Oceněná činnost
Ocenění je určeno perspektivním vědcům a vědkyním, kteří dosahují špičkových výsledků ve svých oborech
Ocenění udělila
Akademie věd ČR

- **Mgr. Evgenia Chitrova, Ph.D.**
Cena
L’Oréal-UNESCO pro ženy ve vědě
Ocenění udělil
L’Oréal-UNESCO
- **prof. Jiří Chýla, CSc.**
Cena
Medaile Ernsta Macha za dlouholeté zásluhy o rozvoj oboru v oblasti fyzikálních věd
Ocenění udělila
Předsedkyně Akademie věd ČR prof. RNDr. Eva Zažímalová, CSc.
- **Ing. David John**
Cena
Čestné uznání v soutěži nejlepších diplomových prací se zaměřením na materiálové vědy
Oceněná činnost
Diplomová práce Modelování cyklu izotopů uhlíku v přírodě
Ocenění udělil
CRYTUR, spol. s r. o.
- *Cena*
1. místo v soutěži ČSOZ pro mladé pracovníky do 35 let o nejlepší práci v oboru radiační ochrany
Oceněná činnost
Nejlepší publikace v oboru radiační ochrany od pracovníka do 35 let
Ocenění udělila
Česká společnost pro ochranu před zářením

21



- **Ing. Michal Kočí**
Cena
Certificate of Achievement in the Best Poster Competition
Oceněná činnost
Ocenění posteru v soutěži o nejlepší poster v rámci konference POSTER 2022
prof. Petr Páta (Chair of the Program Committee of POSTER 2022)
- **RNDr. Jaromír Kopeček, Ph.D.**
Cena
Čestné uznání Akademické rady AV ČR
Oceněná činnost
Fotografie „Vpich v modré“ v soutěži Věda fotogenická
Akademická rada Akademie věd ČR
- **RNDr. Lenka Kubíčková, Ph.D.**
Cena
Cena ministra školství, mládeže a tělovýchovy pro vynikající studenty a absolventy studia ve studijním programu a za mimořádné činy studentů za rok 2022
Oceněná činnost
Mimořádné výsledky ve studiu nebo ve vědecké, výzkumné, vývojové a inovační činnosti související s doktorandským studiem v daném studijním programu
Ocenění udělil
Ministr školství, mládeže a tělovýchovy
- **Ing. Monika Kučeráková, Ph.D.**
Cena
Prémie Otto Wichterleho
Oceněná činnost
Ocenění je určeno perspektivním vědcům a vědkyním, kteří dosahují špičkových výsledků ve svých oborech
Ocenění udělila
Akademie věd ČR
- **Dr. Lenngren Nils**
Cena
Best poster presentation award
Oceněná činnost
Poster “2D Electronic Spectroscopy of CdSe Quantum Dots Pinpointing Excitonic States, Their Size Dependence and Dynamics”
Ocenění udělil
11th International Meeting on Atomic and Molecular Physics and Chemistry
- **André Filipe Alves Maia, MSc.**
Cena
Young Researcher Poster and talk Competition of the XXIV Czech-Polish seminar
Oceněná činnost
two-minute talk and a poster presentation
Ocenění udělil
Commission of XXIV Czech-Polish seminar

- **Bc. Martin Mašek**
Cena
Kvízova cena
Oceněná činnost
Za přínos v oboru pozorování proměnných hvězd, meziplanetární hmoty a měření světelného znečištění
Ocenění udělila
Česká astronomická společnost
- **Ing. Tomáš Neuman, Ph.D.**
Cena
Lumina quaeruntur
Ocenění udělila
Akademie věd ČR
- **prof. RNDr. Ivan Pelant, DrSc.**
Cena
Medaile Ernsta Macha za dlouholeté zásluhy o rozvoj oboru v oblasti fyzikálních věd
Ocenění udělila
Předsedkyně Akademie věd ČR prof. RNDr. Eva Zažímalová, CSc.
- **Vladimir Pushkarev, MSc.**
Cena
Young Researcher Poster and talk Competition of the XXIV Czech-Polish seminar
Oceněná činnost
two-minute talk and a poster presentation
Ocenění udělil
Commission of XXIV Czech-Polish seminar
- **Mgr. Helena Reichlová, Ph.D.**
Cena
Prémie Otto Wichterleho
Oceněná činnost
Ocenění je určeno perspektivním vědcům a vědkyním, kteří dosahují špičkových výsledků ve svých oborech
Ocenění udělila
Akademie věd ČR

- **Ing. Dalibor Repčák**
Cena
Young Researcher Poster and talk Competition of the XXIV Czech-Polish seminar
Oceněná činnost
two-minute talk and a poster presentation
Ocenění udělil
Commission of XXIV Czech-Polish seminar

Cena
Vítěz Student Poster Competition at the International Symposium on Applications of Ferroelectrics (ISAF)
Oceněná činnost
Ocenění excelentní poster presentation na téma: Multiferroic Quantum Criticality in (Eu,Ba,Sr) TiO₃ Systém
Ocenění udělil
International Symposium on Applications of Ferroelectrics (ISAF)

- **Ippokratis Saltas, Ph.D.**
Cena
The Nature Research Highlight 2022 paper
Oceněná činnost
časopis Nature zařadil výzkum Dr. Saltase mezi nejdůležitější vědecké výsledky roku 2022 – možné projevy páte síly v nitru naší nejbližší hvězdy, Slunce
Ocenění udělil
časopis The Nature
- **Ing. Ondrej Szabó, Ph.D.**
Cena
Soutěž o nejlepší poster – čestné uznání
Oceněná činnost
Soutěž o nejlepší poster v rámci mezinárodní konference Nanocon
Ocenění udělil
TANGER Ltd., CATRIN – RCPTM, ČSNMT
- **RNDr. Petr Šittner, CSc.**
Cena
Shape Memory Best Paper Awards
Oceněná činnost
Článek kolektivu autorů Šittner získal Best paper award
Ocenění udělil
Springer – ASM International SMST journal
- **RNDr. Mgr. Petr Šmíd, Ph.D.**
Cena
Cena děkana Přírodovědecké fakulty UP autorům prestižních vědeckých publikací 2022
Oceněná činnost
Odborný článek: Šmíd Petr, Pavlíček Pavel, Kmec Jakub. Detection of decorative phase defects on a polymeric non-planar object. POLYMER TESTING Volume 109, Article Number 107558
Ocenění udělil
Děkan Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci
- **Ing. Karel Tesař, Ph.D.**
Cena
Cena Stanislava Hanzla
Oceněná činnost
Studium, účast v SGS
Ocenění udělil
Nadační fond ČVUT Stanislava Hanzla

- **Mgr. Jan Tomáščík, Ph.D.**
Cena
6. místo v ceně internetových médií, kategorie „zájmové weby“
Oceněná činnost
Projekt Vědátor, webová stránka spinoff stránky na sociálních sítích zaměřené na popularizaci vědy. Organizován Ladislavem Loukotou a Janem Tomáščíkem
Ocenění udělil
Server Lupa.cz
- **Ing. Vojtěch Vaněček, Ph.D.**
Cena
1. místo v soutěži o Cenu Milana Odehnala za rok 2022
Oceněná činnost
Soubor vědeckých prací
Ocenění udělila
Česká fyzikální společnost JČMF
- **Ing. Petr Veřtát, Ph.D.**
Cena
Diplom za 1. místo v sekci Fyzika a materiály na studentské přehlídce příspěvků na kolokviu Struktura 2022 a diplom za obecně nejlepší prezentaci z celé studentské přehlídky
Ocenění udělila
Krystalografická společnost
- **Mgr. Jana Žďárská**
Cena
Cena Littera Astronomica za rok 2022
Ocenění udělila
Česká astronomická společnost

1.5 Významné vědecké akce s mezinárodní účastí

Přednáška „Nanoplasmonic sensing of natural products, COVID-19 and neurochemistry“ Jean-François Massona (13. 01. 2022)
POŘADATEL: FZU
POČET ÚČASTNÍKŮ: 20 Z TOHO ZAHRANIČNÍCH: 1

The 44th Ad Hoc Workshop on Magnetic Structures (25. 04. 2022)
POŘADATEL: FZU
POČET ÚČASTNÍKŮ: 47 Z TOHO ZAHRANIČNÍCH: 44

Laser Induced Damage Threshold Challenge (27. 04. 2022)
POŘADATEL: FZU, CENTRUM HILASE
POČET ÚČASTNÍKŮ: 40 Z TOHO ZAHRANIČNÍCH: 20

Kurz FLUKA pro začátečníky (16. 05. 2022)
POŘADATEL: CERN
POČET ÚČASTNÍKŮ: 35 Z TOHO ZAHRANIČNÍCH: 33

XXIV Czech-Polish seminar Structural and Ferroelectric Phase Transitions (23. 05. 2022)
POŘADATEL: JEDNOTA ČESKÝCH MATEMATIKŮ A FYZIKŮ
POČET ÚČASTNÍKŮ: 95 Z TOHO ZAHRANIČNÍCH: 47

5th International School on Aperiodic Crystals (23. 05. 2022)
POŘADATEL: FZU
POČET ÚČASTNÍKŮ: 54 Z TOHO ZAHRANIČNÍCH: 50

Visegrad Project Closure Meeting (30. 05. 2022)
POŘADATEL: ELI BEAMLINES

SST-1M Ondřejov meeting (06. 06. 2022)
POŘADATEL: SPOLEČNÁ LABORATOŘ OPTIKY UP A FZU
POČET ÚČASTNÍKŮ: 30 Z TOHO ZAHRANIČNÍCH: 13

HPLS&A 2022: Mezinárodní Symposium o Vysokovýkonných Laserových Systémech a Aplikacích (13. 06. 2022)
POŘADATEL: C-IN
POČET ÚČASTNÍKŮ: 115 Z TOHO ZAHRANIČNÍCH: 60

Hranice kvantové a mezoskopické termodynamiky 2022 (31. 07. 2022)
POŘADATEL: FZU
POČET ÚČASTNÍKŮ: 185 Z TOHO ZAHRANIČNÍCH: 174

FAST Summer Workshop (01. 08. 2022)
POŘADATEL: SPOLEČNÁ LABORATOŘ OPTIKY UP A FZU
POČET ÚČASTNÍKŮ: 15 Z TOHO ZAHRANIČNÍCH: 2

Amplitudy 2022 (08. 08. 2022)
POŘADATEL: UNIVERZITA KARLOVA, CEICO, FZU
POČET ÚČASTNÍKŮ: 222 Z TOHO ZAHRANIČNÍCH: 208

2nd International Workshop on Proton-Boron Fusion (05. 09. 2022)
POŘADATEL: INFN/LNS
POČET ÚČASTNÍKŮ: 60 Z TOHO ZAHRANIČNÍCH: 40

FAST Online Meeting (13. 09. 2022)
POŘADATEL: SPOLEČNÁ LABORATOŘ OPTIKY UP A FZU
POČET ÚČASTNÍKŮ: 12 Z TOHO ZAHRANIČNÍCH: 3

31st Texas Symposium on Relativistic Astrophysics (16. 09. 2022)
POČET ÚČASTNÍKŮ: 300 Z TOHO ZAHRANIČNÍCH: 250

Gravity @ Prague 2022 (19. 09. 2022)
POŘADATEL: CEICO, FZU
POČET ÚČASTNÍKŮ: 120 Z TOHO ZAHRANIČNÍCH: 90

Seminář SAFMAT- chemické senzory (20. 09. 2022)
POŘADATEL: FZU
POČET ÚČASTNÍKŮ: 20 Z TOHO ZAHRANIČNÍCH: 2

Pražská schůze FSUA MCU pro misi LISA (22. 09. 2022)
POŘADATEL: FZU
POČET ÚČASTNÍKŮ: 15 Z TOHO ZAHRANIČNÍCH: 5

Light-Matter Interaction at Nanoscale (05. 10. 2022)
POŘADATEL: FZU
POČET ÚČASTNÍKŮ: 48

Teorie strunových polí 2022 – týdenní konference (12. 09. 2022)
POŘADATEL: CEICO, FZU
POČET ÚČASTNÍKŮ: 59 Z TOHO ZAHRANIČNÍCH: 20

Workshop – představení spolupráce FZU a Italian National Research Council (16. 09. 2022)
POŘADATEL: FZU, SEKCE OPTIKY
POČET ÚČASTNÍKŮ: 10 Z TOHO ZAHRANIČNÍCH: 3

Workshop – představení spolupráce mezi FZU a National Chung Hsing University (07. 10. 2022)
POŘADATEL: FZU, SEKCE OPTIKY
POČET ÚČASTNÍKŮ: 12 Z TOHO ZAHRANIČNÍCH: 1

Setkání a přednáška „Polymer Topology Control and Tough Double Network Hydrogels Preparations toward Applications of Nanocarriers and Sensors“ Prof. Chih-Feng Huang (07. 10. 2022)
POŘADATEL: FZU
POČET ÚČASTNÍKŮ: 20 Z TOHO ZAHRANIČNÍCH: 1

Den částicových a astročásticových výzkumných infrastruktur (17. 10. 2022)
POŘADATEL: FZU
POČET ÚČASTNÍKŮ: 71 Z TOHO ZAHRANIČNÍCH: 8

ELI User Workshop (02. 11. 2022)
POŘADATEL: ELI BEAMLINES
POČET ÚČASTNÍKŮ: 100 Z TOHO ZAHRANIČNÍCH: 70

Věda s koherentními XUV zdroji, Satellite meeting to the ELI User Meeting (02. 11. 2022)
POŘADATEL: ELI BEAMLINES

Science with laser driven X-ray sources, satellite meeting to the ELI User Meeting (04. 11. 2022)
POŘADATEL: ELI BEAMLINES

Ultrafast optical spectroscopy, Satellite meeting to the ELI User Meeting (07. 11. 2022)
POŘADATEL: ELI BEAMLINES

SST-1M Prague Meeting (05. 12. 2022)
POŘADATEL: FZU
POČET ÚČASTNÍKŮ: 28 Z TOHO ZAHRANIČNÍCH: 10

2022 Winter CAS-JSPS Workshop in Cosmology, Gravitation and Particle Physics (16. 12. 2022)
POŘADATEL: CEICO
ÚČASTNÍKŮ: 25 Z TOHO ZAHRANIČNÍCH: 10

Setkání s CNR-IFAC
POŘADATEL: FZU
POČET ÚČASTNÍKŮ: 20 Z TOHO ZAHRANIČNÍCH: 2

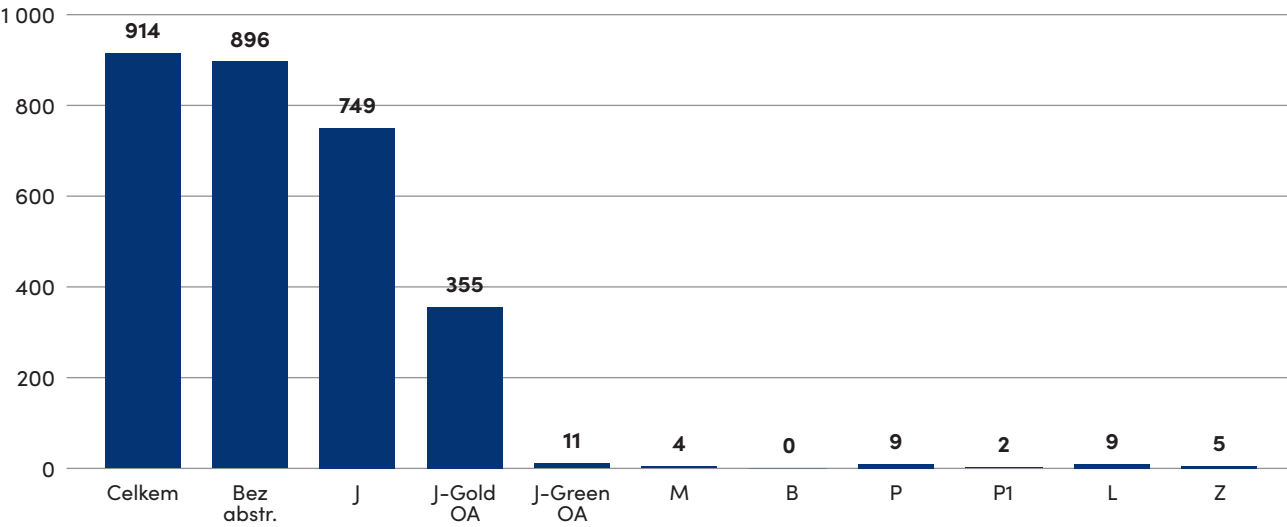


1.6 Publikační činnost

1.7 Projekty

Publikační činnost FZU v roce 2022

	celkem
všechny vědecké výsledky*	914
všechny vědecké výsledky bez abstraktů	896
článek v odborném periodiku (J)	749
článek v odborném periodiku (J) – Gold Open Access	355
článek v odborném periodiku (J) – Green Open Access (tzn. počet do ASEP vložených autorských postprintů, které budou zpřístupněny po uplynutí embarga)	11
kapitoly v knihách (M)	4
knihy, monografie (B)	0
patenty (P)	9
užité a průmyslové vzory (P1)	2
prototyp a funkční vzorek (L)	9
poloprovoz, ověřená technologie (Z)	5



*J: článek v odborném periodiku, C: konferenční příspěvek, A: abstrakt, L: prototyp, funkční vzorek, M: část monografie knihy, P: patentový dokument, P1: užitný vzor, průmyslový vzor, Z: poloprovoz, ověřená technologie, odrůda/plemeno, B: monografie kniha jako celek, U: uspořádání akce, G: konferenční sborník

Řešené projekty FZU v roce 2022

Poskytovatel	Celkový počet projektů	Poskytnuto mil. Kč
GAČR	82	191,00
MŠMT	22	29,00
Projekty OP VVV	16	514,93
MVČR	2	1,80
TAČR	17	50,00
EU projekty	26	84,44
Komerční zakázky	123	11,17
Celkem	288	882,34

1.8 Základní personální údaje

Počet zaměstnanců – stav k 31. 12. 2022

výzkumní pracovníci	570
studenti doktorského studia	158
odborní pracovníci výzkumu a vývoje	132
ostatní odborní pracovníci	428
dělníci	81
administrativní pracovníci	88
počet zaměstnanců celkem	1457

1. Členění zaměstnanců podle věku a pohlaví – stav k 31. 12. 2022 (fyzické osoby)

věk	muži	ženy	celkem	%
0–20	1	1	2	0,1 %
21–30	161	76	237	16,3 %
31–40	315	130	445	30,6 %
41–50	211	136	347	23,8 %
51–60	118	75	193	13,3 %
61–70	91	35	126	8,6 %
víc než 70	94	13	107	7,3 %
Celkem	991	466	1457	
%	68%	32%		

2. Celkový údaj o vzniku a skončení pracovních a služebních poměrů zaměstnanců v roce 2022

	výzkumní pracovníci	studenti a doktorandi	odborní prac. VaV	dělníci	administrativa	celkem
nástupy	55	40	75	15	6	191
odchody*	138	45	243	25	20	471

3. Trvání pracovního a služebního poměru zaměstnance – stav k 31. 12. 2022

doba trvání	muži	ženy	celkem	procent (celkem)
0–5 let	426	253	679	46,60 %
6–10 let	222	84	306	21,00 %
11–15 let	116	54	170	11,67 %
16–20 let	57	21	78	5,35 %
21–25 let	46	21	67	4,60 %
26–30 let	34	11	45	3,09 %
nad 30 let	90	22	112	7,69 %
Celkem	991	466	1457	100,00 %

4a. Systemizace výzkumných pracovníků – stav k 31. 12. 2022

Na dobu určitou

sektory / pracovníci	postdoktorand			vědecký asistent			vědecký pracovník			vedoucí vědecký pracovník			Celkem
	Celkem	Muži	Ženy	Celkem	Muži	Ženy	Celkem	Muži	Ženy	Celkem	Muži	Ženy	
Sekce fyziky elementárních částic	23	22	1	3	3	0	24	23	1	13	13	0	63
Sekce fyziky kondenzovaných látek	29	18	11	7	5	2	33	23	10	9	9	0	78
Sekce fyziky pevných látek	41	22	19	13	7	6	39	30	9	21	21	0	114
Sekce optiky	11	5	6	20	15	5	22	17	5	13	9	4	66
Sekce výkonových laserů	24	20	4	9	7	2	20	17	3	4	3	1	57
Centrální úsek	0	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	0
Administrativní úsek Cukrovarnická	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sekce realizace projektu ELI a Beamlines	26	21	5	13	11	2	28	25	3	21	18	3	88
Celkem	154	108	46	65	48	17	166	135	31	81	73	8	466

4a. Systemizace výzkumných pracovníků – stav k 31. 12. 2022

Na dobu neurčitou

sekce / pracovníci	postdoktorand			vědecký asistent			vědecký pracovník			vedoucí vědecký pracovník			Celkem
	Celkem	Muži	Ženy	Celkem	Muži	Ženy	Celkem	Muži	Ženy	Celkem	Muži	Ženy	
Sekce fyziky elementárních částic	0	0	0	0	0	0	2	1	1	10	8	2	12
Sekce fyziky kondenzovaných látek	0	0	0	1	1	0	11	9	2	22	20	2	34
Sekce fyziky pevných látek	0	0	0	2	2	0	7	6	1	24	22	2	33
Sekce optiky	0	0	0	1	1	0	4	4	0	8	8	0	13
Sekce výkonových laserů	0	0	0	0	0	0	4	3	1	5	4	1	9
Centrální úsek	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1
Technicko-hospodářská správa	0	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	0
Sekce realizace projektu ELI a Beamlines	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	2
Celkem	0	0	0	4	4	0	28	23	5	72	65	7	104

Na dobu určitou a neurčitou celkem

sekce / pracovníci	postdoktorand			vědecký asistent			vědecký pracovník			vedoucí vědecký pracovník			Celkem
	Celkem	Muži	Ženy	Celkem	Muži	Ženy	Celkem	Muži	Ženy	Celkem	Muži	Ženy	
Celkem	154	108	46	69	52	17	194	158	36	153	138	15	570

4b Systemizace ostatních vysokoškolsky vzdělaných pracovníků – stav k 31. 12. 2022

kategorie	třída	počet celkem	muži	ženy
odborný pracovník výzkumu a vývoje	201	132	96	36
doktorand	202	158	119	39
Celkem	x	290	215	75

4c. Systemizace ostatních pracovníků – stav k 31. 12. 2022

kategorie	třída	počet celkem	muži	ženy
odborný pracovník s VŠ	300	245	131	114
odborný pracovník s SŠ, VOŠ	400	134	89	45
odborný pracovník výzkumu a vývoje s SŠ, VOŠ	500	49	35	14
THP pracovník	700	88	16	72
dělník	800	63	41	22
provozní pracovník	900	18	8	10
Celkem	x	597	320	277

5. Průměrná měsíční mzda za rok 2022

a) institucionální mzdové prostředky / přepočtený stav zaměstnanců pracoviště / 12 v Kč		
Průměrný přepočtený stav zaměstnanců		498,64
Průměrná měsíční mzda		53 879
b) Institucionální + grantové mzdové prostředky bez OON / přepočtený stav zaměstnanců pracoviště / 12 v Kč		
Průměrný přepočtený stav zaměstnanců		1 200,68
Průměrná měsíční mzda		57 102
c) průměrná měsíční mzda (i z grantů) v jednotlivých tarifních třídách		
	třída	mzda
odborný pracovník výzkumu a vývoje	201	53 109
doktorand	202	38 023
postdoktorand	103	59 096
vědecký asistent	104	54 436
vědecký pracovník	105	66 156
vedoucí vědecký pracovník	106	95 852
odborný pracovník s VŠ	300	58 874
odborný pracovník s SŠ, VOŠ	400	49 131
odborný pracovník výzkumu a vývoje s SŠ, VOŠ	500	38 888
THP pracovník	700	53 122
dělník	800	28 320
provozní pracovník	900	39 027



2. Výzkumná činnost



Struktura vědeckých sekcí FZU v roce 2022

34



Sekce fyziky elementárních částic

Oddělení astročásticové fyziky
Oddělení experimentální fyziky částic
Oddělení teorie elementárních částic
Oddělení vývoje detektorů a zpracování dat
Oddělení kosmologie a gravitační fyziky



Sekce fyziky kondenzovaných látek

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



Sekce fyziky pevných látek

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

doc. Alexander Kupčo, Ph.D.
RNDr. Petr Trávníček, Ph.D.
Mgr. Marek Taševský, Ph.D, DSc.
Mgr. Martin Schnabl, Ph.D.
RNDr. Jiří Chudoba, Ph.D.
Dr. Constantinos Skordis

RNDr. Petr Šittner, CSc.
Oleg Heczko, Dr.
Ing. Jiří Hlinka, Ph.D.
Mgr. Daniel Šimek, Ph.D.
RNDr. Petr Šittner, CSc.
Mgr. Jindřich Kolorenč, Ph.D.
Ing. Věra Hamplová, CSc.

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.
prof. Ing. Martin Nikl, CSc.



Sekce optiky

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



Sekce výkonových laserů – Centrum HiLASE

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)



Centrum ELI Beamlines

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

Ing. Tomáš Mocek, Ph.D.
Ing. Libor Juha, CSc.
Ing. Martin Smrž, Ph.D.
Ing. Jan Brajer, Ph.D.
prof. Dr. Sci. Nadezhda M. Bulgakova, Ph.D.

Ing. Roman Hvězda
Ing. Bedřich Rus, Ph.D.
prof. Sergey Vladimirovich Bulanov
Ing. Pavel Bakule, DPhil.
Dr. Stefan Andreas Weber
Jakob Andreasson, Dr.
Daniele Margarone, Ph.D.

Stav ke 31. 12. 2022



35

2.1 Sekce fyziky elementárních částic v roce 2022



„V roce 2022 se nám dařilo zviditelňovat naše týmy ve velkých mezinárodních projektech. Naši pracovníci v nich zastávají významné pozice a přímo tak ovlivňují směřování vědeckého programu těchto předních částicových experimentů a observatoří vysokoenergetického kosmického záření. Náš teoretický výzkum vedl k četným kvalitním publikacím včetně článku, který získal ocenění Nature Research Highlight 2022.“

doc. Alexander Kupčo, Ph.D.

Hlavním rysem výzkumného programu Sekce fyziky elementárních částic je zapojení našich pracovních skupin do velkých mezinárodních experimentů na urychlovačích a projektech zkoumajících vysokoenergetické částice v kosmickém záření. Cílem je studovat základní zákony mikrosvěta včetně toho, jak ovlivňují vývoj vesmíru. Jedná se o následující projekty:

Experimenty v CERN (Evropská organizace pro jaderný výzkum) na urychlovači LHC

Experiment **ATLAS** zkoumá vlastnosti hmoty na velmi malých vzdálenostech řádu 10^{-19} m a hledá nové jevy ve srážkách vstřícných svazků protonů či těžkých iontů. Tříletá odstávka LHC byla v roce 2022 ukončena a v červenci, kdy LHC dodal první proton-protonové srážky při novém světovém rekordu těžištové energie 13,6 TeV, byl zahájen tzv. Run3. Jeho cílem je do konce roku 2025 zdvojnásobit nabraná data, což umožní přesněji proměřit parametry Standardního modelu, včetně podrobnějšího studia vlastností Higgsova boso-

nu, a zvýší objevitelský potenciál LHC. V menší míře se podílíme i na experimentu **TOTEM**, zabývajícím se výzkumem pružného rozptylu a mnoha typů difrakčního rozptylu. Cílem experimentu **ALICE** je zkoumání srážek těžkých iontů.

Experimenty ve Fermilab (Fermiho národní laboratoř u Chicaga)

Experimenty **NOvA** a **DUNE** zkoumají vlastnosti neutrin, především tzv. oscilaci neutrin – jev, při němž dochází k přeměně jednoho typu neutrin na jiný – zvláště přechod mionového neutrina na elektronové, jakož i hierarchii hmotností neutrin a přítomnost narušení CP symetrie v oscilacích neutrin. Zatímco NOvA nabírá v současnosti data a získané výsledky jsou průběžně prezentovány, mezinárodní projekt DUNE je ve fázi výstavby. V jeho rámci se účastníme testování prototypů detektorů a jejich provozu v rámci Neutrinové platformy laboratoře CERN.



Experimenty v astročásticové fyzice

Astročásticová fyzika se zabývá výzkumem částic přilétajících na Zemi z kosmu. Sekce se soustřeďuje především na aktivity spojené s **Observatoří Pierra Augera v Argentině, Cherenkov Telescope Array (CTA) a Southern Wide-field Gamma-ray Observatory (SWGGO)**. Vědecké týmy jsou významně zapojeny i do přípravy celoblohového dalekohledu **Observatoře Very Rubinové** a do projektu Evropské vesmírné agentury **LISA** zaměřeného na detekci gravitačních vln.

Nedílnou součástí našeho programu je také všestranný teoretický výzkum. Základními směry výzkumu, probíhajících v rámci **Středoevropského centra pro kosmologii a fundamentální fyziku (CEICO)**, jsou kvantová teorie pole a teorie strun a kosmologie včetně studia gravitace.

porovány projekty ESA PRODEX. Oddělení je součástí velkých mezinárodních spoluprací a intenzivně rozvíjelo kontakty především s Karlsruher Institut für Technologie (Německo), Laboratório de Instrumentação e Física Experimental de Partículas (Portugalsko), Université Paris-Saclay a Université Grenoble Alpes (Francie). Členové oddělení uspořádali v rámci mezinárodního programu IDPASC letní školu pro doktorské studenty.

M. Palatka, M. Pech, M. Prouza, J. Řídký, E. Santos, P. Schovánek, M. Stadelmaier, P. Tobiška, P. Trávníček, J. Vícha, A. Yushkov), A Catalog of the Highest-energy Cosmic Rays Recorded during Phase I of Operation of the Pierre Auger Observatory, *Astrophys.J.Suppl.* 264 (2023) 2, 50. [DOI 10.3847/1538-4365/aca537](https://doi.org/10.3847/1538-4365/aca537)

[3] A. Albert et al. (The ANTARES collaboration, The IceCube collaboration, The Pierre Auger Collaboration, The Telescope Array collaboration, z FZU: A. Bakalová, J. Blažek, M. Boháčová, J. Chudoba, J. Ebr, P. Hamal, P. Janeček, J. Juryšek, D. Mandát, A. L. Müller, M. Palatka, M. Pech, M. Prouza, J. Řídký, E. Santos, P. Schovánek, P. Tobiška, P. Trávníček, J. Vícha, A. Yushkov, F. Urban), Search for Spatial Correlations of Neutrinos with Ultra-high-energy Cosmic Rays, *ApJ* 934 (2022) 164(1) – 164(21). doi.org/10.48550/arXiv.2201.07313

LITERATURA

- [1] A. Coleman et. al (z FZU: J. Vícha, A. Yushkov), Ultra high energy cosmic rays – The intersection of the Cosmic and Energy Frontiers, *Astropart Phys.* 149 (2023) 102819. doi.org/10.48550/arXiv.2205.05845
- [2] A. Abdul Halim et al. (The Pierre Auger Collaboration, z FZU: A. Bakalová, J. Blažek, M. Boháčová, J. Chudoba, J. Ebr, P. Hamal, P. Janeček, J. Juryšek, D. Mandát, A. L. Müller,

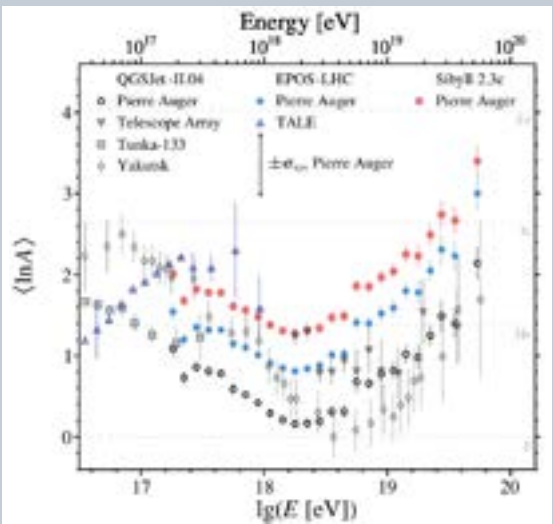
Oddělení astročásticové fyziky

- a) Oddělení se soustředilo na vědecké aktivity na Observatoří Pierra Augera, Cherenkov Telescope Array, projektu SWGGO, Observatoří Vera C. Rubin a v projektu LISA. V rámci laboratoře astročásticové fyziky se prakticky dokončilo všechno testování nové elektroniky pro povrchové detektory modernizované Observatoře. Analyzovala se data z teleskopů SST-1M v Ondřejově a rozvíjela se i fenomenologie spršek kosmického záření.
- b) Členové oddělení se podíleli na identifikování perspektivních projektů ve fyzice vysokých energií pro grantové agentury USA (tzv. Snowmass process). Příspěvek [1] obsahuje kompletní seznam vědeckých témat o kosmickém záření ultravysokých energií včetně metodiky a navržených strategií, jak dosáhnout odpovědi na zbývající otevřené otázky (obr. 2.1.1).
- c) K nejvýznamnějším výsledkům patří katalog vysokoenergetických spršek kosmického záření zachycených během dosavadního provozu Observatoře Pierra Augera, který obsahuje detailní popis 100 nejenergičtějších událostí od energie 78 EeV včetně mapy směrů jejich přiletů. Na přípravě článku se významně podílel člen oddělení zodpovědný za celou část týkající se fluorescenčního detektoru [2]. K dalším důležitým výsledkům patří hledání korelace mezi směry přiletů vysoce energetických neutronů [3] a směry kosmického záření ultravysokých energií. Neutrinová data byla poskytnuta kolaboracemi IceCube a ANTARES. Data kosmického záření jsou z experimentů Telescope Array a Observatoře Pierra Augera. Žádná z prezentovaných analýz nepoukazuje na prokazatelný signál korelace, a tím vyvrací předchozí náznaky.

Posledním rokem pokračovalo řešení projektů Inter-Excellence MŠMT Česká účast v projektu AugerPrime na Observatoří Pierra Augera, Rozvoj české účasti v CTA

a Účast na vývoji budoucí širokoúhlé observatoře gama záření – SWGGO, a dále infrastruktur MŠMT AUGER-CZ a CTA-CZ, na které se podařilo i získat nové financování. Schválen byl také projekt GACR 23-05827S – Zvýšení vědeckého potenciálu observatoře gama záření SWGGO Čerenkovskými teleskopy. Aktivity v rámci LISA jsou pod-

Obr. 2.1.1 – Energetická závislost středního logaritmu hmotového čísla jader primárního kosmického záření. Výsledky pochází z detekce fluorescenčními a čerenkovskými teleskopy, které umožňují měření průměrné pronikavosti maximálního počtu sekundárních částic v atmosférické spršce. Výsledky jsou založeny na předpovědích modelů hadronických interakcí EPOS-LHC, QGSJet II-04 a Sibyll 2.3c. Obrázek ilustruje rozdílnosti interpretací ohledně složení kosmického záření a sloužil jako podklad pro tzv. Snowmass process v USA.



Oddělení experimentální fyziky částic

Oddělení experimentální částicové fyziky se zaměřuje na zpracování velkých objemů dat z experimentů na velkých urychlovačích (zejména experiment ATLAS na LHC), s podpůrnými úkoly jako např. kalibrace či údržba detektorů. Cílem je jednak testovat předpovědi Standardního modelu (SM), jednak hledat signály Nové fyziky (NF), které SM předpovědět neumí. V roce 2022 se po plánované odstávce znovu rozeběhl urychlovač LHC. Naše oddělení se podílelo na uvedení do chodu detektoru ATLAS a na analýze dosavadních dat. Vědečtí pracovníci a doktorandi z FZU jsou členové a vedoucí pracovních skupin zkoumajících fyziku kvarků bottom a top a fyziku silných a elektroslabých interakcí.

Vůdčí roli jsme sehráli v analýze případů se dvěma top kvarky v koncovém stavu v detektoru ATLAS, a to ve formě velmi širokých jetů s vysokými příčnými hybnostmi [1]. Obsáhlá práce předčila dosavadní publikace na toto téma přesností a šíří souboru zkoumaných proměnných (obr. 2.1.2), což umožnilo detailní srovnání dat s předpověďmi jak SM, tak některých modelů NF. Výsledky mají potenciál stát se nepostradatelnými v budoucích globálních analýzách.

Významně přispíváme v oblasti dopředné fyziky v experimentu ATLAS i mimo něj. FZU se v minulosti podílel na vývoji a instalaci detektoru dopředných protonů (AFP) a nyní máme na starost přesný zákryt jeho jednotlivých součástí. Kromě zpracování dat s dopřednými protony se věnujeme i fyzikální motivaci pro využití detektoru AFP publikováním fenomenologických studií, v r. 2022 například na téma exkluzivní produkce páru top kvarků [2].

Podílíme se také na simulacích a vývoji kalibračních metod některých detektorů experimentu DUNE. V roce 2022 jsme rozšířili simulace odezvy detektoru

s vertikálním driftem elektronů na miony z kosmického záření a na základě této odezvy jsme navrhli metodu kalibrace tohoto detektoru.

Důležitý je i náš přínos k managementu experimentu ATLAS. V roce 2022 jsme zastávali několik koordinačních pozic s vysokou zodpovědností, včetně koordinátora ATLAS skupiny Standardního modelu, která čítá 450 vědců.

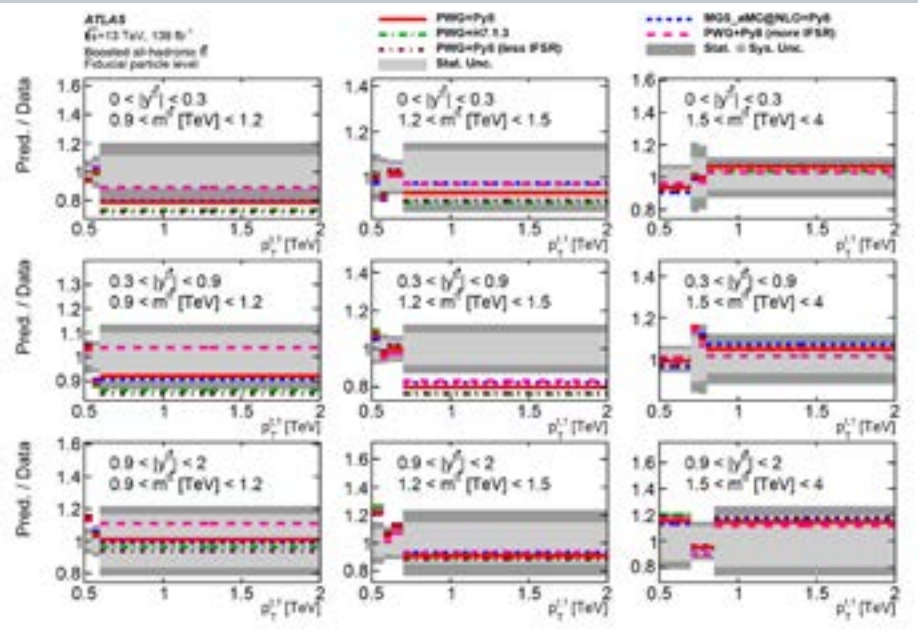
V roce 2022 jsme uspořádali jednodenní setkání *Day with particle and astroparticle research infrastructures* (<https://indico.cern.ch/event/1139435/>), které si kladlo za cíl posílit synergie mezi velkými výzkumnými infrastrukturami v oborech částicové a astročásticové fyziky. Dále jsme pro studenty uspořádali dvoudenní workshop zaměřený na Standardní model a kvantovou chromodynamiku, na kterém přednášel zahraniční expert na tuto fyziku R. Pasechnik.

LITERATURA

- [1] G. Aad et al. (The ATLAS Collaboration, z FZU: J. Chudoba, J. Hejbal, O. Hladík, P. Jačka, 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), Differential $\bar{t}t$ cross-section measurements using boosted top quarks in the all-hadronic final state with 139 fb⁻¹ of ATLAS data, arXiv: 2205.02817 [hep-ex] (přijato do JHEP).
- [2] D. E. Martins, M. Tasevsky and V. P. Goncalves, Challenging exclusive top quark pair production at low and high luminosity LHC, *Phys.Rev.D* 105 (2022) 11, 114002. <https://journals.aps.org/prd/abstract/10.1103/PhysRevD.105.114002>.



Obr. 2.1.2 Velké množství dat nasbíraných prozatím experimentem ATLAS na urychlovači LHC umožnilo proměření produkce dvou top kvarků s velkými příčnými hybnostmi ve třech proměnných naráz: příčná hybnost energetičtějšího jetu, rapidita dijetového systému a jeho hmotnost. Data jsou srovnána s předpověďmi nejpopulárnějších modelů.



Oddělení teorie částic a kosmologie

S počátkem roku 2022 došlo k formálnímu rozdělení bývalého oddělení Teorie částic a gravitace na oddělení Teorie elementárních částic a oddělení Kosmologie a gravitační fyziky. Obě oddělení spolu zachovávají těsné vazby a spolupracují v rámci Středoevropského centra pro kosmologii a fundamentální fyziku (CEICO), které vzniklo v roce 2016 za pomoci dotace z programu OP VVV. V rámci oddělení Teorie elementárních částic se věnujeme především teorii strun, kde se pokoušíme objasnit fungování našeho vesmíru na subatomárních škálách, ale rozvíjíme i holografický přístup k teorii gravitace. Významná je i naše skupina věnující se alternativním modelům gravitace, která je zapojená do řady mezinárodních projektů v oblasti astrofyziky, kosmologie a gravitačních vln.

Teorie strun a kvantové gravitace

V oblasti teorie strunového pole jsme učinili významný krok k pochopení fyziky klasických řešení pole uzavřené struny, kde jsme překvapivě ukázali, že klasická akce vymizí jako důsledek dilatonového teorému [1]. V oblasti teorie pole otevřených strun jsme publikovali zásadní přehledový článek v prestižním časopise Physics Reports [2]. Významnou oblastí našeho výzkumu bylo studium amplitud rozptylu v teorii pole i strun. V článku [3] jsme navrhli rekursivní metodu využívající klasické pohybové rovnice k určení jednosmyčkových integrálů v neabelovských teóriích s externími stavy zcela off-shell. Dlouhodobě se věnujeme studiu holografické duality mezi teorií gravitace ve třech rozměrech a konformní teorií pole ve dvou rozměrech. V článku [4] jsme objevili novou geometrickou reprezentaci konformních bloků, které hrají důležitou roli v holografii. V článku [5] jsme studovali konformní invarianci jednodimenzionálních sigma modelů.

Alternativní teorie gravitace

Mnohé obecnější teorie temné energie předpovídají existenci nové páté interakce gravitačního původu v našem vesmíru. Společně s Jørgenem Christensenem-Dalsgaardem z Aarhuské univerzity jsme hledali její otisky v nitru Slunce. Pomocí nejmodernějších simulací jsme modelovali Slunce v přítomnosti nové síly, což jsme následně porovnali s pozorováním. Nenašli jsme žádné známky páté síly, což významně limituje její velikost. Výsledky této práce [6], oceněné časopisem Nature jako Research Highlight 2022, vyzdvihují význam Slunce coby laboratoře pro testování základních fyzikálních jevů.

LITERATURA

- [1] T. Erler, The closed string field theory action vanishes, JHEP 10 (2022) 055. [doi.org/10.1007/JHEP10\(2022\)055](https://doi.org/10.1007/JHEP10(2022)055)
- [2] T. Erler, Four lectures on analytic solutions in open string field theory, Phys.Rept. 980 (2022) 1–95. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1912.00521>
- [3] H. Gomez, R. Lipinski Jusinskas, C. Lopez-Arcos and A. Quintero Velez, Phys. Rev. Lett. 130 (2023) no.8, 081601; doi.org/10.1103/PhysRevLett.130.081601
- [4] G. Vos, JHEP 08 (2022) 238. [doi.org/10.1007/JHEP08\(2022\)238](https://doi.org/10.1007/JHEP08(2022)238)
- [5] D. Mirfendereski, J. Raeymaekers, C. Şanlı, D. Van den Bleeken, JHEP 08 (2022). [doi.org/10.1007/JHEP08\(2022\)081](https://doi.org/10.1007/JHEP08(2022)081)
- [6] I. Saltas, J. Christensen-Dalsgaard, Astron. Astrophys. 667 (2022) A115 doi.org/10.48550/arXiv.2205.14134

Oddělení vývoje detektorů a zpracování dat

Oddělení řeší úkoly spojené s velkými mezinárodními projekty fyziky vysokých energií. Pro experiment ATLAS jsme pokračovali v produkčním testování křemíkových stripových senzorů vyvinutých pro projekt ATLAS Inner Tracker (ITk). Na více než 800 senzorech byla provedena měření mechanických a elektrických vlastností [1]. Ve spolupráci s UJP Praha bylo ozařeno více než 100 testovacích vzorků, jejichž charakteristiky byly následně proměřeny v naší čisté laboratoři (obr. 2.1.3) Skupina se také významně podílela na test-beam a ozařovacích kampaních projektu ATLAS ITk (3 kampaně v DESY a několik kampaní v CERN), které zcela dominantně pokrývala z hlediska personálního i přístrojového. Kromě projektu ITk se skupina věnovala také výzkumu nových radiačně odolných detektorů částic založených na polovodičových materiálech.

Testování svazkem částic jsme prováděli i pro vývoj hadronového kalorimetru v projektu CALICE AHCAL, který byl testován společně s elektromagnetickým kalorimetrem SiW ECAL v CERN. Při vyčítání 15000 buněk ECAL a 22000 kanálů AHCAL bylo dosaženo 20násobného zrychlení vyčítání, které dává lepší časové rozlišení vývoje spršek částic v detektorech.

Výpočetní středisko instalovalo nový výpočetní cluster Milan s 1856 výpočetními jádry. Z důvodu nárůstu ceny energií jsme na konci roku vyřadili 3 starší výpočetní cluster, ale celkový výpočetní výkon přesto významně vzrostl. Cluster LUNA, který je zapojený do národního gridového prostředí Metacentrum, byl

rozšířen o 6 serverů s grafickými kartami NVIDIA A40. Rozšíření úložné kapacity o externí vzdálené zdroje dostupné v národní e-Infrastruktuře jsme začali testovat v rámci projektu Fondu rozvoje CESNET.

V rámci spolupráce na experimentu NOvA jsme přispívali k provozu vzdáleného a blízkého detektoru, účastnili se směn při sběru dat a podíleli se na analýze dat. Připravovaný experiment DUNE umožní podstatně zpřesnit měřené veličiny pro oscilaci neutrin a jejich hmotnosti, stejně jako parametry narušení symetrie CP. Podstatným krokem pro design, konstrukci detektorů a přípravu fyzikálních analýz jsou reálná data měřená prototypy detektorů. Ty se průběžně budují a testují v CERN. Podíleli jsme se na instalaci modulů fotodetekčního systému tvořeného „světelnými pastmi“ – Arapucami obsahujícími foto-sensory SiPM. Také jsme měřili SiPM sensory v naší laboratoři jak za pokojové, tak především za velmi nízké teploty v kapalném dusíku. Na základě získaných zkušeností jsme započali přestavbu naší laboratoře pro masivní testování SiPM.

LITERATURA

- [1] M. Mikestikova et al (z FZU: M. Mikestikova, P. Federicova, J. Kvasnicka, J. Kroll, V. Latonova, E.A. Slavikova, P. Tuma), ATLAS ITk strip sensor quality control procedures and testing site qualification, JINST 17 (2022) 12, C12013. DOI 10.1088/1748-0221/17/12/C12013.

Oddělení kosmologie a gravitační fyziky

Toto nově vzniklé oddělení se počátkem roku 2022 oddělilo od bývalého oddělení Teorie částic a gravitace. Práce oddělení se zaměřuje na základní otázky kosmologie a gravitace, jako je například to, jak vznikl vesmír, jaké jsou složky hmoty, jakou roli hrála gravitace a jaká je povaha temného sektoru, který podle standardního modelu vesmíru tvoří většinu obsahu vesmíru. Náš výzkumný program zahrnuje širokou škálu témat z oblasti kosmologie a gravitace, od kosmologické fenomenologie a testování modelů pomocí kosmologických pozorování, kosmologie pozdního vesmíru a formování kosmických struktur, kosmologie raného vesmíru, temné hmoty, kosmického záření, gravitačních vln, kvantové teorie pole aplikované na kosmologii a gravitaci a konečně různých aspektů teorie gravitace – jak obecné relativity a jejich různých rozšíření, tak teorií popisujících temný sektor.

V roce 2022 jsme pokračovali v práci na tématech týkajících se fyziky inflace, éry exponenciálně rychlého rozpínání ve velmi raném vesmíru. Pokročili jsme ve studiu kompaktních objektů v obecné relativitě a také jsme vytvořili relativistický lokalizační algoritmus v zakřiveném prostoročase, který může v budoucnu najít uplatnění v kosmickém průmyslu, například umožnit satelitní navigaci mimo oběžnou dráhu Země. Publikovali jsme několik článků o tzv. dvojí kopii obecné relativity a kvantové gravitaci v de Sitterově prostoru. Rozvinuli jsme teoretické studie rozšíření obecné relativity s výhledem na popis temného sektoru a odhalili jsme příklady teorií, kde dynamická pole se zápornou kinetickou energií nevedou, v rozporu se standardním očekáváním, k nestabilitě. Pokračovali jsme v zapojení do spolupráce na projektech Telescope Array a Antares a dále jsme zdokonalili metodu omezování složení

kosmického záření o ultravysokých energiích pomocí korelací s kosmologickou velkoškálovou strukturou.

V sérii článků jsme se zabývali novým návrhem na využití pozorování gravitačních vln ke zkoumání produkce temné hmoty a další fyziky raného vesmíru. Tento proces přidává další kanál pro získání informací o fyzice vysokých energií v raném vesmíru, protože v takových případech běžně vznikají kosmické struny nebo primordiální černé díry. Tato produkce vede k silným a zřetelným signálům v gravitačních vlnách (obr. 2.1.4). Proto i když takovou fyziku nepozorujeme v astrofyzikálních experimentech nebo experimentech částicové fyziky, můžeme ji stále testovat pomocí pozorování gravitačních vln [1].

V roce 2022 jsme uspořádali několik mezinárodních akcí. Druhé pokračování naší letní školy **Gravity@Prague** (<https://gravity-prague.fzu.cz/>) přiláhalo více než 120 doktorandů z celého světa, kterým přednášeli přední světoví odborníci na gravitaci. Dále jsme spolupřáteli letní školu a konferenci **Amplitudy** (<https://indico.cern.ch/event/1130654/>) a zimní workshop **CAS-JSPS** o kosmologii, gravitaci a částicové fyzice (<https://cas-jsps-winter.fzu.cz/>), zahrnující bilaterální spolupráci s Tokijským technologickým institutem a Kjótskou univerzitou.

Pokračovali jsme v posilování mezinárodní skupiny postdoktorandů prostřednictvím grantů MSCA: jednoho individuálního stipendia MSCA a dvou stipendií MSCA-CZ, z nichž jedno má iniciovat spolupráci s Astronomickou observatoří na univerzitě ve Štrasburku.

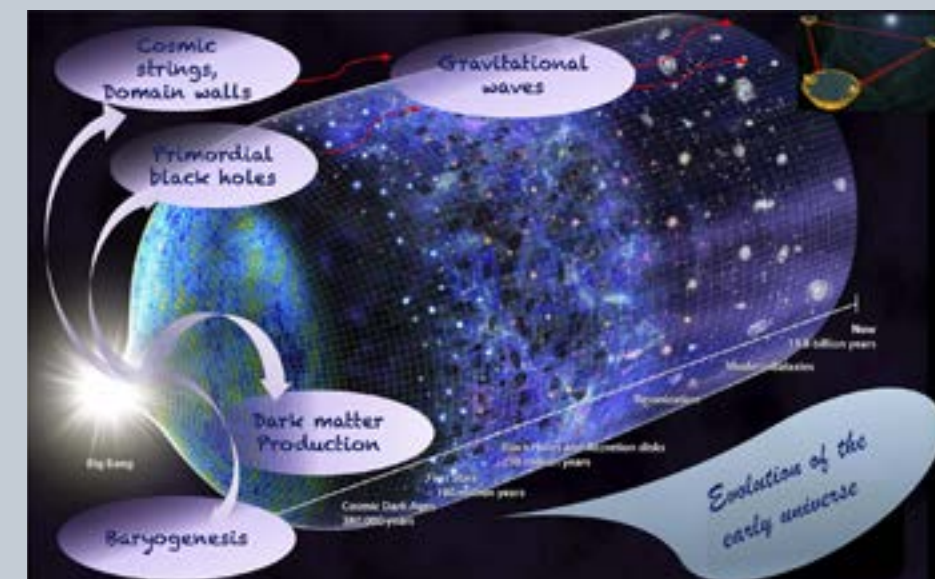
LITERATURA

- [1] R. Samanta, and F. Urban, Testing Super-heavy Dark Matter from Primordial Black holes with Gravitational waves, *JCAP* 96 (2022) 017. <https://doi.org/10.1088/1475-7516/2022/06/017>

Obr. 2.1.3 Čistá laboratoř pro vývoj a testování polovodičových detektorů částic, ve které se v současnosti studují zejména křemíkové stripové senzory projektu ATLAS Inner Tracker.



Obr. 2.1.4 Vývoj vesmíru a propagace gravitačních vln z událostí v ranných fázích vývoje vesmíru.



2.2 Sekce fyziky kondenzovaných látek



„V roce 2022 jsme prostřednictvím podpory z projektu Solid 21 dobudovali a zprovoznili centrální laboratoře rentgenové difrakce a elektronové mikroskopie podporující výzkum vědeckých týmů ve FZU. Přestěhovali jsme pracoviště části vědeckých týmů do prostor v Novém pavilonu na Slovance a rozšířili naše experimentální možnosti o rentgenovou výpočetní tomografii s vysokým rozlišením a o malouhlový rozptyl rentgenového záření. Obě metody slouží k 3D analýze nehomogenit v pevných látkách.“

RNDr. Petr Šittner, CSc.

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 s řízenou mikrostrukturou, biodegradabilních kovů, diamantových povlaků, magnetických a multiferoických materiálů s magnetizací transformací, tenkých vrstev a funkčních technických materiálů, jako jsou slitiny s tvarovou pamětí.

V oblasti teoretického výzkumu se zabýváme především rozbohem 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. Výzkumné týmy v sekci stále aktivněji spolupracují s pracovníky centrálních laboratoří (LEM, ROTAN, SLMS, GDOES a Chemie).

Pracovníci centrálních laboratoří rozvíjejí experimentální metody s využitím svěřeného nákladného experimentálního vybavení, školí vědecké pracovníky a PhD studenty z vědeckých týmů, aby mohli experimentální metody v laboratořích samostatně používat, a poskytují vědeckým týmům výzkumné služby v oborech elektronové mikroskopie, rentgenových metod, spektroskopických metod, fyzikálních měření v magnetických polích a analytické chemie.

Hlavní událostí roku 2022 bylo bezesporu dokončení výstavby nového pavilonu FZU na Slovance v rámci projektu SOLID21, instalace nových experimentálních zařízení a stěhování laboratoří do nových prostor. Laboratoř ROTAN v uplynulém roce významně rozšířila své experimentální možnosti o rentgenovou výpočetní tomografii s vysokým rozlišením (XRM), známou také pod názvem rentgenový mikroskop či tomograf a o zařízení SAXS využívající malouhlového rozptylu rentgenového záření k charakterizaci nanokrystalických látek či nanostrukturovaných materiálů.

Nové laboratoře nám otevřely i zcela nové možnosti pro výzkum, například pro rozvoj práškové metalurgie a metod 3D tisku kovů, pro rozvoj nových technologií



přípravy tenkých vrstev, nebo pro upgrade existujícího experimentálního vybavení, konkrétně byly vypracovány podrobné plány pro postavení nového experimentu s řádově silnějším THz polem pro nelineární a prostorově rozlišenou THz spektroskopii.

V roce 2022 jsme pokračovali v řešení problémů základního i aplikovaného výzkumu financovaných z národních a evropských výzkumných projektů. Zahájili jsme řešení 8 národních, 1 mezinárodního a 1 juniorského projektu GAČR a dvou evropských projektů včetně prestižního ERC starting grantu věnovaného přípravě a výzkumu dvoudimenzionálních kompozitních materiálů.

Pracovníci sekce se aktivně zapojili do přípravy návrhů nových projektů, včetně evropských projektů a projektů ze strukturálních fondů EU v programu OP JAK. V sekci se postupně prosazuje nová generace mladých vědeckých pracovníků, kteří v roce 2022 řešili 4 postdoktorandské PPLZ projekty, 3 mladí pracovníci vyjeli na půlroční stáže na špičková zahraniční pracoviště v Japonsku, Německu a v Belgii. Dr. Prokop Hapala zahájil řešení prestižního projektu GAČR Junior Star, jehož cílem je návrh metod syntézy molekulárních obvodů na povrchích iontových krystalů s využitím počítačových simulací, při kterých budou uplatněny metody strojového učení.

pro MRS Bulletin o magnetické tvarové paměti a souvisejících jevech [3]. Po publikaci následoval celosvětový seminář (on-line) o novém vývoji Heuslerových slitin. Navrhli jsme nový směr ve výzkumu Heuslerových slitin pomocí lokální atomové sondy hyperjemného pole, který by měl vést k lepšímu pochopení výjimečného chování martenziticky se transformujících Heuslerových slitin, a získali finanční prostředky na takové zkoumání ve společném projektu GAČR s Univerzitou Karlovou. Dlouhodobá návštěva našeho spolupracovníka z Finska O. Sozinova byla financována z projektu Mobility II.

Ve snaze porozumět magnetickému chování tvrdých magnetických materiálů jsme se zaměřili na vrstvy hydridu uranu (UH₂) a také na nekonvenční supravodič UTe₂ na bázi uranu. Hlavní hybnou silou tohoto výzkumu je Evgenia Chitrová, která za svou práci získala v roce 2022 cenu L’Oreal-UNESCO pro ženy ve vědě.

Jsmo úspěšní i ve vzdělávání studentů a náš doktorand Ing. Petr Veřtát získal první cenu za nejlepší studentský příspěvek na konferenci České a slovenské krystalografické asociace Struktura 2022.

LITERATURA

[1] Y. Ge, M. Vronka, P. Veřtát, M. Karlík, S.P. Hannula, O. Heczko, Deformation twinning with different twin-boundary mobility in 2H martensite in Cu-Ni-Al shape memory alloy, *Acta Materialia* 226 (2022) 117598. doi.org/10.1016/j.actamat.2021.117598

[2] H. Seiner, M. Zelený, P. Sedlák, L. Straka, & O. Heczko, Experimental Observations versus First-Principles Calculations for Ni–Mn–Ga Ferromagnetic Shape Memory Alloys: A Review. *physica status solidi (RRL)–Rapid Research Letters*, 16(6), (2022) 2100632. [DOI:10.1002/pssr.202100632](https://doi.org/10.1002/pssr.202100632)

[3] O. Heczko, H. Seiner and S. Fähler, Coupling between ferromagnetic and ferroelastic transitions and ordering in Heusler alloys produces new multifunctionality, *MRS Bulletin* 47 (2022) 618–627. doi.org/10.1557/s43577-022-00354-x

Oddělení magnetických měření a materiálů

Magnetické materiály jsou klíčovou součástí udržitel-né a energeticky úsporné společnosti. Hlavním úkolem Oddělení magnetických měření a materiálů je fyzikální poznání a vyhledávání takových materiálů a zajištění komplexních magnetických měření pro širší fyzikál-ní komunitu ve Společné magnetické laboratoři, nyní součást Velké výzkumné infrastruktury ČR.

Zaměřujeme se především na výzkum v oblasti jevů magnetické tvarové paměti, vysokoteplotních supra-vodičů a exotických materiálů při hledání nových per-manentních magnetů. Díky projektu OPVVV Fyzika pevných látek pro 21. století bylo oddělení konsolido-váno přestěhováním do prostor v nově postavené bu-dově Solid. Nové laboratoře byly vybaveny vyváženou kombinací starších a nových přístrojů, zejména novým magnetometrem Microsense VSM, který umožňuje

mnohem rychlejší charakterizaci magnetických mate-riálů se zvýšenou přesností.

Jádro výzkumné činnosti zůstává ve zkoumání fe-noménu magnetické tvarové paměti (MSM). Ve spo-lupráci s Aalto University ve Finsku jsme publikovali článek, který poskytuje vhled do struktury různých typů hranic dvojčat, které jsou nástrojem MSM efektu [1]. Detailní transmisní elektronová mikroskopie hra-nic dvojčat byla umožněna díky monokrystalickému Cu-Ni-Al, nemagnetickému analogu Ni-Mn-Ga. Podob-nosti zdvojitělé struktury obou materiálů jsou ukáza-ny na obr. 2.2.1. Tento obrázek dokládá trvale překva-pivou krásu martenzitických struktur.

Kvalita a kontinuita našeho MSM výzkumu byla zhodnocena ve dvou pozvánkách na souborné články. Jeden v rámci pps-RRL k 15letému výročí existence ča-sopisu [2], kde jsme se zaměřili na výzvy a konflikty mezi ab-initio přístupem a experimentem ve vývoji feromagnetických slitin s tvarovou pamětí, a druhý

Oddělení dielektrik

Cílem práce oddělení dielektrik je pochopení a využí-vání výjimečných vlastností elektricky polarizovatelných materiálů. K tomu se využívají experimentální techni-ky jako širokopásmová spektroskopie 10⁻³ – 10¹⁵ Hz, Ramanova a neutronová spektroskopie v kombinaci s nejmodernějšími mikroskopickými i fenomenologic-kými teoriemi a ab initio výpočty.

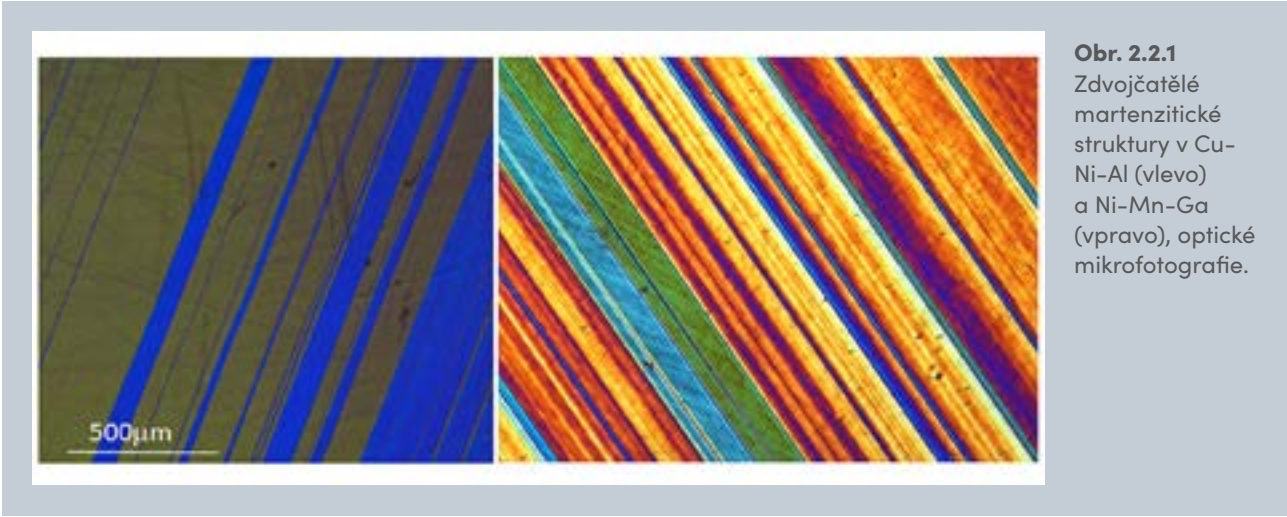
Schopnost vtisknutí permanentní polarizace tzv. feroelektrickým dielektrickým materiálům je vyu-žívána v celé řadě aplikací známých z každodenního života – našli bychom je např. uvnitř feroelektrické pa-měti, piezoelektrického aktuátoru či senzoru.

Pro žádanou miniaturizaci feroelektrických součás-tek a s tím souvisejícího omezení energetické náročnos-ti masově používaných technických zařízení je důležité studium tenkých feroelektrických filmů a tzv. super-mřížek. Tento výzkum je proto jedním z prioritních směrů výzkumu oddělení. Skutečnou revolucí poslední dekády v oboru je objev feroelektřiny u ultratenkých vrstev HfO₂. Tým S. Kamby nedávno přispěl přehledo-vým článkem pro časopis Small o použití HfO₂ tenkých vrstev pro aplikace ve feroelektrických a vysoce integro-vaných pamětech s náhodným přístupem [1]. Některé feroelektrické vrstvy lze připravit i ve formě tzv. su-permřížek. Díky domácím experimentům využívajícím anizotropie Ramanova rozptylu se F. Borodavkovi a A. Pylypets podařilo významně přispět k mezinárodní spolupráci s University College London odhalením pře-stavby doménové textury při oddělení feroelektrických supermřížek od substrátu[2].

Intenzivní nasazení oddělení dielektrik do meziná-rodního výzkumu lze dokumentovat dvěma aktuálně řešenými projekty FET-OPEN, organizací konference (XXIV Czech-Polish seminar on Structural and ferro-electric phase transitions Harrachov, 23.–27. května 2022) s tradičně bohatou mezinárodní účastí pokrý-vající desítku evropských států, či návštěvami a před-náškami zahraničních expertů na seminářích vede-ných H. Němcem, kde přednášel např. prof. A. Munoz z University of Chile.

Aktuální personální obsazení oddělení je stabilní a rovnoměrné ve všech věkových kategoriích. Začát-kem roku jsme se naposledy rozloučili se zakládajícím vedoucím oddělení, emeritním pracovníkem, profe-sorem V. Janovcem. Oddělení naopak posílil nový vý-znamný člen, T. Verhagen, který přinesl prestižní ERC Starting grant věnovaný dvoudimenzionálním kompo-zitním materiálům.

Oddělení se dlouhodobě daří vychovávat doktoran-dy z České republiky i ze zahraničí – v roce 2022 se jich v oddělení školilo jedenáct. Jedním z nadaných doktorandů oddělení je např. D. Repček, jehož poster věnovaný kvantovým kritickým efektům v multifero-ikách byl oceněn na mezinárodní konferenci ISAF-PFM-ECAPD ve francouzském Tours. Jeho školitel S. Kamba v letošním roce získal akademický titul dok-tor věd, zatímco E. Buixaderas se stala členkou komise Structural and Dynamical Properties of Solids při Ev-ropské fyzikální společnosti a také nově od I. Gregory převzala vedení skupiny Spektroskopie rozptylu světla a neutronů.



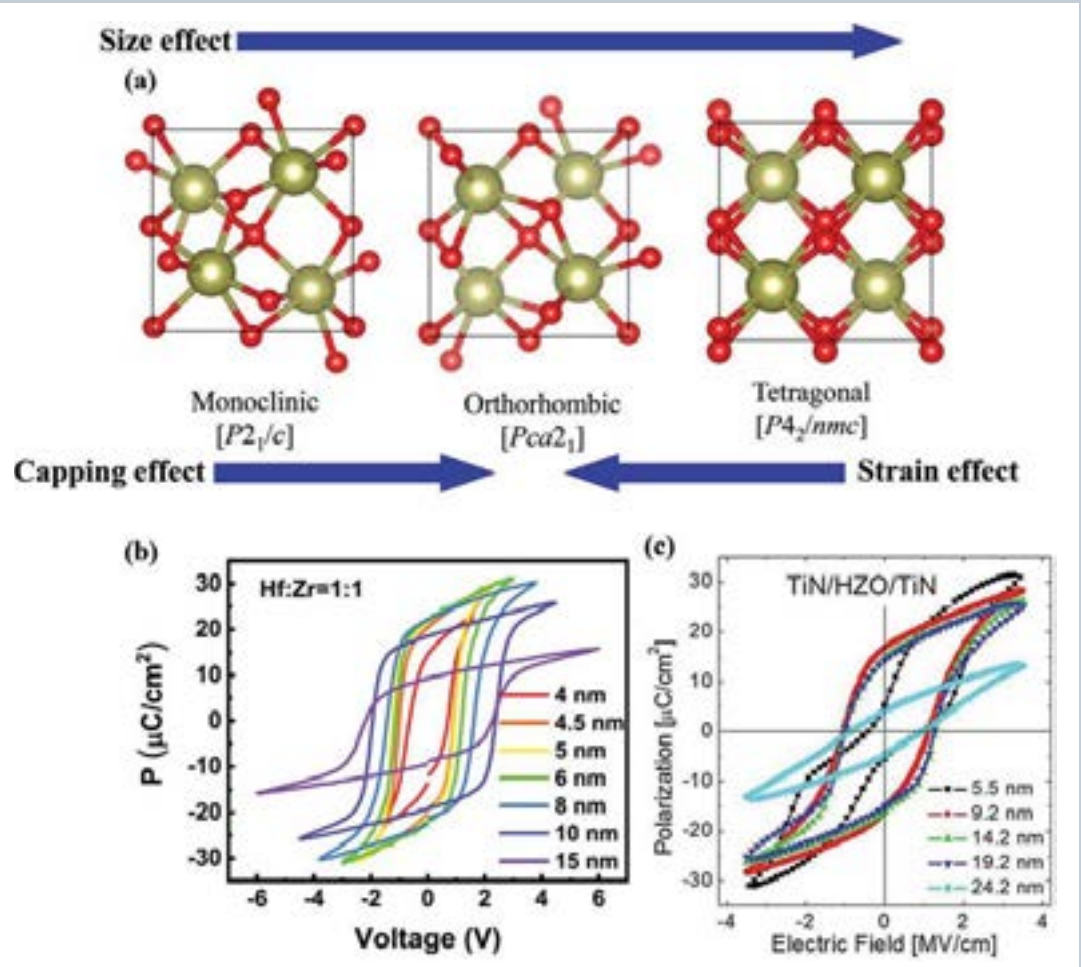
Obr. 2.2.1
Zdvojitělé martenzitické struktury v Cu-Ni-Al (vlevo) a Ni-Mn-Ga (vpravo), optické mikrofotografie.



LITERATURA

- [1] W. Banerjee, A. Kashir, S. Kamba. *Hafnium Oxide (HfO₂) – A Multifunctional Oxide: A Review on the Prospect and Challenges of Hafnium Oxide in Resistive Switching and Ferroelectric Memories*, Small **18**, 2107575 (2022). DOI: 10.1002/smll.202107575
- [2] Y. Li, E. Zatterin, M. Conroy, A. Pylypets, F. Borodavka, A. Björling, D. J. Groenendijk, E. Lesne, A. J. Clancy, M. Hadjimichael, D. Kepaptsoglou, Q. M. Ramasse, A. D. Caviglia, J. Hlinka, U. Bangert, S. J. Leake, P. Zubko, *Electrostatically driven polarization flop and strain-induced curvature in free-standing ferroelectric superlattices*, Adv. Mater. **34**, 2106826 (2022). DOI: 10.1002/adma.202106826

Obr. 2.2.2 Závislost krystalové struktury HfO₂ na tloušťce tenké vrstvy, mechanickém napětí a elektrodách. (a) (100) projekce HfO₂ struktury v monoklinické, ortorombické a tetragonální fázi. Vývoj objemově stabilní monoklinické do výše symetrické tetragonální a feroelektrické ortorombické fáze ilustruje vliv objemového a povrchového efektu, který preferuje vyšší symetrii. Jak povrchová energie, tak i deformace pnutím stabilizuje narušení centra symetrie ve feroelektrické fázi. (b) Polarizační hysterezní smyčky Hf_{1-x}Zr_xO₂ s poměrem Hf:Zr = 1:1 při různých tloušťkách vrstev a s různými elektrodami.



Oddělení materiálové analýzy

Těžiště výzkumu v oddělení Materiálové analýzy spočívá ve spolupráci s výzkumnými týmy z materiálově zaměřených pracovišť FZU. Naše expertiza spočívá v odborně prováděné metodice prvkových, rentgenových a mikroskopických analýz, interpretaci výsledků a ve vývoji nových analytických metod.

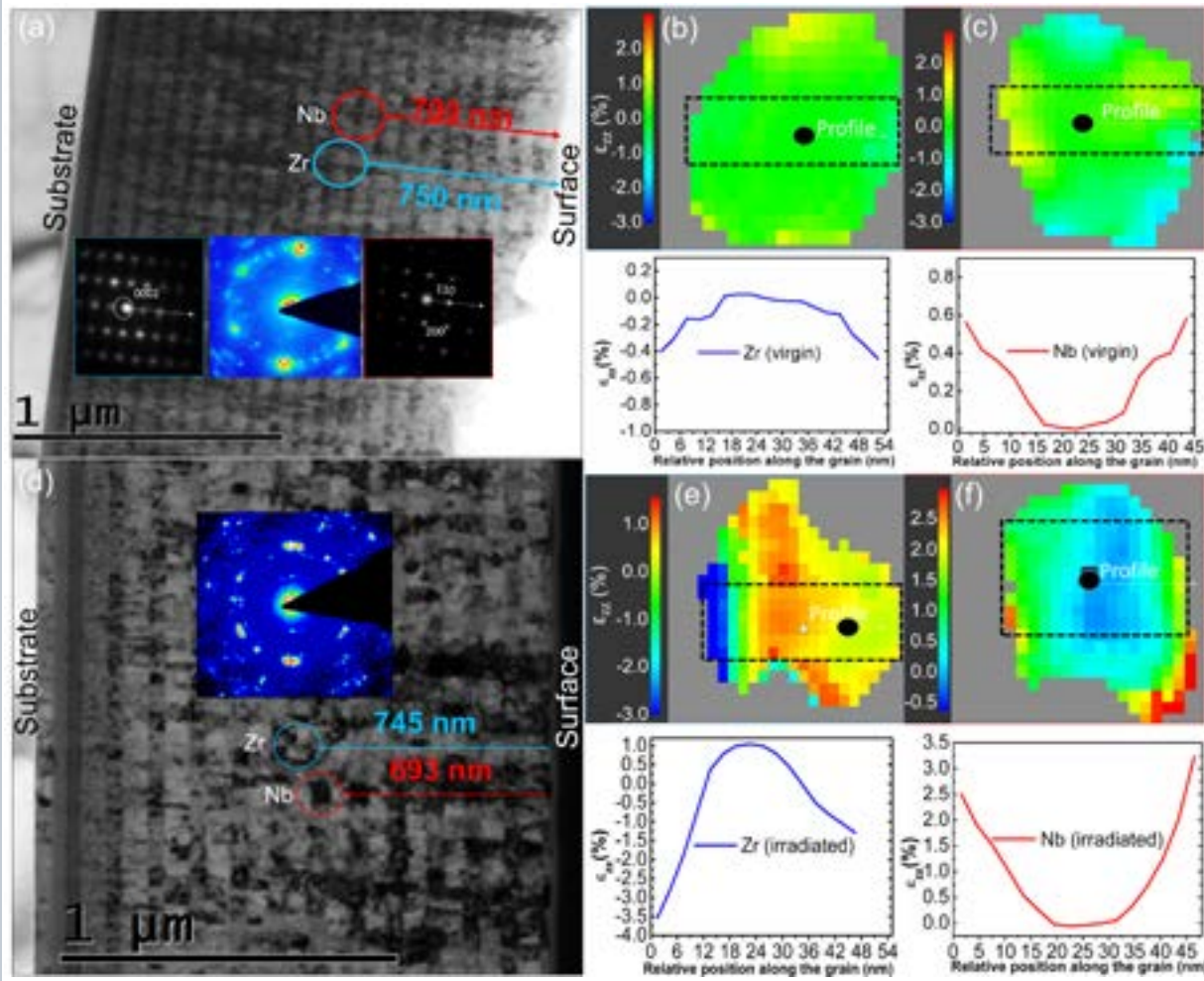
Laboratoř emisní spektroskopie

V laboratoři GDOES byla vyvinuta nová metoda analýzy diamantových vrstev dopovaných bórem a fosforem pro Oddělení Funkčních materiálů [1, 2]. Podařilo se zlepšit detekční limit fosforu o řád oproti konvenční metodice GDOES. Nově se používá neon jako pracovní plyn místo argonu. Paralelně s touto aplikačně orientovanou prací pokračoval i výzkum excitačních mechanismů niklu [3] a molybdenu [4] v doutnavém výboji.

Rentgenová Laboratoř ROTAN

Laboratoř ROTAN v uplynulém roce díky projektu Solid 21 rozšířila své experimentální možnosti o rentgenovou výpočetní tomografii s vysokým rozlišením, zvanou též rtg. mikroskopie (XRM). Stávající vybavení laboratoře pro rentgenovou difrakci (XRD) se přestěhovalo do komplexu nových rentgenových laboratoří v novém pavilonu. Došlo též k instalaci další nové metodiky – malouhlového rozptylu rentgenového záření (SAXS), která je vhodná k charakterizaci nanokrystalických látek či jinak nanostrukturovaných materiálů. Pomocí XRM byly provedeny např. experimenty analyzující poréznost a precipitaci v protlačovaných kompozitních materiálech [5], či časosběrné zkoumání koroze biodegradabilních slitin. Pomocí XRD byla charakterizována rozhraní a vrstvy nových perspektivních polovodičových materiálů na bázi skandium

Obr. 2.2.3 Nanovrstvé kovové slitiny Zr/Nb se jeví jako slibné materiály pro aplikace v jaderné energetice díky jejich odolnosti vůči radiačnímu poškození. Nanovrstvé materiály s tlustšími vrstvami vykazovaly po ozáření prokazatelně nižší hodnoty deformace. Na základě detailního měření se podařilo stanovit model, který předpokládá, že nejlepší odolnost je dosažena nanovrstvým systémem s tloušťkou vrstvy 55 nm [11].





nitridu (ScN) připravovaných na různých substrátech (MgO, Si).

Laboratoř elektronové mikroskopie (LEM)

V LEM se prováděla zejména mikrostrukturní a mikro-mechanická charakterizace kovů a kovových slitin [6] a multivrstev (obr. 2.2.3), ale také dalších typů materiálů [7], Mn-Zn ferritů, nanokompozit Ag-fulerén, konstrukční senzory na bázi bórem dopovaných diamantových vrstev či mikroskopické studium 3D tištěných a laserově opracovaných materiálů, nanostrukturované kompozitní materiály Ag-TiO₂ pro fotoelektrochemické štěpení vody [8].

V rámci projektu GA ČR Nové metalurgické postupy pro nové „přírodní slitiny“ jsou zkoumány slitiny připravené redukcí konkrétní titanem a hliníkem, čímž vznikají mnohafázové, komplexní slitiny [9]. Pokračovalo se ve vývoji metodiky přípravy lamel pro transmisní elektronovou mikroskopii (TEM) pomocí metod fokusovaného iontového svazku [10] a vývoji programu CrysTBox, který se dařilo úspěšně propagovat a zdvojnásobit jeho uživatelskou komunitu.

LITERATURA

- [1] Z. Weiss, P. Ashcheulov, N. Lambert, A. Taylor, J. Lorincik, K.-D. Sung, M. Davydova, V. Mortet, Analysis of boron- and phosphorus-doped diamond layers by glow discharge optical emission spectroscopy in argon and neon, *Vacuum* 210 (2023) 111890(1)-111890(8). doi.org/10.1016/j.vacuum.2023.111890
- [2] N. Lambert, Z. Weiss, L. Klimša, J. Kopeček, Z. Gedeonová, P. Hubík, V. Mortet, Highly phosphorus-doped polycrystalline diamond growth and properties, *Diam. Relat. Mater.* 125 (2022) 108964(1)-108964(6). doi.org/10.1016/j.diamond.2022.108964
- [3] Z. Weiss, Emission spectrum and the excitation/ionization of nickel in an argon glow discharge, *Spectrochim. Acta Part B* 195 (2022) 106500(1)-106500(4). doi.org/10.1016/j.sab.2022.106500
- [4] Z. Weiss, Comment on „Excitation and ionization processes of chlorine in molybdenum dichloride dioxide flakes using the glow discharge mass spectrometry technique“ by S. Mushtaq, *J. Anal. At. Spectrom.*, 2022, 37, 584, *J. Anal. At. Spectrom.* 37 (2022) 2190–2191. doi.org/10.1039/D2JA00058J
- [5] J. Pinc, J. Kubásek, J. Drahokoupil, J. Čapek, D. Vojtěch, A. Školáková, Microstructural and Mechanical Characterization of Newly Developed Zn-Mg-CaO Composite, *Materials* 15 (2022), 8703; <https://doi.org/10.3390/ma15238703>
- [6] D. Košovský, M. Miglierini, M. Pavúk, K. Sedláčková, T. Kmječ, J. Kopeček: Mössbauer spectrometry of model binary Fe_{100-x}Cr_x (1 ≤ x ≤ 50) alloys, *phys. Stat. Sol. B* 259:(6) (2022)

2100632–1 – 2100632–6. doi.org/10.1002/pssb.202100632

- [7] A. Cannavò, J. Vacik, S. Bakardjieva, J. Kupčík, V. Lavrentiev, G. Ceccio, P. Horak, J. Nemecek, L. Calcagno: Effect of medium energy He⁺, Ne⁺ and Ar⁺ ion irradiation on the Hf-In-C thin film composites, *Thin Solid Films* 743 (2022) 139052. doi.org/10.1016/j.tsf.2021.139052
- [8] S. Bakardjieva, J. Mares, E. Koci, J. Tolasz, R. Fajgar, V. Ryukhtin, M. Klementova, S. Michna, H. Bibova, R. Holmestad, R. Titorenkova, M. Caplovicova: Effect of Multiply Twinned Ag(0) Nanoparticles on Photocatalytic Properties of TiO₂ Nanosheets and TiO₂ Nanostructured Thin Films, *Nanomaterials* 12 (2022) 750. doi.org/10.3390/nano12050750
- [9] P. Novák, D. Benediktová, S. Mestek, A. Tsepeleva, J. Kopeček, Aluminium alloys with natural ratio of alloying elements manufactured by powder metalurgy, *J. Alloys Comp.* 931 (2023) 167440–1 – 167440–10. doi.org/10.1016/j.jallcom.2022.167440
- [10] L. Klimša, J. Duchoň, P. Svora, J. Kopeček: Possible Approaches for Combined Use of Xenon and Gallium Ion Sources for Task Specific Focused Ion Beam Sample Preparation, *Microscopy and Microanalysis* 28 (2022), 26–27. The Official M&M 2022 Proceedings Portland, OR. doi.org/10.1017/S1431927622001015
- [11] H. S. Sen, N. Daghbouj, M. Callisti, M. Vronka, M. Karlík, J. Duchoň, J. Čech, J. Lorinčík, V. Havránek, P. Bábó, T. Polcar: Interface-Driven Strain in Heavy Ion-Irradiated Zr/Nb Nanoscale Metallic Multilayers: Validation of Distortion Modeling via Local Strain Mapping, *ACS Applied Materials and Interfaces* 14 (2022) 12777–12796. doi.org/10.1021/acsami.1c22995



Oddělení funkčních materiálů

Výzkum v oddělení funkčních materiálů je zaměřen na studium fázových transformací a termomechanických vlastností slitin s tvarovou pamětí, přípravu a charakterizaci nanodiamantových vrstev přípravnými metodou CVD, studium struktury a vlastností pokročilých kovových materiálů připravených 3D tiskem a termomechanickým zpracováním a přípravu a přípravu a charakterizaci nových senzorů plynů na bázi spin-crossover komplexů přechodných kovů.

Fázové transformace ve slitinách s tvarovou pamětí

V roce 2022 jsme pokračovali ve výzkumu deformačních mechanismů ve slitině NiTi [1,2]. Hlavním výsledkem je metoda studia vývoje textur v austenitické a martenzitické fázi během tahové deformace tenkých vláken ze slitiny s tvarovou pamětí NiTi pomocí difrakce rentgenového záření na synchrotronu a její použití k objasnění mechanismů plastické deformace této slitiny v širokém rozsahu teplot. Součástí metody je teoretický postup umožňující interpretovat vývoj textury jako důsledek aktivity deformačních a transformačních procesů v deformovaném drátu.

CVD diamantové vrstvy

V rámci výzkumu nanodiamantových vrstev jsme se soustředili na syntézu planárních a porézních diamant-

ových elektrod dopovaných borem (BDD) pro jejich využití v elektrochemickém čištění odpadních vod, kde porézní BDD elektrody prokázaly významné zlepšení rychlosti odstraňování fenolu ze simulovaných odpadních vod [3]. Ve spolupráci s Univerzitou Karlovou v Praze byly vyrobeny a studovány BDD elektrody s leštěným povrchem. Leštěné BDD elektrody vykazovaly rovnoměrné rozložení vodivosti v důsledku hladkého povrchu, rychlejší heterogenní kinetiku přenosu elektronů a vysoké hodnoty kapacity dvojité vrstvy, což celkově zlepšilo elektrochemické a elektroanalytické vlastnosti těchto elektrod, které mohou být potenciálně přínosem pro (bio)senzorové aplikace [4].

Materiály s řízenou mikrostrukturou

V oblasti výzkumu biodegradabilních kovových materiálů na bázi zinku jsme se věnovali především studiu vlivu podmínek extruze na vývoj mikrostruktury a mechanických vlastností slitiny Zn-0,8Mg-0,2Sr (hm. %) vykazující dobrou technologickou zpracovatelnost, vhodné korozní chování i biokompatibilitu [5]. Slitina byla extrudována při teplotách 150, 200 a 300 °C a extruzním poměru 1:11 a 1:25. Nejlepších výsledků bylo dosaženo extruzí při teplotě 200 °C a extruzním poměru 25:1, kdy byla získána plně rekrystalizovaná struktura s průměrnou velikostí zrna cca 2,5 μm. Takto zpracovaná slitina vykazovala mechanické vlastnosti vyhovující základním požadavkům pro biodegradabilní implantáty – kostní i kardiovaskulární.

Experimentálně změřené mechanické vlastnosti byly v dobré shodě s teoreticky vypočtenými vlastnostmi.

Sensory plynů a funkční materiály

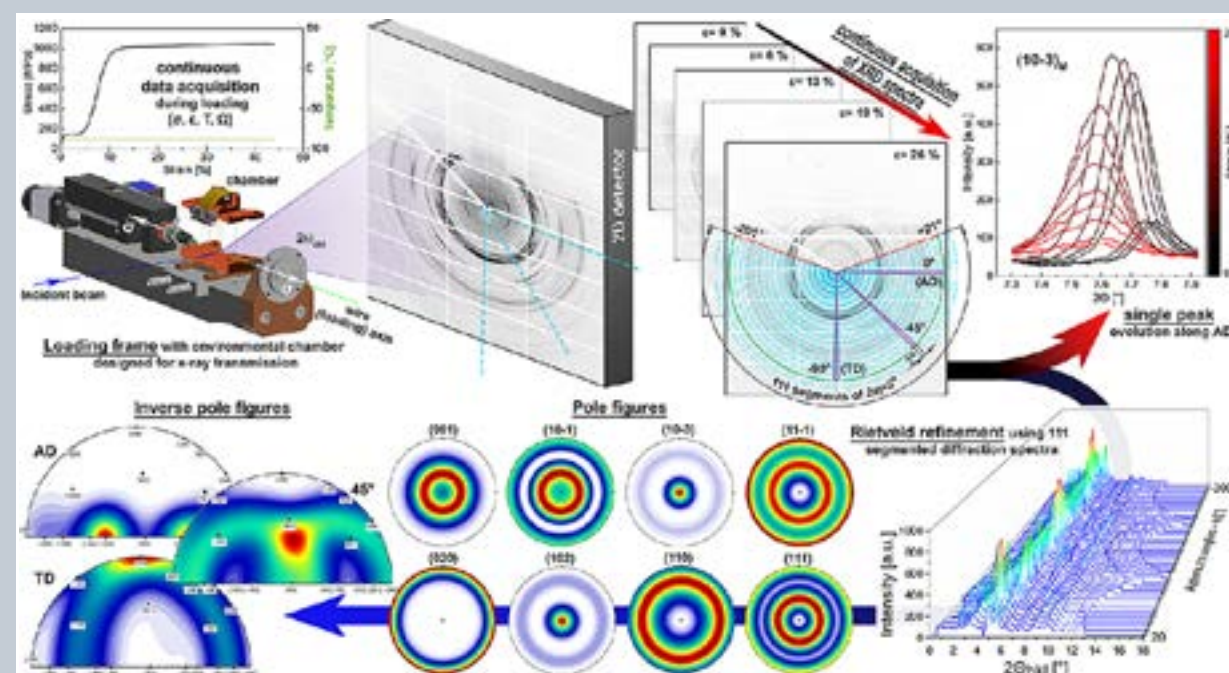
V rámci senzorového výzkumu jsme pokračovali ve výzkumu spin-crossover materiálů a jejich potenciálu v senzorech plynů, konkrétně komplexy obsahujícími Mn^{3+} [1]. Nově jsme se zabývali studiem senzorických vlastností polymerních iontových kapalin založených na kationtu tetraalkylfosfonia a jejich kompozitů s fullerény C_{60} a C_{70} . Odhalili jsme vztah mezi chemickou/fyzikální interakcí analytu s polymerní iontovou kapalinou a změnou její impedance. K tomuto byla využita série experimentů s plynnými organickými analyty obsahujícími specifické funkční skupiny.

LITERATURA

- [1] Bian X, Heller L, Kaderavek L, Sittner P (2022) In-situ synchrotron x-ray diffraction texture analysis of tensile deformation of nanocrystalline NiTi wire in martensite state. *Appl Mater Today* 26 (2022)101378. <https://doi.org/10.1016/j.apmt.2022.101378>
- [2] Bian X, Heller L, Tyc O, Kaderavek L, Sittner P (2022) In-situ synchrotron x-ray diffraction texture analysis of tensile deformation of nanocrystalline superelastic NiTi wire at various temperatures. *Mater Sci Eng A* 853 (2022)143725, <https://doi.org/10.1016/j.msea.2022.143725>
- [3] Petr Ashcheulov, Ondřej Hák, Silvia Sedláková, Andrew Taylor, Simona Baluchová, Karolina Schwarzová-Pecková, Marina Davydova, Jaromír Kopeček, Ladislav Klimša, Martin Vondráček, Jan Honolka, Vincent Mortet, Multifunctional and Mechanically Robust Porous Diamond with Large Electroactive Surfaces via Electrically Conductive and Insulating Templates for 3D Electrode Applications, *Adv. Mater. Interfaces* 9 (2022) 2200375, <https://doi.org/10.1002/admi.202200375>
- [4] M Zelenský, J Fischer, S Baluchová, L Klimša, J Kopeček, M Vondráček, L Fekete, J Eidenschink, F-M Matysik, S Mandal, OA Williams, M Hromadová, V Mortet, K Schwarzová-Pecková, A Taylor, Chem-mechanical polishing influenced morphology, spectral and electrochemical characteristics of boron doped diamond, *Carbon* 203 (2022) 363-376, <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2022.11.069>
- [5] Jiří Kubásek, Jan Pinc, Klára Hosová, Markéta Straková, Orsolya Molnárová, Jan Duchoň, David Nečas, Miroslav Čavojský, Michal Knappek, Matjaž Godec, Irena Paulin, Dalibor Vojtěch, Jaroslav Čapek, The evolution of microstructure and mechanical properties of Zn-0.8Mg-0.2Sr alloy prepared by casting and extrusion, *Journal of Alloys and Compounds*, 906 (2022)164308, <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2022.164308>

- [6] I. A. Vlčková Kühne, A. Ozarowski, A. Sultan, K. Esien, A. B. Carter, P. Wix, A. Casey, M. Heerah-Booluck, T. D. Keene, H. Müller-Bunz, S. Felton, S. Hill, G. G. Morgan, *Homochiral Mn3+ Spin-Crossover Complexes: A Structural and Spectroscopic Study*, *Inorganic Chemistry* 61, (2022) 3458–3471. <https://doi.org/10.1021/acs.inorgchem.1c03379>

Obr. 2.2.4 Schéma metody studia vývoje textury v austenitické a martenzitické fázi in-situ během tahové deformace tenkého drátu ze slitiny s tvarovou pamětí NiTi pomocí difrakce rentgenového záření na synchrotronu v ESRF v Grenoblu [1].



Oddělení teorie kondenzovaných látek

Výzkum v oddělení teorie je zaměřen na kvantově mechanické výpočty vlastností kovů, polovodičů a dalších materiálů. Jedná se o vlastnosti v rovnováze, o jevy vyvolané silnými elektromagnetickými poli nebo o dynamiku daleko od rovnováhy. Jsou zde řešeny samostatné teoretické projekty i projekty ve spolupráci s experimentálními skupinami z FZU i jiných institucí. Jedním z cílů výzkumu je optimalizace nových materiálů a jevů v nich pro použití v různých odvětvích lidské činnosti.

Na jaře 2022 byly v souvislosti s příchodem nové vědecké pracovnice, Dr. Katarzyny Rozsak, výzkumné směry oddělení rozšířeny o témata související s kvantovými počítači, konkrétně o studium kvantových bitů (qbitů) realizovaných v pevných látkách a jejich provázání s okolím. Předpokládá se, že Dr. Rozsak si postupně vybuduje menší skupinu zaměřenou na tuto oblast výzkumu.

V roce 2022 bylo pod vedením Dr. Prokopa Hapaly zahájeno řešení pětiletého projektu GAČR Junior Star, jehož cílem je návrh metod syntézy molekulárních obvodů na površích iontových krystalů s využitím počítačových simulací, při kterých budou uplatněny metody strojového učení. Vedle toho pokračovalo řešení běžících projektů zaměřených na magnetismus uranových sloučenin (ve spolupráci s MFF UK), na modifikaci vlastností vrstevnatých chalkogenidů příměsovými atomy, na magnetické chování nanorozměrných objektů (ve spolupráci s ústavu sítě CNR v Modeně a v Terstu) a na vývoj detektorů specifických látek využívajících polovodičové supermřížky (v rámci evropských projektů Aqua3S a ODYSSEUS).

Mezi výsledky publikované v uplynulém roce patří demonstrace vzájemného ovlivňování mezi elektroновými excitacemi a torzními vibracemi v chirálních molekulách [1] nebo detailní zmapování vlastností magnetických center v organokovových polymerech s využitím modifikovaného hrotu řádkovacího tunelovacího mikroskopu (obrázek) [2]. Obou zmíněných výsledků bylo dosaženo ve spolupráci s oddělením povrchů a molekulárních struktur.

LITERATURA

- [1] J. Doležal, S. Canola, P. Hapala, R. C. de Campos Ferreira, P. Merino, M. Švec, Evidence of exciton-libron coupling in chirally adsorbed single molecules, *Nature Commun.* **13** (2022) 6008. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-33653-7>
- [2] Ch. Wäckerlin, A. Cahlík, J. Goikoetxea, O. Stetsovych, D. Kývala, J. Redondo, M. Švec, B. Delley, M. Ondráček, A. Pinar Solé, M. Blanco-Rey, J. Kolorenč, A. Arnau, P. Jelínek, Role of the magnetic anisotropy in atomic-spin sensing of 1D molecular chains, *ACS Nano* **16** (2022) 16402. <https://doi.org/10.1021/acsnano.2c05609>

Oddělení chemie

Ačkoli chemický výzkum není ve Fyzikálním ústavu hlavním tématem, oddělení chemie je navázáno na projekty z oblasti fyziky pevných látek napříč ústavem. Jednotlivé vědecké skupiny ústavu využívají technologického zázemí a odborných znalostí z jednotlivých chemických disciplín při navrhování i řešení projektů. V oddělení chemie jsou dvě samostatné skupiny, zabývající se přípravou materiálů organických a anorganických, a dále laboratoř analytické chemie, která provádí chemické rozboru materiálů.

Ve Skupině přípravy organických materiálů se zaměřujeme na sloučeniny se samoorganizačními schopnostmi, které nejen reagují na elektrické pole, ale jsou i citlivé na světlo. Výsledné fyzikální vlastnosti těchto nově připravených materiálů lze potom snadno a vrátne modulovat právě jak pomocí světla, tak elektrického pole. Oba tyto vlivy mění vnitřní uspořádání materiálů na molekulární úrovni.

Ve spolupráci s Oddělením dielektrik jsme přispěli přípravou vlastních nových materiálů k výzkumu a vývoji tzv. feroelektrických nematik, které jsou považovány za jeden z největších objevů v celé 150leté historii kapalných krystalů. V rámci mezinárodního konsorcia také intenzivně syntetizujeme a testujeme polární organické ligandy stabilizující suspenze magnetických nanodestiček v organických kapalinách. Ty jsou základním kamenem při vývoji tzv. magneto-elektrické kapaliny, která by umožnila přípravu zcela nových vysoce citlivých senzorů.

V oboru anorganické chemie se zabýváme přípravou nových oxidických a sulfidických materiálů ve formě monokrystalů, prášků nebo keramik. V roce 2022 jsme připravovali Czochralského metodou objemové monokrystalu typu granátů pro studium scintilačních materiálů v rámci FZU v Oddělení optických materiálů, pro studium laserů ve spolupráci s Katedrou fyzikální elektroniky FJFI ČVUT a i v rámci spolupráce s firmou Crytur v Turnově. Monokrystalu ternárních sulfidů, obsahující alkalický kov (A) a kov vzácné zeminy (RE) v maticích ARES_2 , byly pěstovány z A_2S tavenin. V maticích ARES_2 lze snadno dopovat na strukturní pozice RE^{3+} vhodné lanthanoidy, které umožňují využití externícké luminiscence na poli scintilátorů, luminoforů a laserů.

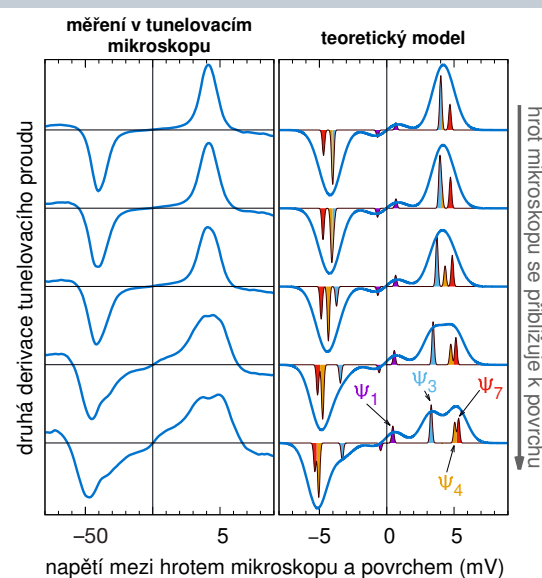
Ve Skupině pěstování krystalů v oddělení chemie byly připraveny za vysokých teplot v grafitových lodičkách pod průtokem sirovodíku i vybrané binární sulfidy kovů vzácných zemin v práškové formě. Byly připravovány čisté i vhodnými lanthanoidy dopované RE_2S_3 prášky, ze kterých byly v Oddělení optických materiálů pěstovány metodou micro-pulling-down velkoobjemové monokrystalu dopovaných sulfidů kovů vzácných zemin, které mají veliký aplikační potenciál na poli scintilátorů a laserů. Příprava multikomponentních oxidů ve formě prášků a keramik cílila jak na základní výzkum, tak na aplikace na poli luminoforů a scintilátorů. Proběhly pokusy o stabilizaci různých nábojových stavů dopovaných lanthanoidů, které vykazují v oxidech především oba valenční stavy ($3+$ a $4+$), je-

jichž poměr lze určit metodou elektronové paramagnetické resonance.

Laboratoř analytické chemie provádí měření pro Skupinu přípravy organických materiálů v oblasti stanovení čistoty nově syntetizovaných kapalně krystalických materiálů pomocí vysokoúčinné kapalinové chromatografie. Stopové nečistoty se daří z materiálů odstraňovat pomocí preparativní vysokotlaké chromatografie.

Další oblastí výzkumného zájmu je vývoj a optimalizace separačních metod enantioselektivní chromatografie pro chirální kapalně krystalické materiály a také studium fotosenzitivních kapalně krystalických materiálů odvozených od azobenzenu nebo kyseliny skořicové. K potvrzování chemických struktur a k charakterizaci nových materiálů se provádí měření pomocí NMR a UV-VIS spektrometrie a měření optické otáčivosti u nových opticky aktivních látek. V rámci skupiny kapalných krystalů se zabýváme přípravou přesně definovaných směsí kapalných krystalů s nanočásticemi a směsí kapalných krystalů s chirálními dopanty s cílem připravit materiál s co nejvhodnějšími cílovými vlastnostmi.

V oblasti anorganické analýzy Laboratoř analytické chemie určuje obsahy různých kovových prvků pomocí atomové absorpční spektrometrie. Touto metodou jsme analyzovali vzorky kovových prášků pro Centrum aplikovaného výzkumu a vývoje MATCA a také určovali obsahy mědi a manganu jako nečistot ve slitinách s různým složením pro Skupinu materiálů s řízenou mikrostrukturou. Pro tuto skupinu jsme také vyvinuli metodu rozboru vzorků vody, ve kterých se kromě obsahu stopových množství kovů zjišťovaly další charakteristiky jako vodivost a obsah vybraných aniontů. Metoda atomové absorpční analýzy byla také použita i v případě přípravných experimentů pro stanovení nízkých koncentrací železa v rámci výzkumu implantátů na bázi hořčíku. Pro oddělení magnetických měření a materiálů se zabýváme nejvhodnějšími postupy pro odleptávání mědi a stříbra z povrchu supravodičů.



Obr. 2.2.5 Spektroskopické měření v řádkovacím tunelovacím mikroskopu s modifikovaným hrotem. Vlevo: schéma experimentu – na hrotu mikroskopu je umístěn spin se známými vlastnostmi, na povrchu je adsorbován neznámý spin. Uprostřed: změřený tunelovací proud pro různé vzdálenosti a různá napětí mezi hrotem a povrchem. Vpravo: výsledek teoretického modelu popisujícího neelastické tunelování skrz dva interagující spiny (čím blíže jsou, tím více interagují). Porovnáním teorie a experimentu je možné určit energie jednotlivých stavů (Ψ) systému dvou vázaných spinů, a odtud poté i vlastnosti původně neznámého spinu.

2.3 Sekce fyziky pevných látek



„Přelomový objev ve fyzice, kde jsme prokázali existenci třetí základní magnetické fáze, tzv. altermagnetů, pro mne znamená velkou naději do budoucna. Na tomto objevu je založen připravovaný projekt OP JAK integrující klíčová pracoviště s potenciálem dosáhnout významného průlomu ve spintronice.“

RNDr. Michal Dušek, CSc.

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. Našími tématy jsou spintronika s dlouhodobým cílem vylepšení výkonu počítačů, nanoelektronika, molekulární elektronika a nanodiagnostika. Dále se věnujeme výzkumu termoelektrických jevů, vývoji detektorů založených na scintilačních a fosforových materiálech, a zlepšování technologií růstu dokonalých křemíkových a diamantových vrstev. Vyvíjíme také metody strukturní analýzy.

V roce 2022 jsme v oblasti spintroniky navázali na předchozí teoretické předpovědi a provedli první experimentální ověření existence třetí základní magnetické fáze, tzv. altermagnetů. Konkrétně jsme v altermagnetických vzorcích naměřili anomální Hallův jev srovnatelné velikosti jako v běžných feromagnetech. Přitom zároveň nebyla detekována měřitelná magnetizace vzorků, což potvrzuje očekávané výjimečné chování altermagnetů.

Dále se nám podařilo posunout možnosti optické spektroskopie kombinované s rastrovací mikroskopií na jednotlivých molekulách. Jmenovitě jsme provedli podrobnou analýzu vazby mezi kvantovanými vibračními módy (librony) a nabitými excitovanými stavy (triony) na jednotlivých ftalocyaninových barvivech adsorbovaných na povrchu pevné látky.

V oblasti výzkumu luminiscence jsme studovali scintilační a luminiscenční vlastnosti jak objemových, tak i nanomorfologických materiálů. V prvním případě to byly monokrystaly na bázi LaAlO_3 perovskitu dopovaného cerem, kde jsme vysvětlili mechanismus a kontroverzní výsledky v literatuře, ve druhém pak erbiem dopované ZnO , kde jsme v luminiscenci prokázali tzv. upkonverzní proces.

V oblasti výzkumu tenkých vrstev jsme zahájili práci na evropském projektu Pilatus směřujícím k obnově výroby fotovoltaiky v Evropě a při výzkumu nanostruktur pro ukládání energie jsme vyvinuli nové nanostruktury pro baterie, včetně grafenové nanopěny.

Ve spolupráci s partnerskými institucemi v oblasti biologie a lékařských věd se podařilo zesílit dozrávání lidských osteoblastů in vitro a tvorbu nové kostní tkáně in vivo v okolí implantátu kortikálního vrutu pomocí depozice nanokrystalických diamantových (NCD) vrstev a jejich povrchové funkcionalizace, což nabízí široké využití v klasické i dentální chirurgii.

Výzkum magnetických materiálů vyústil v syntézu a charakterizaci komplexních nanočástic, které díky speciálním magnetickým jádrům, zlatým obalům a organické funkcionalizaci povrchu vykazují současně vynikající kontrastní vlastnosti pro MRI, silný fotoakustický signál, a navíc jejich fluorescence dovoluje lokální měření pH. Vývoj metod strukturní analýzy pokračoval formulací a naprogramováním nových ko-



rekčních metod zpřesňujících výsledky elektronové difrakční tomografie až do schopnosti rozpoznat částečně obsazený atom vodíku.

V roce 2022 jsme zahájili práci na prestižním evropském projektu Pilatus, projektu Lumina (dr. Krieger) a projektu Junior Star (dr. Reichlová).

- [4] B. Lowe, J. Hellerstedt, A. Matěj, P. Mutombo, D. Kumar, M. Ondráček, P. Jelínek, A. Schiffrin, Selective Activation of Aromatic C–H Bonds Catalyzed by Single Gold Atoms at Room Temperature. *Journal of the American Chemical Society* **144** (2022) 21389–21397. <https://doi.org/10.1021/jacs.2c10154>
- [5] J. I. Mendieta-Moreno, B. Mallada, B. de la Torre, T. Cadart, M. Kotora, P. Jelinek, Unusual Scaffold Rearrangement in Polyaromatic Hydrocarbons Driven by Concerted Action of Single Gold Atoms on a Gold Surface. *Angewandte Chemie International Edition* **61** (2022) e202208010. <https://doi.org/10.1002/anie.202208010>
- [6] Ch. Wäckerlin, A. Cahlik, J. Goikoetxea, O. Stetsovych, D. Medvedeva, J. Redondo, M. Švec, B. Delley, M. Ondráček, A. Pinar,

M. Blanco-Rey, J. Kolorenč, A. Arnau, P. Jelínek, Role of the Magnetic Anisotropy in Atomic-Spin Sensing of 1D Molecular Chains. *ACS Nano* **16** (2022) 16402–16413. <https://doi.org/10.1021/acsnano.2c05609>

- [7] M. Telychko, Sh. Edalatmanesh, K. Leng, I. Abdelwahab, N. Guo, Ch. Zhang, J.I. Mendieta-Moreno, M. Nachtigall, J. Li, K.P. Loh, P. Jelínek, J. Lu, Sub-angstrom noninvasive imaging of atomic arrangement in 2D hybrid perovskites. *Science Advances* **8** (2022) eabj0395. <https://doi.org/10.1126/sciadv.abj0395>

Oddělení povrchů a molekulárních struktur

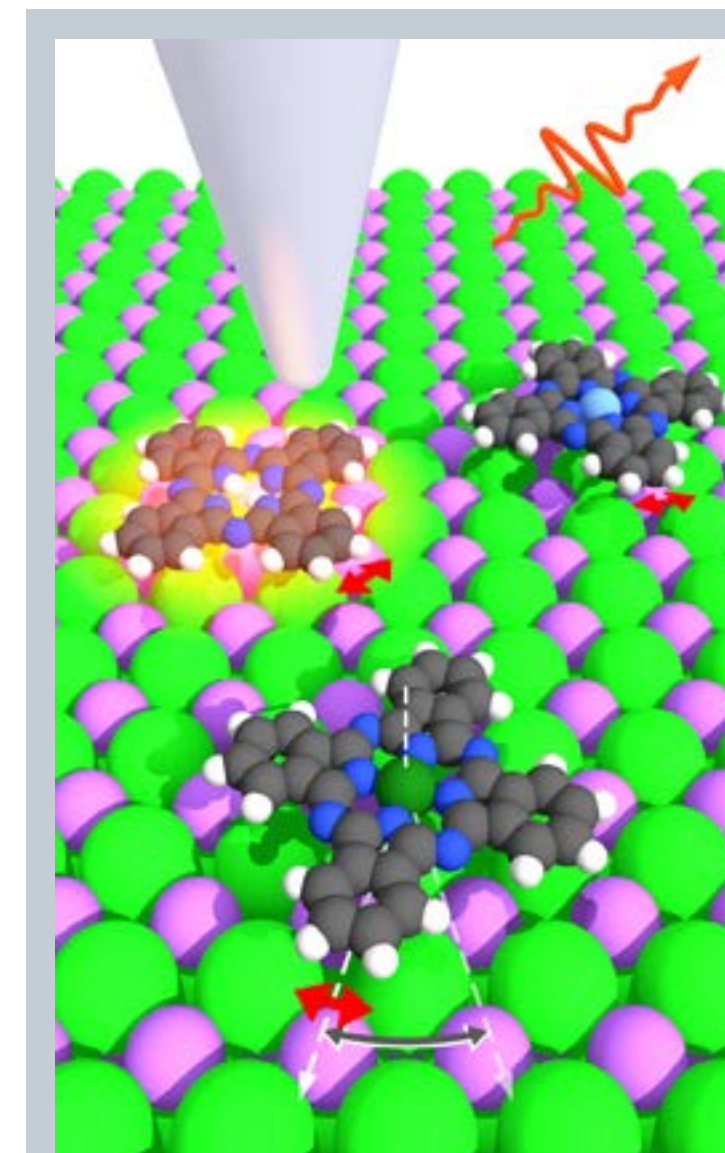
Skupina SPLM věnovala své úsilí zlepšení schopnosti provádět optické spektroskopie s vylepšenými hroty na jednotlivých molekulách v přístroji UHV SPM a překonala některé zásadní vývojové milníky; např. začala provádět fotoluminiscenci a Ramanovu spektroskopii. Skupina vytvořila jeden pozoruhodný výsledek, kterým je podrobná analýza vazby mezi kvantovanými libračními módy (librony) a nabitými excitovanými stavy (triony) na jednotlivých ftalocyaninových barvivech adsorbovaných na povrchu [1]. Ve spektrech chirálně adsorbovaných ftalocyaninů byly identifikovány neviditelné libronické signatury v energetickém rozsahu μeV . Experimentálně naměřená libronová spektra se velmi dobře shodují s teoreticky vypočtenými vlastními energiemi libronů a maximálními intenzitami (Franck-Condonovy faktory). Naše výsledky ukazují možnost charakterizace dynamiky molekul pomocí jejich nízkoenergetických molekulárních módů pomocí μeV -rozlišené hrotové spektroskopie.

Skupina Molecular Transport pracovala na teoretickém modelování elektronických a vodivých vlastností molekul na površích a rozhraních. V roce 2022 skupina demonstrovala novou metodu pro výpočet vodivosti jedné molekuly pomocí DFT metody, která je $\sim 400\times$ rychlejší než standardní formalismus, aniž by se uchýlila ke zjednodušeným úrovním teorie, jako je Hückelova aproximace [2]. Ve spojení s molekulárními simulacemi bylo možné vypočítat vodivost pro desítky tisíc geometrií molekulárních kontaktů na úrovni DFT. Tento nový přístup odstraňuje dlouhotrvající problém výpočtů založených na DFT. Vytvořené velké soubory dat umožňují výpočet kvantitativních vztahů mezi strukturou a vodivostí.

Laboratoř Nanosurf demonstrovala přípravu řady nových typů chemických sloučenin pomocí syntézy na površích pevných látek, které není možné připravit pomocí tradičních metod organické syntézy v roztocích [3–5]. Chemické složení produktů bylo analyzováno pomocí rastrovací mikroskopie. Zároveň jsme provedli kvantově mechanické výpočty, které identifikovaly reakční mechanismy umožňující syntézu nových látek. Dále jsme představili dvě nové metody posouvající možnosti prostorového rozlišení rastrovací mikroskopie. Jmenovitě jsme prokázali novou metodou umožňující detekovat spinové stavy na atomární úrovni [6] a také možnost atomárního rozlišení doménových hran v perovskitech a rozložení náboje na těchto hranách [7].

LITERATURA

- [1] J. Doležal, S. Canola, P. Hapala, R. C. de Campos Ferreira, P. Merino, M. Švec, Evidence of exciton-libron coupling in chirally adsorbed single molecules. *Nat Commun* **13**, 6008 (2022). <https://doi.org/10.1038/s41467-022-33653-7>
- [2] H. Vázquez, Toward Density-Functional Theory-Based Structure–Conductance Relationships in Single Molecule Junctions, *J. Phys. Chem. Lett.* **13** 9326 (2022). <https://doi.org/10.1021/acs.jpcclett.2c02349>
- [3] X. Liu, A. Matej, T. Kratky, J.I. Mendieta-Moreno, S. Günther, P. Mutombo, S. Decurtins, U. Aschauer, J. Repp, P. Jelinek, Sh. Liu, L.L. Patera, Exploiting Cooperative Catalysis for the On-surface Synthesis of Linear Heteroaromatic Polymers via Selective C-H Activation. *Angewandte Chemie International Edition* **61** (2022) e20211279. <https://doi.org/10.1002/anie.202112798>



Obr. 2.3.1 Schematický obrázek znázorňující měření elektroluminiscence z jedné molekuly pomocí rastrovací hrotové mikropsie.



Oddělení polovodičů

V roce 2022 došlo ke sloučení výzkumných skupin zabývajících se polovodiči se širokým zakázaným pásem, zejména nitridových polovodičů a materiálů na bázi uhlíku, především diamantu. Postupně dochází k synergickému prolínání aktivit devíti pracovních skupin nebo laboratoří v rámci řešení projektových úkolů základního a aplikovaného výzkumu. Oddělení poskytuje experimentální zázemí infrastruktury dalším vědeckým pracovištím v rámci projektu LNSM.

Během roku byla přebudována laboratoř organokovové epitaxe pro přípravu **nitridových polovodičů**. Byl spojen prostor dvou laboratoří, vybudovány čisté prostory s novou úspornější a dokonalejší vzduchotechnikou splňující normu ISO8 a pořízena novější technologická aparatura pro přípravu nitridových polovodičů nahrazující starou technologii pro přípravu arsenidových a antimonidových heterostruktur. Přestože byla omezena příprava nových nitridových heterostruktur z důvodu rekonstrukce, výzkum a práce na projektech pokračovaly na dříve připravených vzorcích, a to ve třech hlavních oblastech: i) vývoj rychlých scintilátorů, ii) vývoj tranzistorových struktur pro vysokofrekvenční a vysokovýkonové aplikace [1], iii) studium tvorby vakancí a jejich komplexů v nitridových vrstvách [2].

Výsledky výzkumu **na bázi uhlíku** lze shrnout do následujících oblastí: i) technologie přípravy diamantových vrstev, heterostruktur a studia jevů na jejich rozhraních [3], ii) příprava a modifikace diamantových nanočástic a nanostruktur [4], iii) zkoumání

fyzikálních efektů pramenících z plazmatických modifikací pevných látek, iv) studium dějů probíhajících na rozhraní pevná látka a bioprostředí [5–6] a v) analyticko-charakterizační aktivity [7].

Výzkum v Oddělení polovodičů je často multidisciplinární a vyžaduje spolupráci s týmy z jiných vědních oblastí. Některá témata byla řešena v úzké spolupráci s odděleními 26 a 27 Fyzikálního ústavu AV ČR, na většině témat a projektů spolupracujeme s externími pracovišti (IMO-IMEC Hasselt (Belgie), ISAS TU Wien (Rakousko), Unipress PAN (Varšava), FEI STU a centrum pro diagnostiku (Bratislava), Matematicko-fyzikální fakulta UK, Středoevropský technologický institut (CEITEC, Brno), Vysoké učení technické v Brně, Přírodovědecká fakulta UK, Fakulta elektrotechnická ČVUT v Praze, Fyziologický institut AV ČR, Ústav organické chemie a biochemie AV ČR, a další pracoviště). Výsledky získané v rámci řešení uvedených tématik byly publikovány ve 38 odborných publikacích v impaktovaných časopisech.

Důležitý směr výzkumu v oddělení polovodičů je výzkum aplikovaný. V závěrečné fázi je vývoj scintilačních detektorů pro elektronovou mikroskopii, kde je v současné době vedeno jednání o výrobě a transfer technologie ve spolupráci s českou firmou Crytur s.r.o. a s firmou ams OSRAM.

Jedním z nejzajímavějších aplikačních výsledků je studie vytvořená ve spolupráci s partnerskými institucemi v oblasti biologie a lékařských věd prezentující úspěšnou depozici nanokrystalických diamantových (NCD) vrstev na implantát kortikálního vrutu a vliv povrchové funkcionalizace NCD vrstvy na dozrávání

lidských osteoblastů a mineralizaci extracelulární matrix *in vitro* a na tvorbu nové kostní tkáně *in vivo* [6] (obr. 2.3.2). Výsledek slibuje široké využití v klasické i dentální chirurgii.

LITERATURA

- [1] J. Stránská Matějová, A. Hospodková, T. Košutová, T. Hubáček, M. Hývl, V. Holý, V-pits formation in InGaN/GaN: influence of threading dislocations and indium content. *J. Phys. D-Appl. Phys.* **55** (2022) 255101. <https://doi.org/10.1088/1361-6463/ac5c1a>.
- [2] A. Hospodková, J. Čížek, F. Hájek, T. Hubáček, J. Pangráč, F. Dominec, K. Kuldová, J. Batysta, M.O. Liedke, E. Hirschmann, M. Butterling, A. Wagner, Relation between Ga Vacancies, Photoluminescence, and Growth Conditions of MOVPE-Prepared GaN Layers. *Materials* **15** (2022) 6916. <https://doi.org/10.3390/ma15196916>
- [3] M. Marton, M. Vojs, P. Michniak, M. Behúl, V. Rehacek, M. Pífkó, Š. Stehlík, A. Kromka, New chemical pathway for large-area deposition of doped diamond films by linear antenna microwave plasma chemical vapor deposition. *Diamond & Related Materials* **126** (2022) 109111. <https://doi.org/10.1016/j.diamond.2022.109111>
- [4] J. Mikesova, D. Miliaieva, P. Stenclova, M. Kindermann, T. Vuckova, M. Madlikova, M. Fabry, V. Veverka, J. Schimer, P. Krejci, S. Stehlik, P. Cigler, Nanodiamonds as traps for fibroblast growth factors: Parameters influencing the interaction. *Carbon* **195** (2022) 372–386. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2022.04.017>
- [5] V. Procházka, P. Kulha, T. Izsák, E. Ukraintsev, M. Varga, V. Jirásek, A. Kromka, Detection of globular and fibrillar proteins by quartz crystal microbalance sensor coated with a functionalized diamond thin film. *Applied Surface Science* **589** (2022) 153017. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2022.153017>
- [6] I. Nemcakova, A. Litvinec, V. Mandys, S. Potocky, M. Plencner, M. Doubkova, O. Nanka, V. Olejnickova, B. Sankova, M. Bartos, E. Ukraintsev, O. Babčenko, L. Bacakova, A. Kromka, B. Rezek, D. Sedmera, Coating Ti6Al4V implants with nanocrystalline diamond functionalized with BMP7 promotes extracellular matrix mineralization in vitro and faster osseointegration in vivo. *Sci. Rep.* **12** (2022) 5264. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-09183-z>
- [7] E. Ukraintsev, V. Houska, B. Rezek, Small angle symmetry splitting of helicene-based molecular wires on pyrolytic graphite. *Carbon* **193** (2022) 171–181. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2022.03.013>

Oddělení spintroniky a nanoelektroniky

Oddělení spintroniky a nanoelektroniky je světově uznávané ve výzkumu feromagnetických polovodičů, relativistických jevů transportu včetně anomálních a spinových Hallových jevů, lineární a nelineární magnetorezistence a elektrického a ultrarychlého terahertzového a optického přepínání feromagnetů a antiferomagnetů. V nedávné době byl výzkum zásadně rozšířen o nový základní typ magneticky uspořádaných látek – tzv. altermagnetů, které byly oddělením identifikovány a popsány.

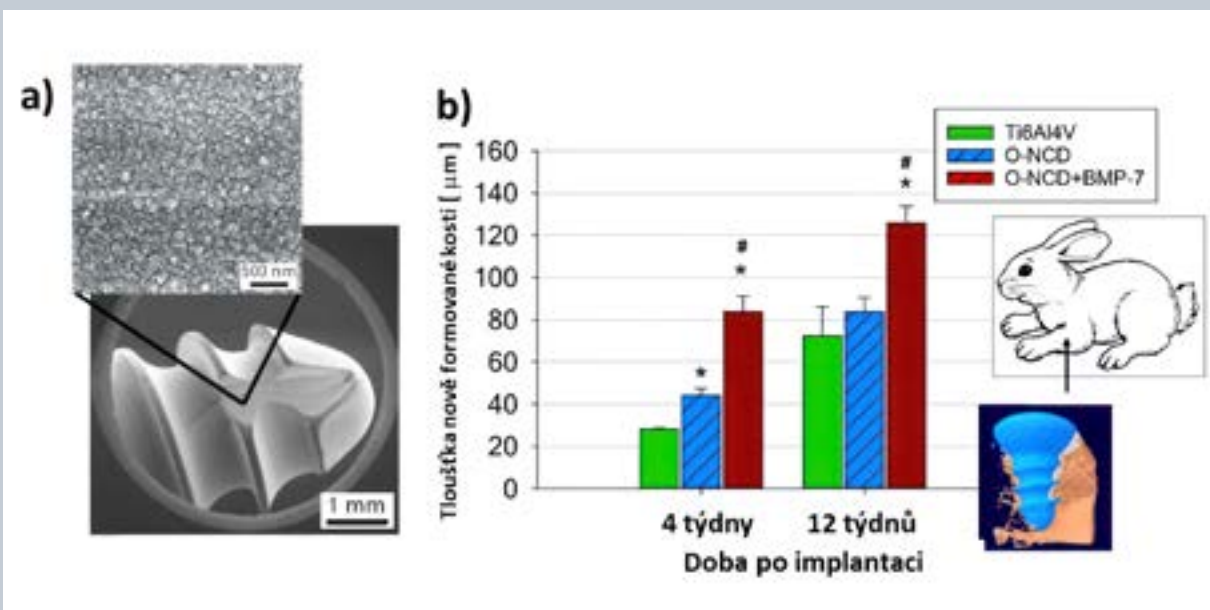
Oddělení pokrývá výzkum od formulace teoretických základů přes přípravu a charakterizaci materiálů ve formě epitaxních tenkých vrstev, až po konstrukci konkrétních experimentálních spintronických součástek. Takto široký a ucelený soubor výzkumných činností v rámci jedné kompaktní vědecké skupiny je ojedinělý i ve světovém měřítku. Kromě základních fyzikálních objevů je výzkum antiferomagnetů a altermagnetů v oddělení motivován dlouhodobou vizí orientovanou na vývoj nových digitálních a neuromorfních informačních technologií s ultravysokou kapacitou, rychlostí a energetickou účinností, které ne-

jsou dosažitelné v rámci zavedených polovodičových a feromagnetických technologií.

Z řady výsledků dosažených v roce 2022 si přiblížíme pozorování magnetického uspořádání a doménových stěn v antiferomagnetu na atomární úrovni [1] a soubor prací popisujících identifikaci a fenomenologii altermagnetů [2–6] (obr. 2.3.3). Pomocí nejpokročilejší elektronové mikroskopie jsme objevili, že periodické uspořádání atomárních magnetických polí se ve sledovaném antiferomagnetu prudce mění. Zatímco v běžných feromagnetických materiálech je taková změna pozvolná a zahrnuje několik stovek až tisíc atomů, v tomto případě se jedná o náhlou změnu z atomu na sousední atom, tedy o atomárně ostré antiferomagnetické doménové stěny. Jejich existence přináší novou perspektivu pro porozumění základních jevů v magnetických materiálech a mikroskopických mechanismů stojících za fungováním ultrarychlých neuromorfních součástek zhotovených z antiferomagnetů [1].

Hallův jev, při kterém se proud stáčí kolmo k přiloženému elektrickému napětí, hraje prominentní roli v historii fyziky pevných látek. Náš objev, že Hallův jev může nastat v nepřítomnosti vnějšího magnetického pole v materiálech s antiparalelním uspořádáním vzá-

Obr. 2.3.2 a) Povrchová morfologie kortikálních vrutů pokrytých nanokrystalickým diamantem podél závitů. b) Schematické zobrazení místa implantace vrutu a kvantifikace nově vytvořené kosti ve střední části implantátu 4 a 12 týdnů po implantaci pro kontrolní vzorek (Ti6Al4V), kyslíkem terminovaný povrch NCD vrstvy (O-NCD), kyslíkem terminovaný povrch NCD s funkcionalizací molekulou BMP-7 (O-NCD + BMP-7) [6].



jemně se kompenzujících atomárních magnetických momentů, je v rozporu se základním chápáním tohoto sto let starého jevu a otevřel cestu k naší identifikaci nové elementární magnetické fáze nazvané altermagnetismus. První experimentální pozorování a řadu teoretických předpovědí dalekosáhlých důsledků objevu altermagnetismu ve fyzice pevných látek a nanoelektronice jsme shrnuli v sérii původních a přehledových prací [2–6].

Výzkum byl financován mimo jiné mezinárodním grantem Horizon 2020 koordinovaným oddělením, bilaterálními granty s Německem a národními granty EXPRO GAČR nebo granty z programu na podporu velkých infrastruktur MŠMT. Práce vznikly ve spolupráci s řadou laboratoří v České republice, Evropě, Spojených státech a Japonsku.

LITERATURA

[1] F. Křížek, S. Reimers, Z. Kašpar, A. Marmodoro, J. Michalička, O. Man, A. Edstrom, O. J. Amin, K. W. Edmonds, R. P. Champion, F. Maccherozzi, S. S. Dnes, J. Zubáč, J. Železný, K. Výborný, K. Olejník, V. Novák, J. Rusz, J. C. Idrobo, P. Wadley, T. Jungwirth, Atomically sharp domain walls in an antiferromagnet. *Science Advances* 8 (2022) <https://www.doi.org/10.1126/sciadv.abn3535>

[2] Z. Feng, X. Zhou, L. Šmejkal, L. Wu, Z. Zhu, H. Guo, R. González-Hernández, X. Wang, H. Yan, P. Qin, X. Zhang, H. Wu, H. Chen, Ch. Jiang, J. Sinova, T. Jungwirth, Z. Liu, An anomalous Hall effect in altermagnetic

ruthenium dioxide. *Nature Electronics* 5 (2022) 735–743. <https://www.doi.org/10.1038/s41928-022-00866-z>

[3] L. Šmejkal, A. H. MacDonald, J. Sinova, S. Nakatsuji, T. Jungwirth, Anomalous Hall antiferromagnets. *Nature Reviews Materials* 7 (2022) 482–496. <https://www.doi.org/10.1038/s41578-022-00430-3>

[4] L. Šmejkal, A. Birk Hellenes, R. González-Hernández, J. Sinova, T. Jungwirth, Giant and Tunneling Magnetoresistance in Unconventional Collinear Antiferromagnets with Nonrelativistic Spin-Momentum Coupling. *Physical Review X* 12 (2022) 011028. <https://www.doi.org/10.1103/PhysRevX.12.011028>

[5] L. Šmejkal, J. Sinova, T. Jungwirth, Beyond Conventional Ferromagnetism and Antiferromagnetism: A Phase with Nonrelativistic Spin and Crystal Rotation Symmetry. *Physical Review X* 12 (2022) 031042. <https://www.doi.org/10.1103/PhysRevX.12.031042>

[6] L. Šmejkal, J. Sinova, T. Jungwirth, Emerging Research Landscape of Altermagnetism. *Physical Review X* 12 (2022) 040501. <https://www.doi.org/10.1103/PhysRevX.12.040501>

Oddělení strukturní analýzy

Oddělení strukturní analýzy je světově uznávané v oborech výpočtů modulovaných a magnetických struktur, vývoje metod analýzy nanokrystalů pomocí elektronové difrakce a v mineralogické krystalografii.

V oblasti elektronové difrakce jsme se věnovali zdokonalování dříve vyvinutých metod. Stanovení strukturního modelu z dat 3D elektronové difrakce (3D ED) naměřených v transmisním elektronovém mikroskopu je ztíženo zkreslením difrakčních obrazců optickými prvky mikroskopu. Tato zkreslení ovlivňují geometrii difrakčních obrazců, parametry mřížky a intenzity integrované z experimentálních dat. Kompenzace těchto deformací vede k přesnějším strukturním modelům získaným z 3D ED. Nově vyvinuté kompenzační metody jsme publikovali v práci [1] a pokrok v přesnosti výsledků po jejich nasazení ilustruje obrázek 2.3.4.

Veškeré strukturní modely počítáme programem Jana2020 [2] vyvinutým v loňském roce. Nejzajímavější řešenou strukturou byla sloučenina BaFe₂Se₃, která vykazuje magnetoelektrické vlastnosti. V článku [3] se podařilo vyřešit antiferomagnetickou magnetickou strukturu s propagačním vektorem $k = (\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, \frac{1}{2})$, kde magnetické momenty atomu železa jsou nakloněny v rovinách (a, c) a (b, c), což bylo také prokázáno difrakcí polarizovaných neutronů. Výsledky poskytují klíčové informace o magnetismu, jehož fluktuace může být původcem tlakově indukované supravodivosti.

Ve spolupráci s oddělením materiálové chemie ÚACH jsme řešili struktury nových isoretikulárních organokovových sítí s označením ICR-X. Jsou tvořeny atomy železa oktaedricky koordinovanými kyslíky a propojenými tzv. linkery, což jsou organické látky o různých vlastnostech. Dohromady tak vytváří systém 1D pórů uspořádaných podobně jako včelí plástve. Velikost pórů a jeho specifčnost na sorpci určitých látek

nebo jeho katalytický potenciál lze měnit použitím různého typu organického linkeru. V roce 2022 tato spolupráce vyústila v publikaci [4] dalších nových látek ICR-12 a ICR-13.

Pozoruhodným výsledkem skupiny mineralogické krystalografie v roce 2022 bylo vyřešení krystalové struktury nového minerálu gungeritu, TlAs₅Sb₄S₁₃ [5]. Struktura tohoto komplexního sulfo-arsenid-antimonidu thallia je inherentně zdvojitá díky tzv. metrické meroedrii – struktura simuluje vyšší symetrii, než má. Struktura byla úspěšně zpřesněna díky novým možnostem programu Jana2020. Struktura je zvláštní tím, že se pohybuje na pomezí struktur klasických sulfosolů s přítomností vazeb kov-kov, a struktur molekulárních s vazbami van der Waalsovými.

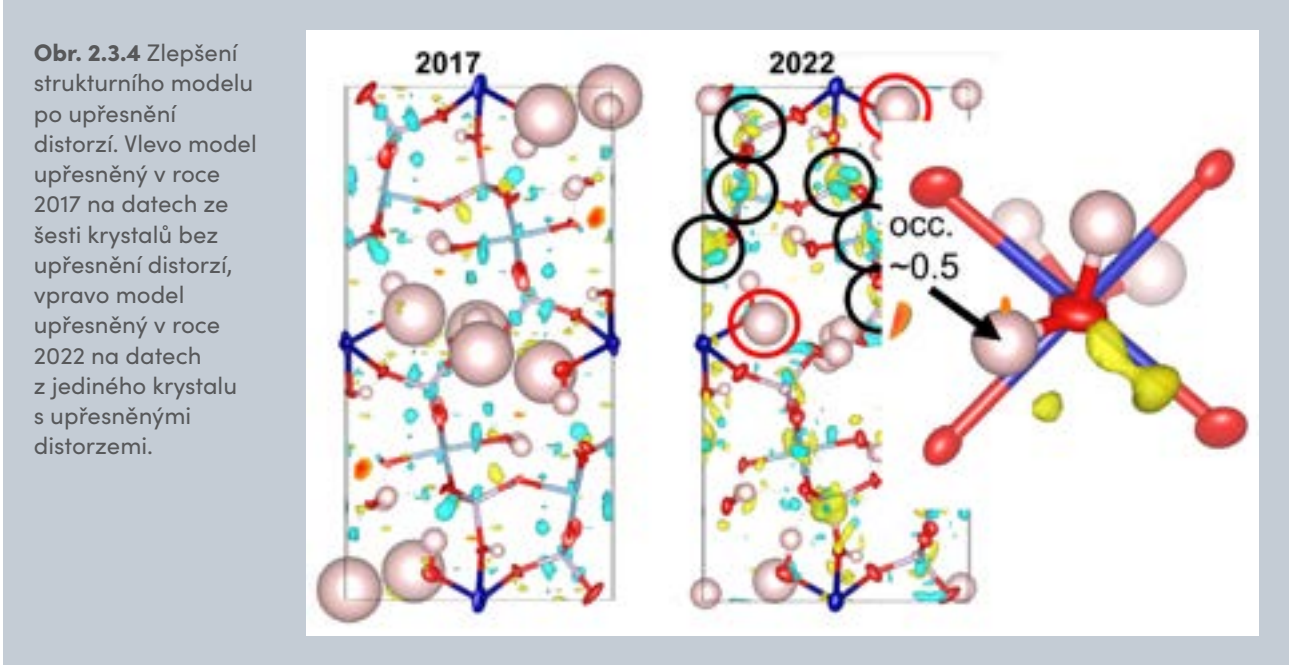
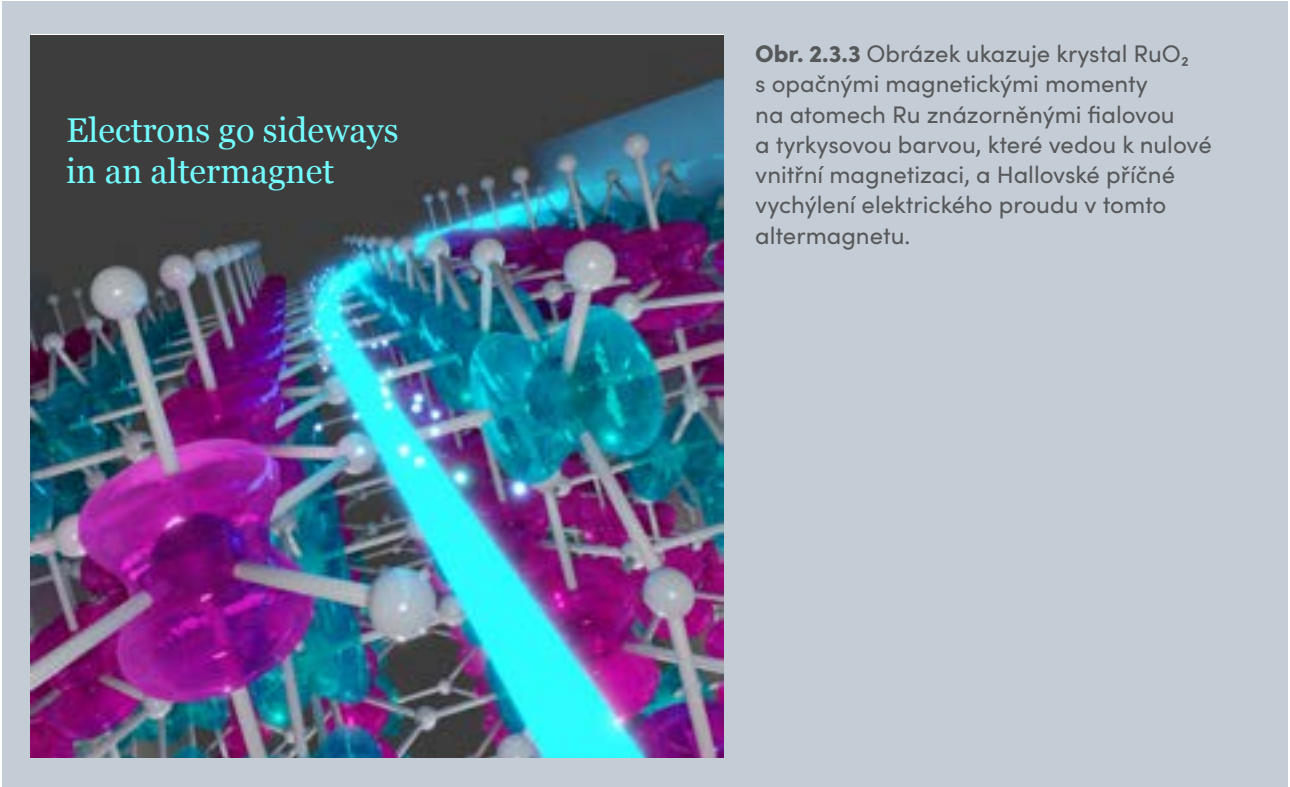
V roce 2022 dále pokračoval rozvoj metod matematické krystalografie a teoretická studia magnetických systémů v elektrických a elektromagnetických polích. Získali jsme dva nové projekty GA ČR a pokračujeme v řešení běžícího projektu EXPRO.

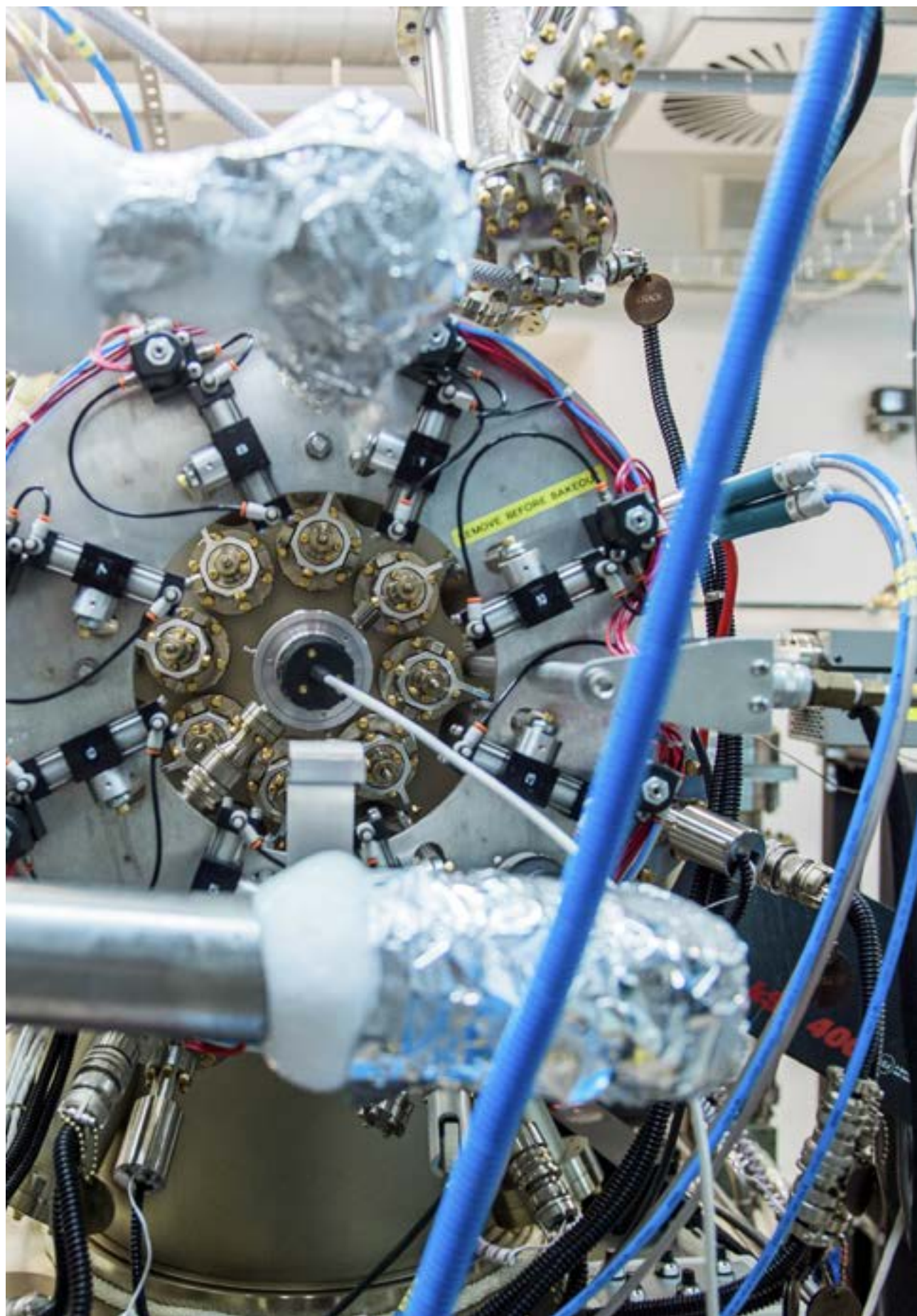
LITERATURA

[1] P. Brázda, M. Klementová, Y. Krysiak and L. Palatinus, Accurate lattice parameters from 3D electron diffraction data. I. Optical distortions, *IUCrJ* 9 (2022) 735–755. <https://doi.org/10.1107/S2052252522007904>

[2] V. Petříček, L. Palatinus, J. Plášil, M. Dušek, Jana2020 – a new version of the crystallographic computing system Jana, *Zeitschrift für Kristallographie*, accepted, <https://doi.org/10.1515/zkri-2023-0005>

[3] W.G. Zheng, V. Balédent, E. Ressouche, V. Petříček, D. Bounoua, P. Bourges, Y. Sidis, A. Forget, D. Colson & P. Foury-Leylekian, Chiral magnetic structure of spin-ladder





multiferroic BaFe_2Se_3 . *Phys. Rev. B* **106** (2022) 134429. <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.106.134429>

- [4] S. Ondrušová, M. Kloda, J. Rohlíček, M. Taddei, J.K. Zareba & J. Demel, Exploring the Isorecticular Continuum between Phosphonate- and Phosphinate-Based Metal–Organic Frameworks. *Inorg. Chem.* **61** (2022) 18990–18997. <https://doi.org/10.1021/acs.inorgchem.2c03271>
- [5] A.V. Kasatkin, J. Plášil, E. Makovicky, N.V. Chukanov, R. Škoda, A.A. Agakhanov, M.V. Tsyganko, Gungerite, $\text{TlAs}_5\text{Sb}_4\text{S}_{13}$, a new thallium sulfosalt with a complex structure containing covalent As–As bonds. *American Mineralogist* **107** (6) (2022) 1164–1173. <https://doi.org/10.2138/am-2022-8003>

Oddělení magnetik a supravodičů

Magnetismus a magnetické interakce jsou společným jmenovatelem našeho výzkumu materiálů a látek, u kterých je pochopení jejich vlastností zásadně propojeno s jejich magnetickými vlastnostmi. Do portfolia studovaných sloučenin, které zahrnují nanočástice, tenké vrstvy i objemovou keramiku se novodobě začlenila tematika **2D magnetických materiálů**. Zde se zabýváme studiem vlastností van der Waalsovsky vázaných 2D struktur, zejména skupinou trihalidů 3d kovů (VI_3 , CrI_3 ,...). Tyto sloučeniny jsou výjimečné s ohledem na existenci magnetického uspořádání i v limitě mono-vrstvy, aplikační omezení představuje na druhé straně jejich chemická nestabilita v běžných podmínkách. Studium degradace magnetických a elektronických vlastností VI_3 pod vlivem obvyklých chemikálií přineslo řadu důležitých poznatků, jejichž znalost je nezbytná při jejich budoucím praktickém využití [1].

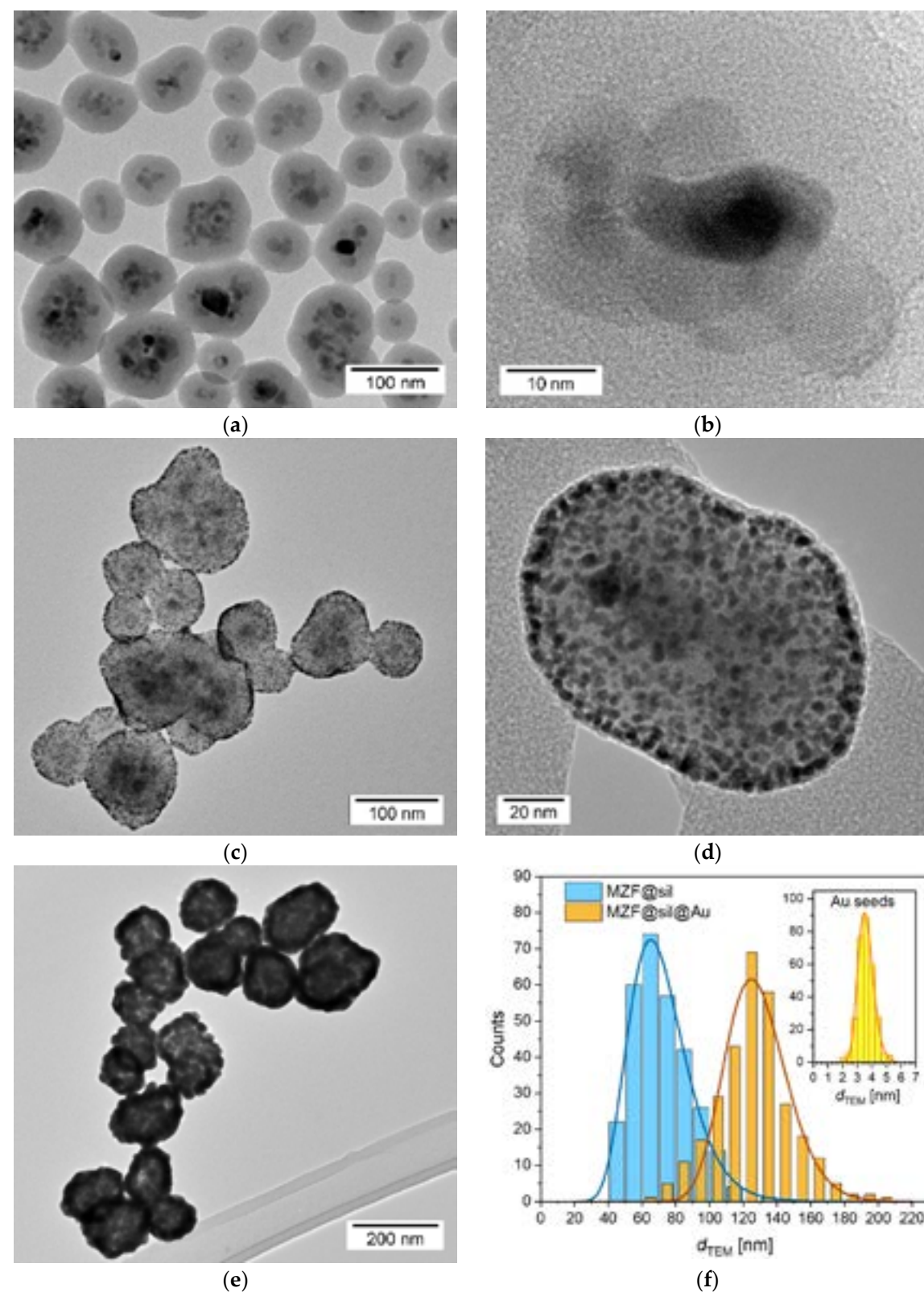
V oblasti termo-elektro-magnetických jevů zmiňme podrobné studium monokrystalů černého fosforu (BP). Jejich vysoká kvalita byla potvrzena synergií maximální tepelné vodivosti a Seebeckova koeficientu při 25 K, což souvisí s tzv „phonon drag“ efektem, pozorovaným pro BP poprvé [2]. Studium **spinového Seebeckova efektu** (SSE) na orientovaných tenkých vrstvách ($\sim 1 \mu\text{m}$) hexaferitů na bázi kobaltu, zinku a železa typu Y, Z a W překvapivě potvrdilo, že SSE lze generovat i v materiálech s komplikovanými krystalovými a magnetickými strukturami [3]. Teoreticky jsme analyzovali vliv **spin-orbitální vazby** na naklonění ideální feromagnetické konfigurace SrRuO_3 v závislosti na náklonu RuO_6 oktaedru a zkoumali jsme vliv tohoto náklonu na elektronovou strukturu, magnonová spektra a specifické teplo. Výsledky výpočtů LDA+U ($U=1\text{eV}$) vykazaly dobrou shodu s experimentem [4].

Výčet naší práce by nebyl úplný bez zmínky o studiu vysoce **komplexních nanočástic**, které umožňují multimodální zobrazování a současně fyzikální snímání vybraných vlastností v biologických systémech. Příkladem takových nanočástic jsou kompozity [5] tvořené (i) zlatými nanoobaly (Au), které obklopují (ii) feritová jádra (MZF) potažená (iii) oxidem křemičitým (sil). Syntéza MZF@sil@Au nanočástic je zřejmá z obrázku, přičemž magnetická jádra ($\sim 30 \text{ nm}$ shluky) vykazují **vynikající kontrastní vlastnosti** pro MRI, zlatý obal ($\sim 130 \text{ nm}$, tl. 27 nm) generuje **silný fotoakustický signál**. Navazující organická funkcionizace navíc zajišťuje fluorescenční signál a dovoluje **lokální měření pH** pomocí povrchově zesílené Ramanovy spektroskopie.

LITERATURA

- [1] M. Kratochvílová, K. Uhlířová, M. Míšek, V. Holý, J. Zázvorka, M. Veis, J. Pospíšil, S. Son, J.-G. Park, V. Sechovský, The surface degradation and its impact on the magnetic properties of bulk VI_3 . *Mater. Chem. Phys.* **278** (2022) 125590. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2021.125590>
- [2] N. Antonatos, J. Šturala, V. Mazánek, D. Sedmidubský, M. Veselý, K. Růžička, J. Hejtmánek, P. Levinský, Z. Sofer, Black Phosphorus: Fundamental Properties and Influence of Impurities Induced by Its Synthesis. *ACS Applied Materials and Interfaces* **14** (2022) 34867–34874. <https://doi.org/10.1021/acsami.2c08714>
- [3] M. Soroka, M. Pashchenko, J. Prokleška, J. Buršík, K. Knížek, Spin Seebeck effect in W-type and Z-type hexagonal ferrite thin films. *J. Appl. Phys.* **132** (2022) 245101. <https://doi.org/10.1063/5.0124632>





Obř. 2.3.5 Snímky z transmisní elektronové mikroskopie a distribuce velikostí nanočástic: (a) MZF@sil; (b) HRTEM detail magnetického jádra MZF@sil; (c, d) nanočástice MZF@sil dekorované zlatým koloidem; (e) finální produkt MZF@sil@Au; (f) histogramy velikostí MZF@sil a MZF@sil@Au s vložkou ukazující histogram jader Au na povrchu dekorovaného meziprojektu; model odpovídá lognormální distribuční funkci.

- [4] K. Ahn, A. Marmodoro, J. Hejtmánek, Z. Jiráček, K. Knížek, Role of spin-orbit coupling in canted ferromagnetism and spin-wave dynamics of SrRuO_3 . *Phys. Rev. B* **105** (2022) 245107. <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.105.245107>
- [5] D.T. Bui, R. Havelek, K. Královec, L. Kubičková, J. Kuličková, P. Matouš, V. Herynek, J. Kupčík, D. Muthná, P. Řezanka, O. Kaman, Multimodal Contrast Agent Enabling pH Sensing Based on Organically Functionalized Gold Nanoshells

with Mn-Zn Ferrite Cores, *Nanomaterials* **12** (2022) 428. <https://doi.org/10.3390/nano12030428>

Oddělení tenkých vrstev a nanostruktur

Tématem výzkumu jsou energetické děje v nanostrukturách a tenkých vrstvách, které jsou základem pro fotovoltaickou či fotonickou přeměnu a pro elektrochemické ukládání energie.

Tým Martina Ledinského zahájil v roce 2022 práci na evropském projektu Pilatus [1] směřujícím k obnově výroby fotovoltaiky v Evropě. Do roku 2025 vzniknou tři pilotní linky, pokrývající celý výrobní cyklus inovativních křemíkových solárních panelů založených na technologii křemíkových solárních článků s kontakty na zadní straně článků. Český tým přispěl k vývoji článků patentovanou metodou metrologie kontaktů, která nyní směřuje k využití na výrobních linkách. Tým se účastní široké mezinárodní spolupráce na příští generaci monolitických tandemových článků křemík/perovskit překonávajících limity čistě křemíkové technologie [2], a ve spolupráci se Slovenskou akademií věd získal fundamentální poznatky o růstu perovskitových vrstev při vakuové depozici [3] nebo s fotovoltaickou laboratoří KAUST o optických vlastnostech pod optickou hranou [4].

Studium fotonické přeměny bylo zaměřeno nejen na Si a SiC nanočástice [5], ale i na dynamiku v optických centrech v tenkých polykrystalických vrstvách diamantu, kde byly zjištěny hodnoty aktivací energie fotoluminiscence SiV srovnatelné s hodnotami v monokrystalickém diamantu [6]. Použití zfokusované excitace navíc dovolilo pětinašobné zvýšení intenzity užitečného signálu oproti pozadí [7].

Zkoumané nanostruktury pro ukládání energie zahrnovaly křemíkové nanočástice, multivalentní a duální iontové bateriové systémy [8]. Dalšími ze studovaných materiálů byly grafenové aerogely [9]. Jedná se o grafenové pěny, které mají třídímní porézní strukturu tvořenou vzájemně propojenými atomárně tenkými grafenovými vrstvami. Tyto materiály vykazují výbornou elektrickou vodivost a extrémně velkou elasticitu v tlaku i tahu. Grafenové aerogely vykazují řadu anomálních vlastností, jako největší měrnou mez v kluzu v tlaku, která byla doposud pozorována v materiálech, a anomálně rychlé tlumení vibrací v rámci nanosekund. Tyto unikátní vlastnosti byly využity při vývoji dotykových senzorů. Dotykové senzory z grafenových aerogelů vykazují ultrarychlou odezvu

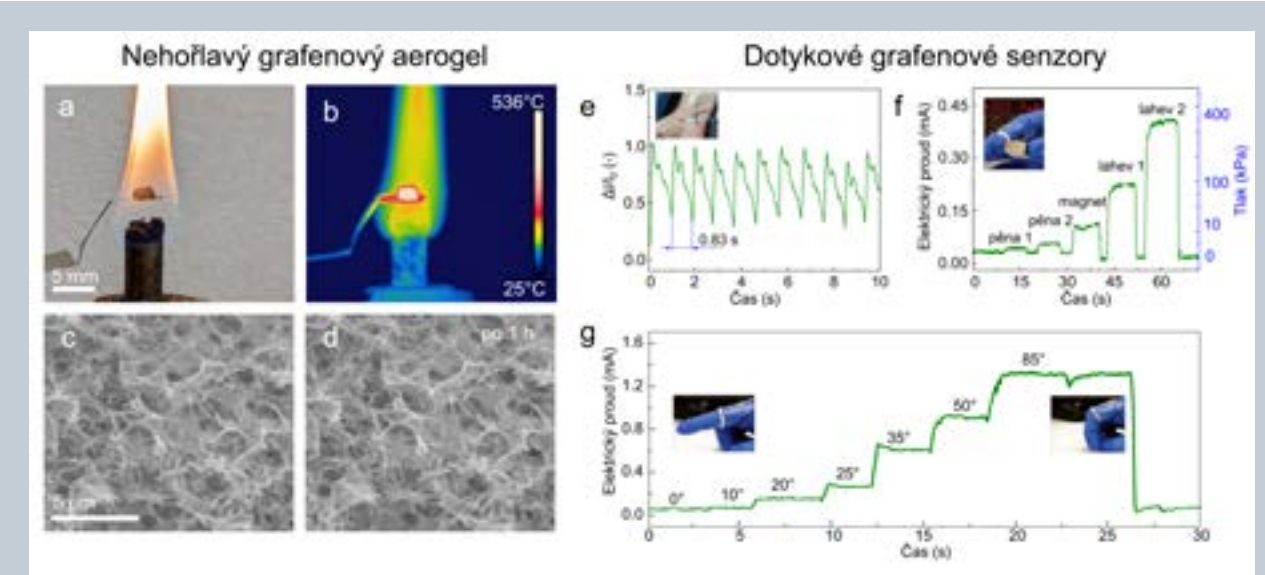
a vysokou citlivost přes široký rozsah tlaků a deformací [10]. Grafenové aerogely také mají velmi vysokou odolnost vůči ohni díky svým samozhášecím vlastnostem, které jim umožňují dočasně odolat i teplotám až 1500 °C v ohni.

LITERATURA

- [1] J. Žďárská, PILATUS Čeští vědci spolupracují na evropském projektu ekologické výroby fotovoltaiky, *Československý Časopis pro Fyziku*. **73** (2023) 67.
- [2] M. De Bastiani, R. Jalmood, J. Liu, C. Ossig, A. Vlk, K. Vegso, M. Babics, F.H. Isikgor, A.S. Selvin, R. Azmi, E. Ugur, S. Banerjee, A.J. Mirabelli, E. Aydin, T.G. Allen, A. Ur Rehman, E. Van Kerschaver, P. Siffalovic, M.E. Stuckelberger, M. Ledinsky, S. De Wolf, Monolithic Perovskite/Silicon Tandems with >28% Efficiency: Role of Silicon-Surface Texture on Perovskite Properties, *Advanced Functional Materials*. **33** (2023) 2205557. <https://doi.org/10.1002/adfm.202205557>.
- [3] V. Held, N. Mrkyvkova, P. Nádaždy, K. Vegso, A. Vlk, M. Ledinský, M. Jergel, A. Chumakov, S.V. Roth, F. Schreiber, P. Siffalovic, Evolution of Structure and Optoelectronic Properties During Halide Perovskite Vapor Deposition, *J. Phys. Chem. Lett.* **13** (2022) 11905–11912. <https://doi.org/10.1021/acs.jpclett.2c03422>.
- [4] E. Ugur, M. Ledinský, T.G. Allen, J. Holovský, A. Vlk, S. De Wolf, Life on the Urbach Edge, *J. Phys. Chem. Lett.* **13** (2022) 7702–7711. <https://doi.org/10.1021/acs.jpclett.2c01812>.
- [5] P. Galář, J. Stuchlík, M. Müller, J. Kočka, K. Kůsová, Highly spherical SiC nanoparticles grown in nonthermal plasma, *Plasma Processes and Polymers*. **19** (2022) 2100127. <https://doi.org/10.1002/ppap.202100127>.
- [6] F. Trojánek, K. Hamráček, M. Hanák, M. Varga, A. Kromka, O. Babčenko, L. Ondič, P. Malý, Light emission dynamics of silicon vacancy centers in a polycrystalline diamond thin film, *Nanoscale*. **15** (2023) 2734–2738. <https://doi.org/10.1039/D2NR05470A>.
- [7] L. Ondič, F. Trojánek, M. Varga, J. Fait, Strain-Relaxed Nanocrystalline Diamond Thin



- Films with Silicon Vacancy Centers Using Femtosecond Laser Irradiation for Photonic Applications, *ACS Appl. Nano Mater.* 6 (2023) 3268–3276. <https://doi.org/10.1021/acsanm.2c04976>.
- [8] Z.A. Zafar, G. Abbas, K. Knizek, M. Šilhavík, P. Kumar, P. Jiricek, J. Houdkova, O. Frank, J. Cervenka, Chaotropic Anion Based “Water-in-Salt” Electrolyte Realizes a High Voltage Zn-Graphite Dual-Ion Battery, *J. Mater. Chem. A.* (2022). <https://doi.org/10.1039/D1TA10122F>.
- [9] M. Šilhavík, P. Kumar, Z.A. Zafar, R. Král, P. Zemenová, A. Falvey, P. Jiříček, J. Houdková, J. Cervenka, High-Temperature Fire Resistance and Self-Extinguishing Behavior of Cellular Graphene, *ACS Nano.* 16 (2022) 19403–19411. <https://doi.org/10.1021/acs.nano.2c09076>.
- [10] P. Kumar, M. Šilhavík, Z.A. Zafar, J. Cervenka, Contact resistance based tactile sensor using covalently cross-linked graphene aerogels, *Nanoscale.* 14 (2022) 1440–1451. <https://doi.org/10.1039/D1NR06893H>.



Obr. 2.3.6 Využití grafenových aerogelů v ochraně proti ohni (a–d) a v dotykových senzorech (e–g).

Oddělení optických materiálů

Oddělení optických materiálů vyvíjí technologie přípravy objemových a tenkovrstvých materiálových systémů, u kterých je potenciál využití převážně v optických aplikacích. K měření charakteristik těchto a dalších externě získávaných materiálů se v oddělení používá široká paleta experimentálních technik z oblasti optických, magnetických a fotoelektronových spektroskopii. Kromě technologických a experimentálních aktivit jsou v náplni oddělení zahrnuty i aktivity teoretické zejména z oblasti kinetiky nukleace a růstu krystalické fáze a kinetiky luminiscence.

V rámci *Skupiny luminiscenčních a scintilačních materiálů* jsme ve spolupráci s průmyslovým partnerem CRYTUR, spol. s r.o. řešili tři běžící projekty TAČR zaměřené na vývoj inovativních laserových a scintilačních materiálů a jejich aplikací s vysokým komerčním

potenciálem. V probíhajících mezinárodních spolupracích byl nejaktivnější společný výzkum nové skupiny halogenidových materiálů na bázi Cs-Cu-I sloučenin (obr. 2.3.7) s partnerskou skupinou prof. Y. Wu na *Shanghai Institute of Ceramics, Chinese Academy of Sciences* [1]. Vítězslav Jarý a Jan Pejchal pak vydali monografii o scintilačních materiálech, poprvé v českém jazyce [2].

Skupina přípravy optických materiálů a termické analýzy se zaměřuje na pěstování oxidových a halogenidových krystalů metodou micro-pulling-down a vybraných halogenidových krystalů Bridgmanovou metodou. Fyzikálně-chemické vlastnosti připravovaných materiálů jsou studovány metodami termické analýzy. Objasnili jsme dosud nevysvětlené luminiscenční vlastnosti krystalu $\text{LaAlO}_3\text{:Ce}$, kdy některé výzkumné týmy pozorovaly luminiscenci tohoto materiálu, zatímco jiné podaly důkazy o absenci luminis-

cence [3]. Doktorand Vojtěch Vaněček úspěšně obhájil dizertační práci a spolu s dalšími vybranými výsledky v oblasti výzkumu halogenidových scintilátorů včetně nanoscintilátorů své poznatky shrnul ve vyzvaném přehledovém článku [4].

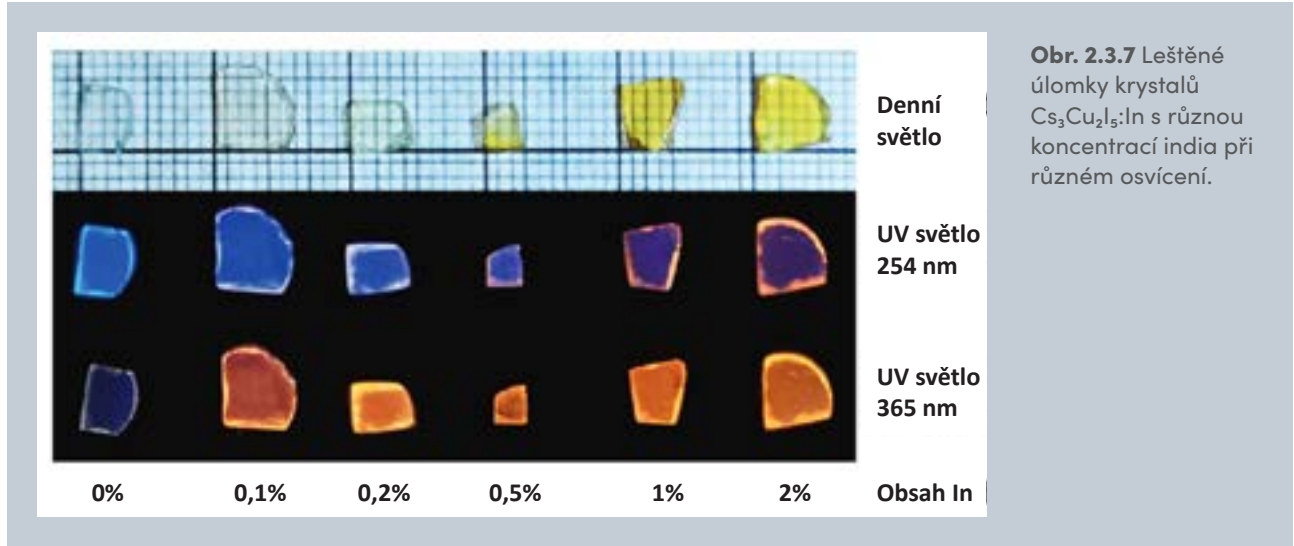
Skupina fotoelektronové spektroskopie (SFS) se zabývá charakterizací povrchů pevných látek pomocí fotoelektronové spektroskopie. Pro aplikaci této metody je skupina vybavena fotoelektronovým spektrometrem AXIS Supra (Kratos Analytical Ltd). V tomto roce se pracovníci SFS zaměřili na analýzu heteropřechodu dvou polovodičů [5] a rovněž se podíleli na charakterizaci povrchů řady další vzorků z ústavních i mimoústavních laboratoří.

Skupina pokročilých optických nanomateriálů a kompozitů se zaměřuje na syntézu a charakterizaci různých optických oxidových a halogenidových nanomateriálů s velkým aplikačním potenciálem (ultrarychlé scintilátory, světelné diody, fotokatalyzátory a fotovoltaická zařízení). Syntetizujeme také objemové optické a ferroelektrické nebo magnetické materiály ve formě organických nebo anorganických krystalových či amorfních látek. Hydrotermální metodou jsme připravili erbiem dopovaný (2, 10, 30 % hm.) oxid zinečnatý (ZnO) a v jeho luminiscenci jsme potvrdili existenci Er-Er upkonverze. S rostoucím podílem Er klesá excitonová luminiscence. Excitonová emise [6] je nepřímo úměrná velikosti ZnO částic.

LITERATURA

- [1] Q. Wang, Q. Zhou, M. Nikl, et al., Highly Resolved X-ray Imaging Enabled by In(I) doped Perovskite-like $\text{Cs}_3\text{Cu}_2\text{I}_5$ Single Crystal Scintillator, *Adv. Opt. Mater.* 10 (2022) 2200304. <https://doi.org/10.1002/adom.202200304>
- [2] V. Jarý, J. Pejchal. Scintilační materiály. Academia 2023, ISBN 978-80-200-3283-6.

- [3] J. Pejchal, V. Babin, M. Buryi, et al., Untangling the controversy on Ce^{3+} luminescence in LaAlO_3 crystals. *Mater. Adv.* 3 (2022) 3500–3512. <https://doi.org/10.1039/d1ma01083b>
- [4] V. Vaněček, K. Děcká, E. Miháková, V. Čuba, R. Král, M. Nikl, Advanced Halide Scintillators: From the Bulk to Nano. *Adv. Photonics Res.* 3 (2022) 2200011. <https://doi.org/10.1002/adpr.202200011>
- [5] O. Romanyuk, A. Paszuk, I. Gordeev, et al., Combining advanced photoelectron spectroscopy approaches to analyse deeply buried GaP(As)/Si(100) interfaces: Interfacial chemical states and complete band energy diagrams. *Appl. Surf. Sci.* 605 (2022) 154630. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2022.154630>
- [6] M. Buryi, N. Neykova, K. Ridzoňová, Z. Remeš, K. Děcká, F. Hájek, A. Artemenko, J. Mičová, L. Landová, I. Jakubec, Peculiarities of erbium incorporation into ZnO microrods at high doping level leading to upconversion and the morphology change. Influence on excitonic as well as shallow donor states, *Appl. Surf. Sci.* 611 (2023) 155651. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2022.155651>



Obr. 2.3.7 Leštěné úlomky krystalů $\text{Cs}_3\text{Cu}_2\text{I}_5\text{:In}$ s různou koncentrací india při různém osvětlení.



2.4 Sekce optiky



„Výzkumný záběr sekce jsme v uplynulém roce rozšířili o oblast biofotoniky v rámci nově vzniklé laboratoře. Pokračovali jsme v rozvoji multidisciplinárního výzkumu a průmyslové spolupráce a navazovali na úspěšné mezinárodní působení. Především jsem ale velmi rád za to, že umíme pracovat jako jeden skvěle fungující tým.“

Ing. Alexandr Dejneka, Ph.D.

V Sekci optiky probíhá široký interdisciplinární výzkum, jehož jednotlivé větve spojuje využívání optických metod. Od zkoumání klasických a kvantových vlastností šíření optického záření přes výzkum tenkých vrstev a plazmatu až po biofyziku. Naši experti se zaměřují jak na základní, tak i na aplikovaný výzkum.

Dosáhli jsme celé řady úspěchů. Ať již hovoříme o vynikajícím pokroku na poli vědy, kam lze bezpochyby zařadit třeba vytvoření polovodiivé solární vrstvy pro rozklad vody, zkoumání nanostruktur DNA, které mohou nalézt široké uplatnění v biomedicině, či výsledky dosažené v oblasti zkoumání kvantové kryptografie. Nebo o celé řadě průmyslových aplikací našich výsledků – například biočipové technologie využívající přenosný systém pro detekci patogenů z potravin, který nyní aktivně využívá Ochranná služba PČR, či plazmatické depoziční zařízení, které jsme v loňském roce úspěšně prodali společnosti IQS Group, s.r.o.

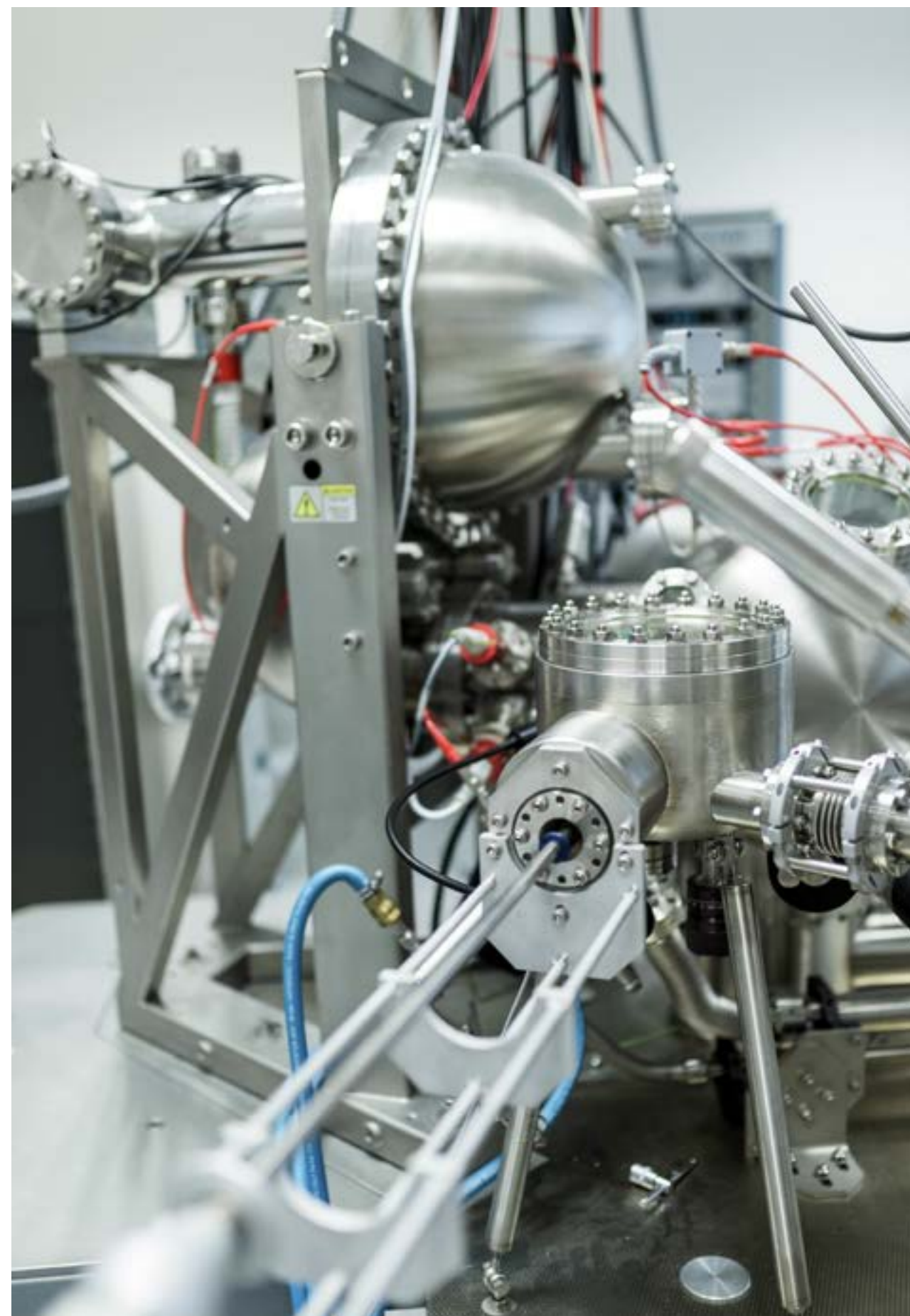
Naše týmy špičkových vědců fungují také v rámci mezinárodních výzkumných týmů. Příkladem může být zapojení Laboratoře biofyziky do sítě PRO-EURO-DILI-NET, která se zabývá lékovým poškozením jater.

Rozvoj technologií, know-how a nových výzkumně vývojových směrů se promítl i v rámci Národního centra kompetence MATCA (www.matca.cz), 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. Spolupráci s průmyslovými partnery realizujeme také v rámci konsorcia Brain4Industry (brain4industry.cz), kde se naši experti zaměřují především na aditivní výrobu, umělou inteligenci a plazmatické technologie.

Zaměřujeme se i na to, abychom znalosti předávali dále – mladé generaci studentů, potenciálních budoucích vědců. To se děje díky Rozvojovému centru Radius zaměřenému na zprostředkování stáží vysokoškolským studentům. Svoje fungování naplno zahájilo v loňském roce, během nějž zajistilo stáže čtyřicet studentů z České republiky i dalších zemí EU. Rozšířil se také počet jeho členů – z původních pěti na současných 14.

Zapojili jsme se také do řešení projektů v rámci Strategie AV21, v rámci programu Průlomové technologie budoucnosti náš tým vede téma s názvem Senzorika pro AI budoucnost. Součástí této spolupráce bylo v loňském roce uspořádání vědecké konference Breakthrough Technologies of the Future cílícího na vědeckou komunitu a workshopu Průlomové technologie budoucnosti: Jak využít knowledge transfer na maximum, zaměřeného na zástupce malých a středních podniků.



Oddělení optických a biofyzikálních systémů

V uplynulém roce byla v rámci oddělení založena nová laboratoř – Laboratoř biofotoniky, která se zaměřuje na interdisciplinární výzkum využívající optickou spektroskopii a mikroskopické techniky sloužící v biologických vědách a bioanalytických technologiích. I v rámci dalších laboratoří jsme se zabývali interdisciplinárním výzkumem sahajícím od funkčních vlastností ultratenkých polymerních vrstev s tzv. antifoulingovými vlastnostmi a výzkumu vlivů vnějších fyzikálních podnětů na chování a funkci buněk, přes výzkum perovskitoxidových vrstev až po praktické aplikace dosažených výsledků v rámci NCK MATCA.

Laboratoř funkčních biorozhraní

V roce 2022 se nám podařilo vyvinout novou metodu molekulární postmodifikace vybraných skupin antifoulingových polymerů, která umožňuje zachovat antifoulingové vlastnosti vrstev i po jejich „osazení“ biomolekulárními receptory [1]. Tato metoda, včetně nového složení antifoulingové polymerní vrstvy, byla i úspěšně patentována. Výsledky byly využity při zavádění nové biočipové technologie do praxe, a to jak formou přenosného systému pro detekci patogenů z potraviny, kterou nyní aktivně využívá Ochranná služba PČR, tak i formou automatizovaného univerzálního

vícekanálového detektoru, na jehož vývoji se podílel i průmyslový partner – Cardam Solution, s.r.o.

Laboratoř biofyziky

Laboratoř biofyziky v loňském roce vyvinula nový směr výzkumu interakce nanostruktur DNA s živými buňkami. Nanostruktury DNA (DN) představují unikátní kompozitní materiál s různými aplikacemi v biomedicině a slibují překonat přetrvávající výzvy v oblasti nanobiotechnologií. Využití by mohly najít v oblastech jako biosensing, podávání léků, buněčná modulace či bioimaging [2].

Výzkum v laboratoři mohl probíhat i díky několika grantům, které se nám podařilo v uplynulých letech získat. 2019–2022 Rozvinuté fyzikální metody v studiích hepatotoxicity, MŠMT, INTER-COST a 2022–2024 Mechanická regulace funkce mitochondrií a glykolýza v buňkách rakoviny jater, GAČR, Standardní.

Rozvíjeli jsme i zahraniční a meziinstitucionální spolupráci se skupinami Prof. Stephanopoulou z Arizona State University, USA, Dr. Leonarda J. Nelsona z Hepatology Laboratory, University of Edinburgh, Velká Británie, Prof. Francisca Javieru Cubera z Department of Immunology, Complutense University School of Medicine, Madrid, Španělsko, Dr. Sullivana z University of Oslo, Norsko, Dr. Nora Dempsey z Institute NEEL, Grenoble, Francie a skupinou Prof. Dr.

Milana Jirsy z pražského Institutu klinické a experimentální medicíny.

Laboratoř biofotoniky

Současné projekty laboratoře se zabývají vývojem nových metod pro analýzu biomolekul a jejich interakcí a pro citlivou a rychlou detekci škodlivých látek a biomarkerů, které jsou důležité pro oblasti diagnostiky nemocí, personalizované medicíny a monitorování životního prostředí. Tento výzkum byl podpořen v roce 2022 česko-tchajwanským projektem „Plazmonický biosenzor pro kontinuální monitoring analytů s nízkou molekulární hmotností“ (GAČR, 22–30456J) a projekty „Rapid Nanofluidics Valves for Single-Molecule Imaging“ (101068106, EU-Horizon Europe, MSCA-PF.), „Život biomolekuly ve filmu“ (GAČR, 22–18203S) a „Versatile Amplification Method for Single-Molecule Detection in Liquid Biopsy“ (101046217, EU-Horizon Europe, EIC Pathfinder Open). V roce 2022 se podařilo sestavit jádro mezinárodního týmu vědců se znalostmi z oblasti fyziky, materiálového výzkumu a biotechnologií okolo Barbory Špačkové a Jakuba Dostálky. Ti se nově zapojili do práce na FZU po svém návratu ze zahraničí. Laboratoř biofotoniky se v roce 2022 podílela na 8 publikacích včetně přehledových článků pro širokou vědeckou komunitu [3].

Laboratoř tenkovrstvých materiálů

V klíčové práci uplynulého roku jsme prokázali, že volné kyslíkové vakance mají jedinečný vliv na deformaci mřížky v epitaxních oxidových vrstvách. Navrhli jsme a prozkoumali různé možnosti uspořádání těchto kyslíkových vakancí. Ukázalo se, že dipolární uspořádání vede ke zvýšené velikosti maximální deformace mřížky a ke zvýšení nehomogenní deformace nebo gradientů deformace [4]. Pozoruhodně silné elastické efekty vyvolané vakancemi byly experimentálně ověřeny změnou napětí a obsahem kyslíku v tenkých vrstvách

perovskitových feroelektrik niobátů (ANbO_3) a titanátů (ATiO_3). Předpokládáme, že elastické účinky kyslíkových vakancí jsou relevantní pro nastavení napětí v epitaxních vrstvách širokého spektra funkčních oxidů.

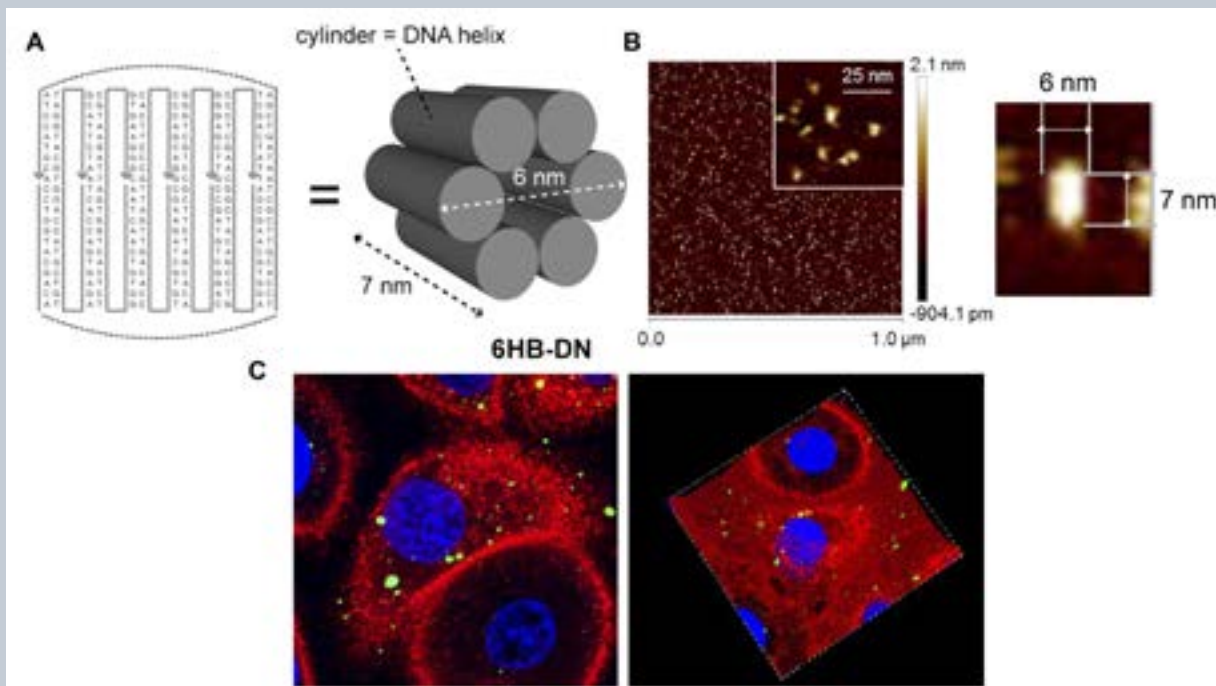
Na našem výzkumu jsme v loňském roce spolupracovali s univerzitou ve finském Oulu.

NCK MATCA

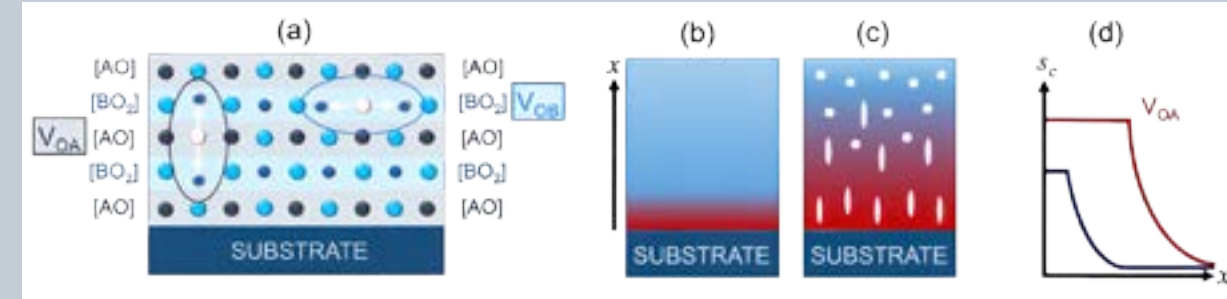
Centrum aplikovaného výzkumu a vývoje MATCA úspěšně dokončilo realizaci 1. VS NCK, kde za dobu trvání 4 let realizovalo 17 rozdílných dílčích projektů a podařilo se mu naplnit celkem 45 rozdílných výsledků a výstupů. V průběhu roku 2022 se úspěšně ucházelo o pokračování projektu ve 2. VS NCK a následně i o rozšíření financované z prostředků NPO, které bylo začátkem roku 2023 také Technologickou agenturou přiděleno. Celková výše podpory projektu NCK MATCA na následujících 6 let přesahuje 506 mil. Kč. Skvělou práci NCK MATCA ocenila také Technologická agentura ČR, a to udělením ocenění v kategorii Partnerství v cenách TAČR za rok 2022.

Novým směrem výzkumu a vývoje je digitalizace procesů za současného využití umělé inteligence a strojového učení. V tomto směru byly v minulém roce realizovány dva projekty a s vynikajícími výsledky byl aplikován projekt Predikce chování zákazníka na základě dříve získaných dat společnosti a vývoje trhu. Skupina se i nadále zaměřuje také na rozvoj práškových technologií.

Významných výsledků jsme dosáhli také na poli komerční spolupráce, kde se nad rámec dříve navázaných vztahů podařilo přilákat zákazníky z nových segmentů trhu jako např. potravinářský trh, reprezentovaný největším výrobcem hliníkových obalů na světě, společností Ball industry. Dále trh supravodičů zastoupený společností CAN SUPERCONDUCTORS, kde jsme zahájili společný vývoj v oblasti supravodivých materiálů a jejich zpracování pomocí aditivních technologií.



Obr. 2.4.1 (A) Schéma řetězce znázorňující šest oligonukleotidů, které obsahují svazek šesti šroubovic (6HB) DN. (B) AFM charakterizace 6HB DN. (C) Příjem DN buňkami jater. Obarvené buňky byly zobrazeny pomocí konfokálního mikroskopu s rotujícím diskem. 3D vykreslování ortogonálních projekcí bylo provedeno pomocí softwaru ImageJ.



Obr. 2.4.2 Kyslíkové vakance v epitaxních ABO_3 perovskitových vrstvách.

(a) Schéma zvýrazněných posunů B-kationtů kolem kyslíkových vakancí v různých atomových rovinách. (b a c) Schéma substrátem napjatých (b) stechiometrických a (c) na kyslík deficitních vrstev na kompresních substrátech. Napětí je zobrazeno červenou barvou. V (c) podlouhlé elipsy ilustrují mimo-rovinné dipóly a kružnice ukazují náhodné dipóly. (d) Schémata rozložení mimorovinného napětí v tloušťce vrstvy, $s_c(x)$, pro stechiometrickou vrstvu v (b) (modrá dolní křivka) a vrstvu s nedostatkem kyslíku v (c) (červená horní křivka).



LITERATURA

[1] Visova, I., et al., *Tuning of Surface Charge of Functionalized Poly(Carboxybetaine) Brushes Can Significantly Improve Label-Free Biosensing in Complex Media*. Advanced Materials Interfaces, 2022. 9(33). doi.org/10.1002/admi.202270182

[2] A. Frtús, B. Smolková, M. Uzhytchak, M. Lunova, M. Jirsa, S. J. W. Henry, A. Dejneka, N. Stephanopoulos, O. Lunov, The interactions between DNA nanostructures and cells: A critical overview from a cell biology perspective, *Acta Biomater.* **146** (2022) 10–22. <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2022.04.046>

[3] F. Diehl, S. Hageneder, S. Fossati, S. K. Auer, J. Dostálek, U. Jonas, Plasmonic nanomaterials with responsive polymer hydrogels for sensing and actuation, *Chemical Society Reviews* **51** (2022) 3926–3963. doi.org/10.1039/D1CS01083B

[4] M. Tyunina, J. Levoska, O. Pacherova, T. Kocourek, and A. Dejneka, Strain enhancement due to oxygen vacancies in perovskite oxide films, *Journal of Materials Chemistry C* **10** (2022) 6770–6777, [DOI: 10.1039/d1tc04969k](https://doi.org/10.1039/d1tc04969k)

a použit k výzkumu depozic vrstev tvrdého amorfního uhlíku ta-C, které mají unikátní fyzikální a mechanické vlastnosti [2].

Depozice tenkých vrstev

Část výzkumu skupiny směřovala k vytvoření polovodivých vrstev pro solární rozklad vody na bázi CuWO₄, které pracují jako fotoanody [3]. Dále probíhá úspěšně vývoj v plazmatu polovodivých vrstev pro scintilátory a VUV detektory. Tuto problematiku řešíme v rámci mezinárodního projektu ve spolupráci s Massey University Auckland na Novém Zélandu a Osaka University v Japonsku. V rámci aplikovaného výzkumu jsme úspěšně dokončili projekt TRIO MPO, který byl zaměřen na plazmatické depozice tenkovrstvých ochranných prvků na bankovky, karty a osobní průkazy. V rámci skupiny jsme vyvinuli a řadu let následně studovali plazmatické depoziční zařízení. V loňském roce jsme je vyrobili a dodali jako součást průmyslového zařízení našemu partnerovi – IQS group, s.r.o. S tímto partnerem v rámci problematiky průmyslových depozic optických ochranných prvků řešíme další projekt aplikovaného výzkumu financovaný v rámci programu OP PIK Aplikace MPO.

LITERATURA

[1] J. Vyskočil, P. Mareš, Z. Hubička, M. Čada, D. Tvarog, Způsob vytváření pulzního magnetronového výboje společně s obloukovým odpařováním, CZ patent PV 2021–570

[2] J. Vyskočil, P. Mareš, Z. Hubička, M. Čada, T. Mates, Hybrid HiPIMS + controlled pulsed arc for deposition of hard coatings. *Surf. Coat. Tech.* **446** (2022) 128765(1) – 128765(6). [doi: 10.1016/j.surfcoat.2022.128765](https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2022.128765).

[3] A. Hrubantová, R. Hippler, H. Wulff, M. Čada, O. Gedeon, P. Jiříček, J. Houdková, J. Olejníček, N. Nepomniashchaia, C. A. Helm, Z. Hubička, Copper tungsten oxide (Cu_xWO_y) thin films for optical and photoelectrochemical applications deposited by reactive high power impulse magnetron co-sputtering, *J. Appl. Phys.* **132** (2022) 215301(1) – 215301(13). [doi: 10.1063/5.0123075](https://doi.org/10.1063/5.0123075)

Oddělení nízkoteplotního plazmatu

Zabývá se základním výzkumem fyzikálních procesů v komplexním pulzním nízkoteplotním plazmatu generovaném v nově objevených a realizovaných zařízeních určených pro nanášení tenkých vrstev a úpravu povrchů. Soustředí se i na základní a aplikovaný výzkum depozic různých typů polovodivých tenkých vrstev pomocí unikátních nových typů zdrojů plazmatu. V loňském roce jsme dokázali vyvinout nové metody diagnostiky plazmatu, zabývali jsme se solárním rozkladem vody a pokračovali ve spolupráci s našimi průmyslovými partnery, z nichž jedna skončila pro FZU úspěšným prodejem hotového zařízení.

Fyzikální procesy v nerovnovážném plazmatu

Skupina výzkumu nízkoteplotního plazmatu vynalezla a realizovala několik nových vysokofrekvenčních metod diagnostiky plazmatu, které jsou vhodné pro případy vysoce reaktivního plazmatu, kdy vznikají na měřicích sondách dielektrické vrstvy. Tento základní výzkum pak navazuje na aplikační výzkumné projekty, které řešíme společně s průmyslovými partnery. Příkladem úspěšného výsledku aplikačního projektu TRIO MPO dosaženého společně s firmou HVM plazma, a.s. je vytvoření nízkoteplotního plazmatu v kombinaci s vakuovým obloukem a impulzním magnetronem HiPIMS. Tento vynález byl patentován [1]

Oddělení analýzy funkčních materiálů

Věnuje se interdisciplinárnímu výzkumu pokročilých funkčních materiálů pro aplikace v elektronice, optice, optoelektronice, plynových senzorech a medicíně s vysokým inovačním či průmyslovým potenciálem. Zaměřuje se také na teoretický a praktický vývoj technik pro přípravu tenkovrstvých materiálů fyzikálními metodami. Nejlepších výsledků v uplynulém roce dosáhlo v oblasti povrchové modifikace 2D MXénových materiálů, výzkumu transparentních polovodičů a při spolupráci s průmyslovým partnerem Tesla Blatná, a.s. na vývoji senzorů, které mají potenciál dále rozvinout například koncept smart city.

Povrchová modifikace 2D MXénových materiálů

Velkou pozornost jsme věnovali novému výzkumu v oblasti terminace a cíleného roubování 2D karbidů přechodných kovů souhrnně označovaných jako MXény. Pomocí plazmonové rezonance jsme funkcionalizovali tyto materiály s cílem modifikovat jejich vlastnosti a měnit mimo jiné jejich katalytickou aktivitu pro aplikace: fotokatalýza vody, senzory a nové biomateriály pro fototerapii. [1].

Transparentní polovodiče

Zaměřili jsme se také na studium plazmatu a možnost přípravy tenkých vrstev halogenidů mědi [2] jako perspektivních materiálů pro přípravu transparentních

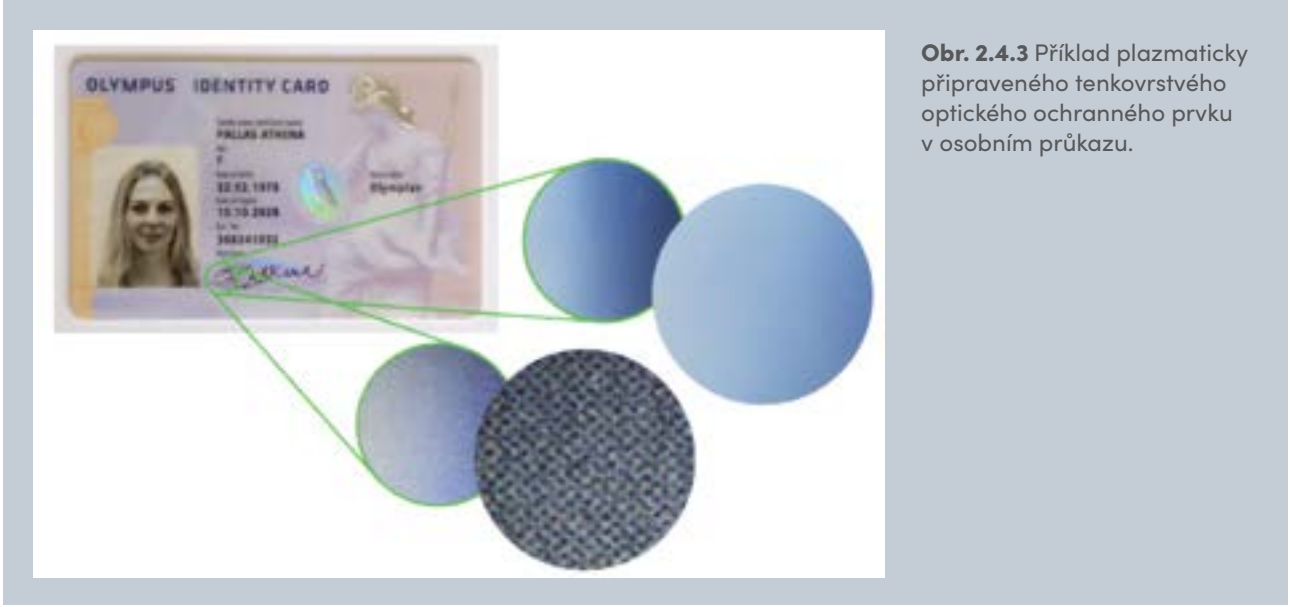
p-n heteropřechodů, které lze využít v transparentní elektronice.

Senzory a černé kovy

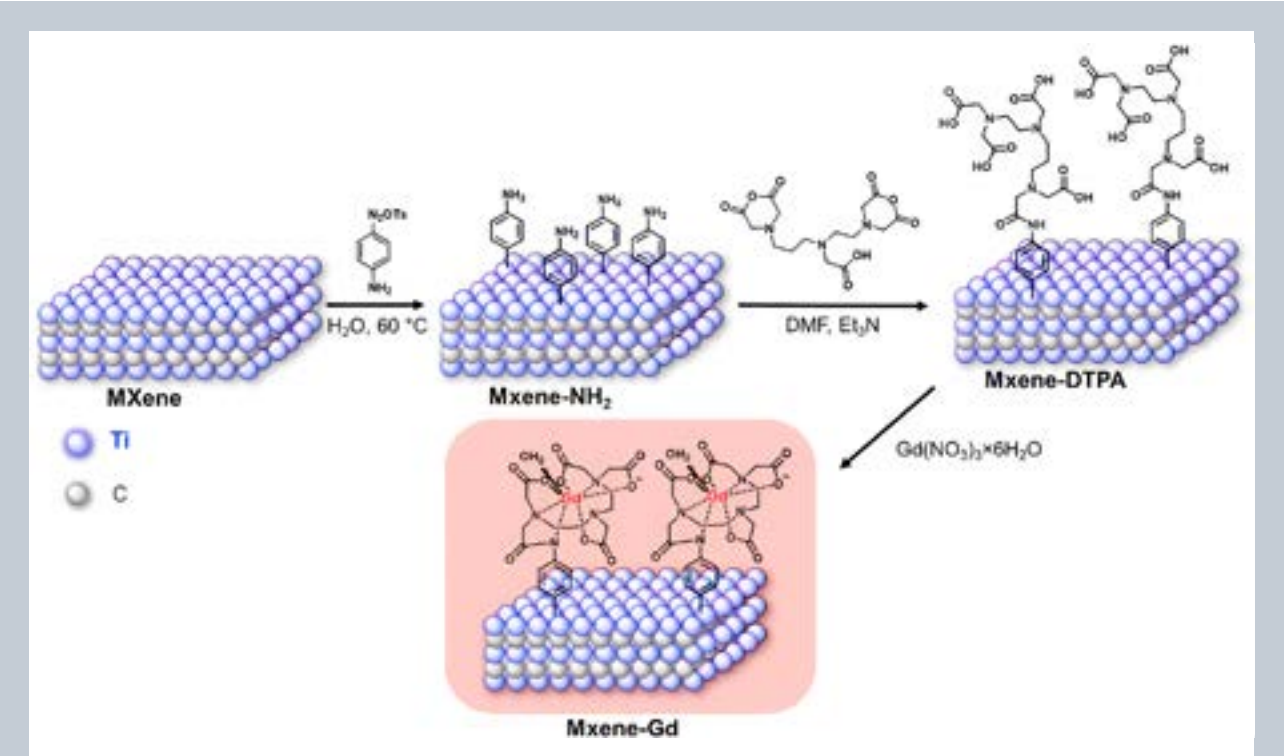
Vyvinuli jsme kompaktní měřicí systém využitelný například v konceptu Smart City, a to ve spolupráci se společností Tesla Blatná a.s. Unikátnost zařízení spočívá ve využití topného meandru současně pro vytápění i měření teploty sensorového čipu. Systém včetně softwaru umožňuje pokročilou regulaci pracovní teploty a přesné měření výstupní veličiny (elektrického odporu) chemického senzoru. Vytvořili jsme i funkční senzory plynů pracující na principu křemenné mikrováhy, kde jsme docílili zvýšení jejich citlivosti po nanesení vrstev černých kovů. Pomocí charakterizace tepelně stimulovaných jevů (emise exo-elektronů a desorpce) jsme popsali procesy klíčové pro pochopení a optimalizaci vlastností senzorů, k nimž dochází na povrchu černých kovů [3].

LITERATURA

[1] V. Neubertova, O. Guselnikova, Y. Yamauchi, A. Olshrem, S. Rimpelova, E. Čížmár, M. Orendáč, Jan Duchoň, L. Volfova, J. Lančok, V. Herynek, P. Fítl, P. Ulbrich, L. Jelinek, P. Schneider, J. Kosek, P. Postnikov, Z. Kolska, V. Svorcik, S. Chertopalov, O. Lyutakov,



Obr. 2.4.3 Příklad plazmaticky připraveného tenkovrstvého optického ochranného prvku v osobním průkazu.



Obr. 2.4.4 Schematické znázornění funkcionalizace MXenových vloček v následujícím pořadí: modifikace pomocí diazoniové chemie pro připojení -NH_2 skupiny $\text{MXene-NH}_2 \rightarrow$ MXen diethylentriaminpentaocetová kyselina (DTPA) a dále $\rightarrow$ komplexování s Gd^{3+} ionty.

- Covalent functionalization of $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}$ MXene flakes with Gd-DTPA complex for stable and biocompatible MRI contrast agent; *Chemical Engineering Journal* 446 (2022) 136939; doi: 10.1016/j.cej.2022.136939
- [2] S.Irimiciuc, S. Chertopalov, M. Buryi, Z. Remeš, M. Vondráček, L. Fekete, M. Novotný, J. Lančok; Investigations on the CuI thin films production by pulsed laser deposition, *Appl. Surf. Sci.* 606 (2022) 154868(1) – 154868(9), doi: 10.1016/j.apsusc.2022.154868

- [3] P.Pokorný, M. Novotný, J. More-Chevalier, Y. Dekhtyar, M. Romanova, M.Davídková, S. Chertopalov, P. Fitl, M. Hruška, M. Kawamura, T. Kiba, J. Lančok, Surface processes on thin layers of black aluminum in ultra-high vacuum, *Vacuum* 205 (2022) 111377; doi: 10.1016/j.vacuum.2022.111377

Společná laboratoř optiky Univerzity Palackého a FZU AV ČR

V rámci Společné laboratoře optiky se zabýváme základním a aplikovaným výzkumem v oblastech kvantové a nelineární optiky, fyziky povrchů a tenkých vrstev, aplikované optiky a podílíme se na řadě velkých vědeckých spoluprací v oblastech částicové fyziky a astrofyziky.

V oblasti kvantové optiky jsme se v uplynulém roce zabývali zobecněním způsobů, jak kvantifikovat míru nekласičnosti kvantových stavů v případě složitějších vícemódových polí [1]. Kvantové vlastnosti optických polí jsou poměrně křehké. Jejich odolnost vůči šumu

pro aplikace v oblasti kvantové kryptografie jsme testovali experimentálně [2].

Z dlouhodobé spolupráce s automobilovým průmyslem vychází požadavky na testování vad transparentních těles. Vyvinuli jsme proto bezkontaktní metody pro detekci fázových [3] i amplitudových vad [4] vhodné pro průmyslové aplikace. Optickými vlastnostmi povrchů se zabývá i technika založená na statistických vlastnostech struktur koherenční zrnitosti [5].

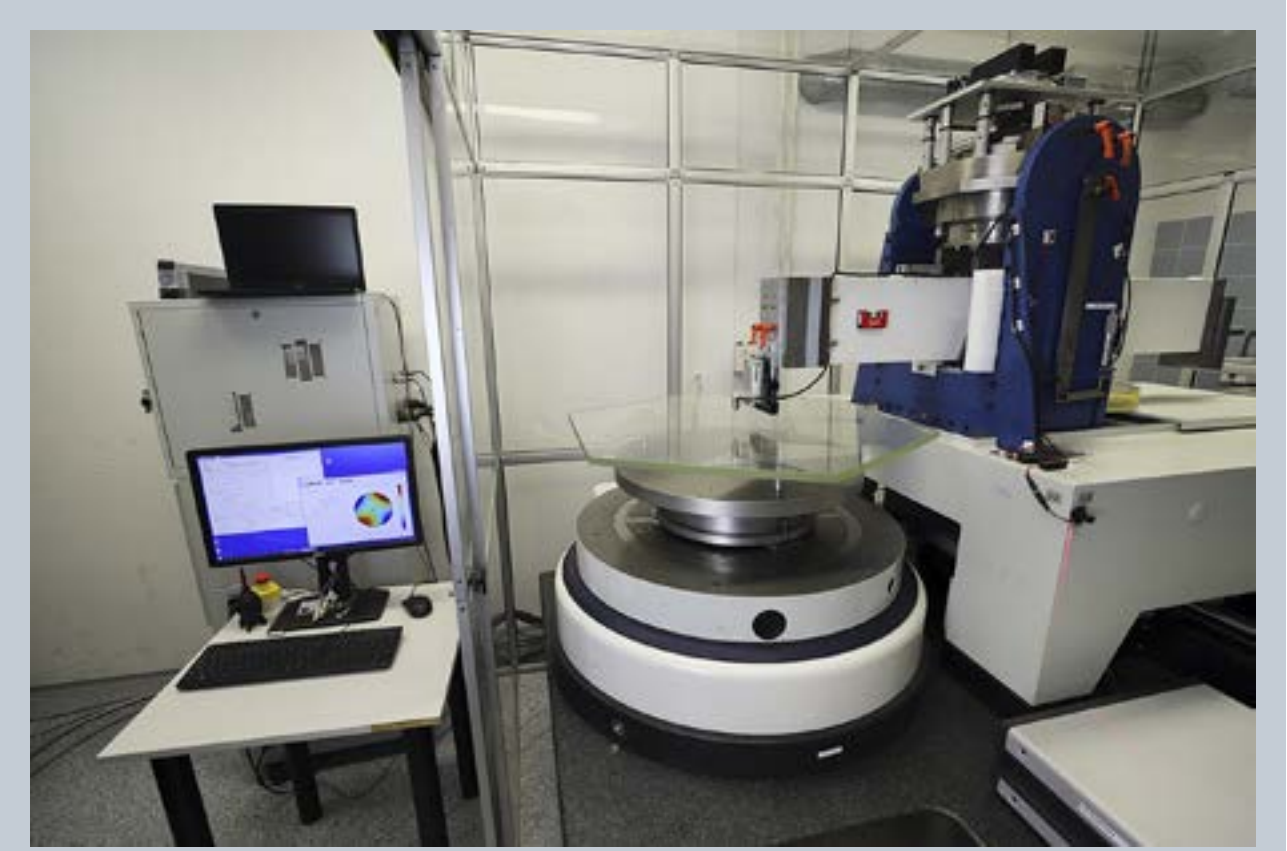
Významně pokročil také vývoj nových měřicích technik a související instrumentace pro optické technologie v oblasti detekce částic kosmického záření.

Mimořádný význam má v tomto směru završení dlouholetého vývoje skenovacího profilometru pro charakterizaci velkých optických dílů (až 0,8 m) s přesností pod 1 μm [6].

LITERATURA

- [1] Perina, J; Pavlicek, P; Michalek, V; Machulka, R; Haderka, O: p Nonclassicality criteria for N-dimensional optical fields detected by quadratic detectors, *Phys. Rev. A* 105 (2022), 13706. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevA.105.013706>.
- [2] Ku, HY; Kadlec, J; Cernoch, A; Quintino, MT; Zhou, WB; Lemr, K; Lambert, N; Miranowicz, A; Chen, SL; Nori, F; Chen, YN: Quantifying Quantumness of Channels Without Entanglement, *PRX Quantum* 3 (2022), 20338. DOI: <https://doi.org/10.1103/PRXQuantum.3.020338>.
- [3] Smid, P; Pavlicek, P; Kmec, J: Detection of decorative phase defects on a polymeric non-planar object, *Polym. Test* 109 (2022), 107558. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2022.107558>.

- [4] Kmec, J; Pavlicek, P; Smid, P: Optical noncontact method to detect amplitude defects of polymeric objects, *Polym. Test* 116 (2022), 107802. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2022.107802>.
- [5] Pavlicek, P; Hiklova, H: Optically smooth and optically rough surface in the view of optical 3D sensors based on imaging, *Appl. Opt.* 61 (2022), 0. DOI: <https://doi.org/10.1364/AO.443036>.
- [6] Michal, S; Horvath, P; Hrabovsky, M; Chytka, L; Mandat, D; Nozka, L; Palatka, M; Pech, M; Schovanek, P; Vacula, M: Swing arm profilometer as a tool for measuring the shape of large optical surfaces, *Optik* 264 (2022), 169419. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2022.169419>.



Obr. 2.4.5 Swing arm profilometr na pracovišti SLO v Olomouci.

2.5 Sekce výkonových laserů – Centrum HiLASE



„V Centru HiLASE vnímáme globální výzvy jako příležitosti, a tak se snažíme nejen zkoumat a pochopit fyzikální jevy, ale zejména posouvat hranice laserových technologií a přinášet smysluplné inovace.“

Ing. Tomáš Mocek, Ph.D.

Po jedenácti letech od zahájení projektu HiLASE jsme aktualizovali naši vizi, misi a související strategii rozvoje. Centrum HiLASE se chce stát v následující dekádě jedním z respektovaných lídrů v aplikacích výkonových laserů. Naši ambicí je být partnerem první volby pro firmy a výzkumné organizace, které hledají inovativní laserové technologie a řešení, a to jak na Zemi, tak i ve Vesmíru. Budeme tak nadále posouvat hranice laserových technologií, hledat nové aplikace a přispívat k prosperitě české a evropské ekonomiky, každodennímu životu lidí a udržitelné budoucnosti. Svými aktivitami chceme také inspirovat laserové vědce, inženýry i podnikatele.

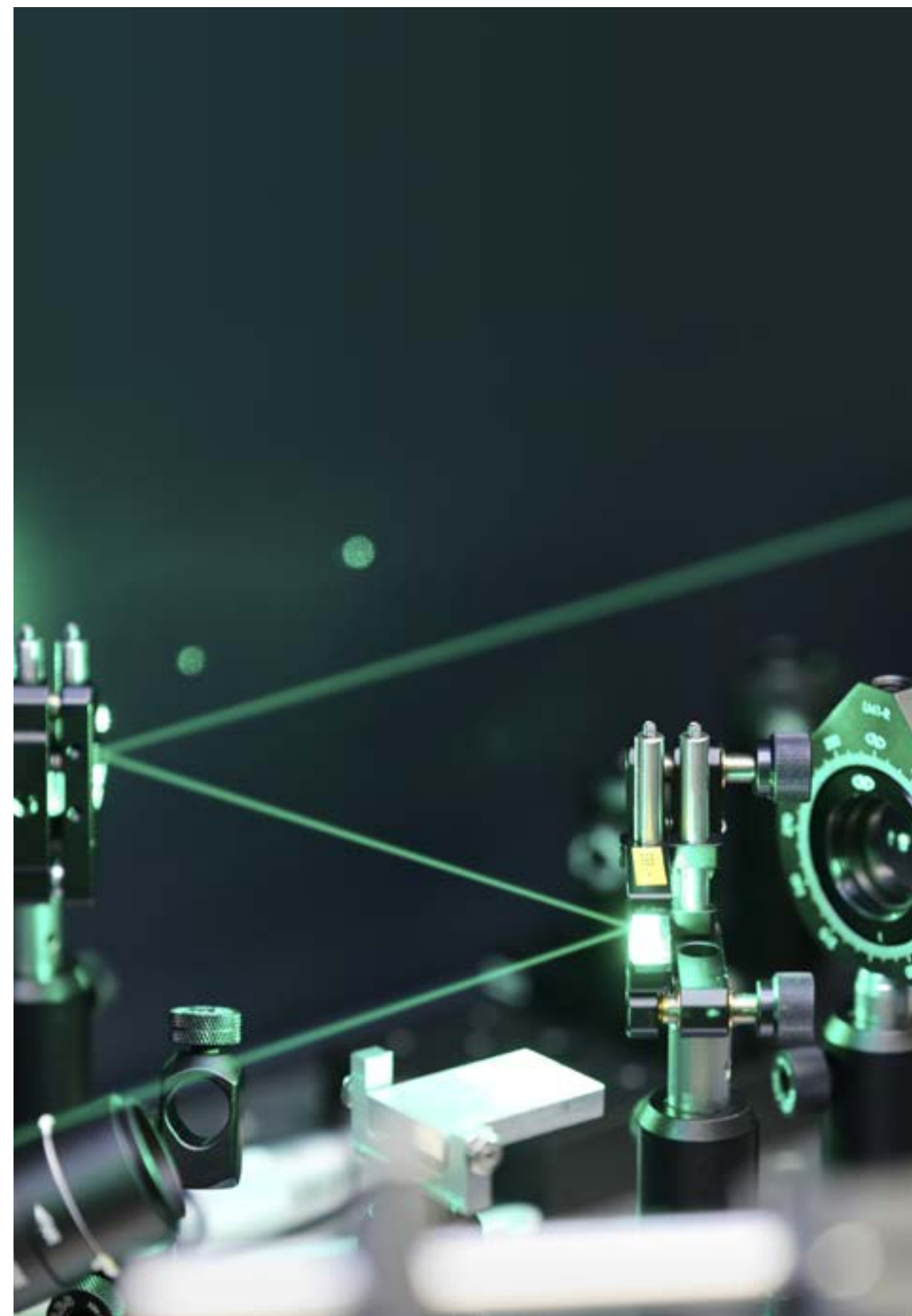
Na konci ledna 2022 se nám podařilo překonat další světový rekord na laserovém systému. V rámci konverze do druhé harmonické frekvence se podařilo vygenerovat pulzy o vlnové délce 515 nm s energií 95 J při opakovací frekvenci 10 Hz. Vzhledem k tomu, že celá řada materiálů má výrazně větší absorpci laserového záření o vlnové délce 515 nm než v případě záření na 1030 nm, je díky druhé harmonické frekvenci možné efektivně zpracovávat například měď nebo hliník. Vlnová délka 515 nm je velmi málo absorbována vodou, a proto s tímto laserovým zdrojem lze provádět experimenty i pod vodní hladinou. Mezi další aplikace patří testování poškození velkých optických součástí a čerpání titan-safírových krystalů pro generování vysoce výkonných ultrakrátkých laserových pulzů.

V rámci společného uživatelského experimentu vědců z amerického Národního Institutu pro Standardy a Technologie (NIST) a Českého metrologického institutu jsme provedli s laserem BIVOL první přímé měření energie extrémních laserových pulsů pomocí hybnosti fotonů [1], a tak demonstrovali novou praktickou metodu pro „in-situ“ kalibraci tradičních pyroelektrických detektorů, které se v současné době používají pro nepřímé měření energie a výkonu výkonových laserů.

S dvouletým zpožděním, způsobeným pandemií Covid-19, jsme v červnu 2022 v Kongresovém centru Praha úspěšně zorganizovali 23. ročník Mezinárodního sympozia o vysokovýkonných laserových systémech a aplikacích (HPLS&A 2022), kterého se zúčastnilo více než 100 účastníků.

S cílem podpořit komplexní přístup k cirkulární ekonomice byl v září zahájen projekt 40 analytických výzkumných infrastruktur po celé Evropě, mezi něž patří i Centrum HiLASE, s názvem ReMade@ARI, který se věnuje vývoji inovativních a udržitelných materiálů pro klíčové komponenty v nejrůznějších odvětvích, jako jsou elektronika, baterie, vozidla, stavebnictví, obaly, plasty, textil a potraviny.

Prestížní Cenu Wernera von Siemense za první místo v kategorii Nejlepší disertační práce získal kolega Petr Hauschwitz s prací „Velkoplošná funkcionalizace povrchů pomocí laserem vytvořených mikro- a nanostruktur“. Jan Kaufman obdržel na 14. ročníku mezi-



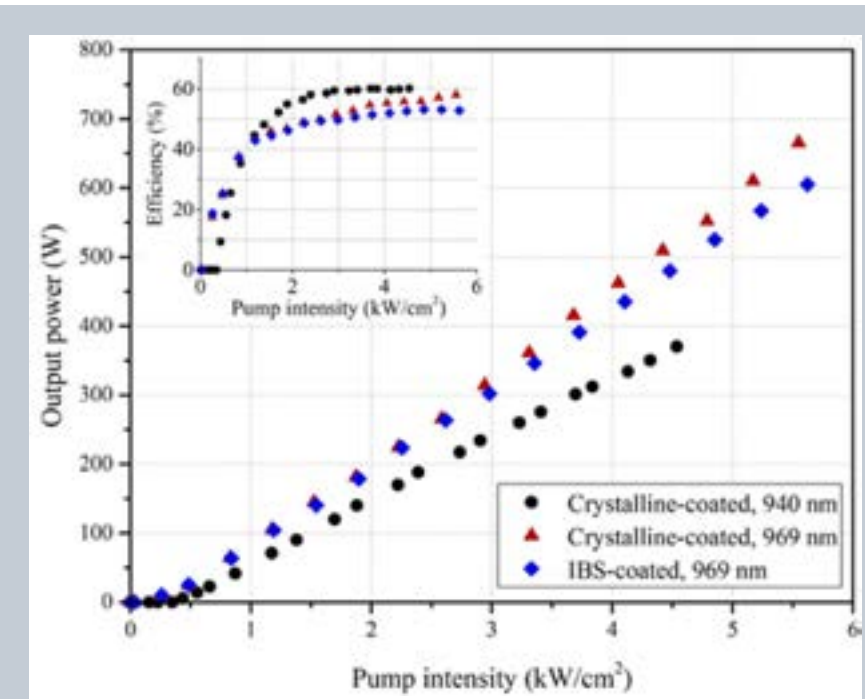
národní konference o zpevňování povrchu (ICSP-14) ocenění za 2. místo v soutěži o nejlepší studentskou práci s názvem „Laser Shock Peening to enhance stress corrosion cracking and corrosion fatigue resistance in marine aluminium alloys“. Martin Zuckerstein se umístil na 2. příčce v kategorii Rising Star soutěže Roger Kelly Award pořádané v rámci 7. ročníku Venice International School on Lasers in Materials Science.

Výzkum a vývoj pokročilých laserových systémů

Rozvoj pikosekundových a sub-pikosekundových laserů se středním výkonem > 100 W (platforma PERLA) a přechod do nových spektrálních oblastí vyžaduje postupný rozvoj kvalitních a cenově dostupných komponent spojených s konstrukcí těchto laserů, zejména vlastních zesilovacích modulů – tenkých disků, hlavíc pro jejich účinné optické buzení s vysokou homogenitou budícího svazku, elektrooptických Pockelsových cel, optických vrstev atd. Byla publikována práce pro-

kazující efektivitu nového typu spojování monokrystalů yttrito-hlinitého granátu (YAG) dopovaného aktivními prvky (Ho, Yb) s chladičí podložkou z karbidu křemíku (SiC) bez použití lepidel (obr. 1), přičemž součástí spoje je dielektrická reflexní vrstva, která se na vytvoření spoje podílí [2]. Na vyvinutou technologii byla podána žádost o mezinárodní patent. Další patentové přihlášky byly podány např. na výše jmenovaný optický systém pro homogenizaci budícího svazku.

Pro praktické využití platformy PERLA je kritická vysoká kvalita laserového svazku, která by se ideálně měla blížit difrakčně limitované mezi. Klíčem k úspěš-



Obr. 2.5.1 Výstupní výkon a účinnost tenkých disků s krystalickým povlakem bez použití lepidla ve srovnání s disky Yb:YAG potaženými metodou IBS a s epoxidovým lepidlem.

nému vývoji je analýza intenzity svazku a vlnoplochy, která je zejména u holmiem dopovaných laserů emitujících ve spektrální oblasti 2 μm obtížně měřitelná. Vyvinuli jsme proto nový typ senzoru vlnoplochy využívající principu Shack-Hartmann [3], který umožní efektivně analyzovat a optimalizovat vlnoplochu Ho:YAG laserů, u nichž je pravděpodobný vysoký aplikační potenciál, mj. ve strategické oblasti vesmírných technologií.

V systému BIVOJ, který v roce 2021 dosáhl výkonu 1,5 kW a energie 150 J na 10 Hz na vlnové délce 1030 nm, se povedl vyřešit problém s teplem indukovanou anizotropií uvnitř laseru a depolarizací laserového svazku. Bylo experimentálně ověřeno, že v jejím důsledku dochází ke ztrátě > 30 % energie pulsu v případě, kdy je potřeba pro další operace homogenní lineárně polarizovaný laserový svazek. Byl vyvinut postup kombinující měření přenosových vlastností optického systému laseru a unikátní výpočetní algoritmus, který s vysokou úspěšností dokáže předpovědět správnou kombinaci 4 nezávislých parametrů sady vlnových destiček na vstupu do hlavních zesilovačů tak, že dojde k předkompenzování teplem indukované anizotropie systému. Díky tomu byly ztráty energie pulsu vlivem depolarizace redukovány pod 3 %. To vedlo k rekordní

Vývoj průmyslových laserových aplikací

V roce 2022 došlo k výstavbě 2. robotického laserového pracoviště (LSP2, obr. 2.5.2). Nová stanice je rozdělena do dvou propojených místností. Jedna místnost je určena pro laserové zdroje a momentálně je v ní umístěn kompaktní laserový systém Litron, který byl v předešlém roce provizorně využíván v první laserové stanici (LSP1). Druhá místnost obsahuje pracovní prostor pro peenování, kolem kterého jsou umístěna dvě robotická ramena se zvýšenou nosností. Celá stanice je opatřena moderní robotickou a laserovou bezpečností. Publikáční činnost v roce 2022 se týkala hlavně aplikace procesu LSP na 3D vytisklé materiály, konkrétně pak na nerezové oceli 316L a 304. Výsledky byly publikovány v časopisech Surface Engineering a Journal of Materials Research and Technology. Současně také v září 2022 proběhla úspěšná obhajoba dizertační práce vedoucího skupiny Jana Kaufmana na toto téma.

V roce 2022 proběhla rekonstrukce laboratoře a instalace nového laserového stroje umožňujícího v rámci jedné pracovní plochy kombinovat vícesvazkové technologie jako interference, vícesvazkové obrábění a tvarování svazku s klasickými jednosvazkovými technologiemi a posuvy pro přesné 5osé obrábění. Laboratoři mikroobrábění se dále podařilo dosáhnout světového rekordu v rychlosti nanostrukturování pomocí SLM (> 900 cm^2/min) a dále vyvinout metodu pro snížení frikce obráběcích nástrojů povlakovaných AlTiN – výsledky byly publikovány v časopise Surface

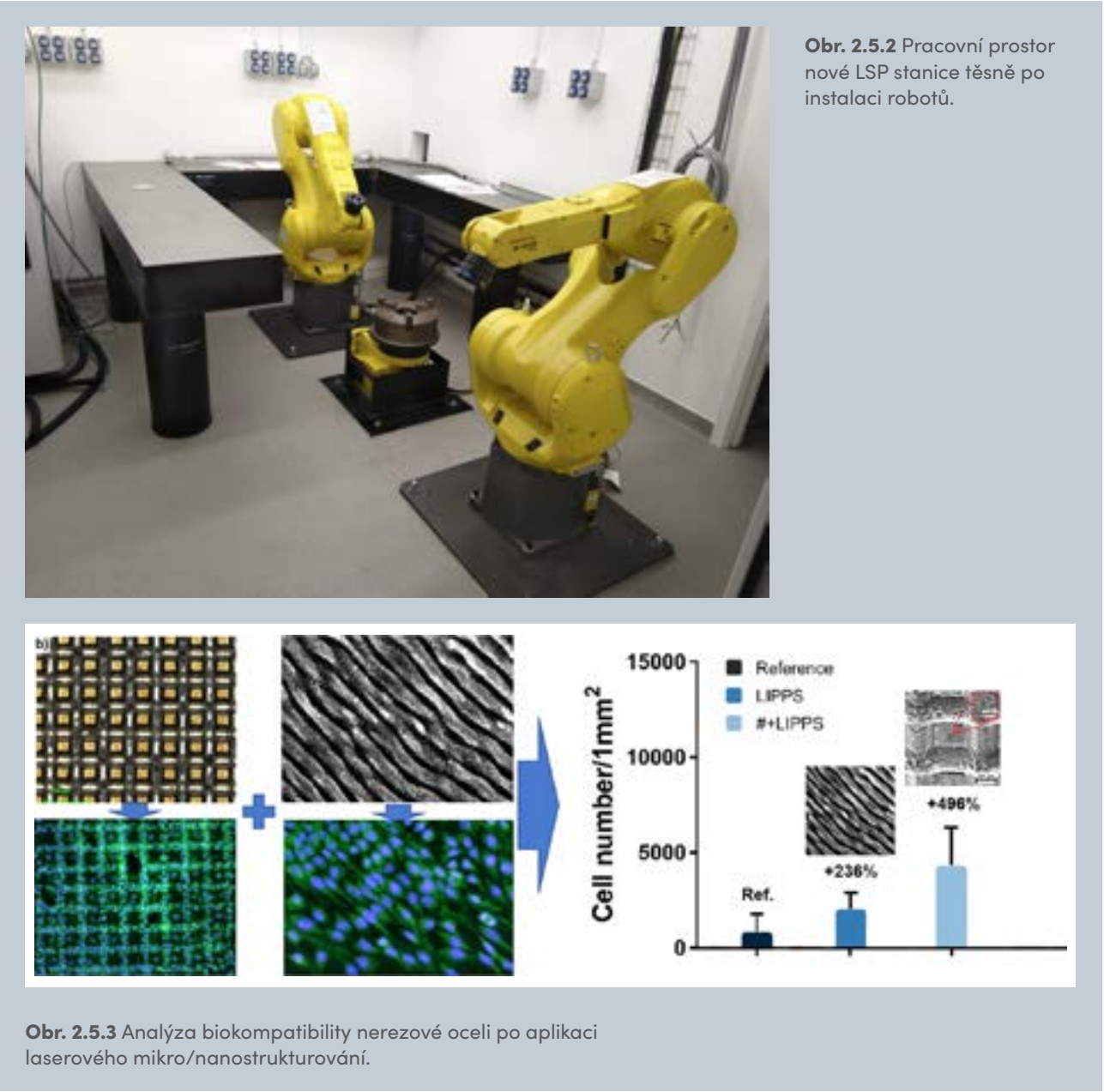
energii pulsů dosažené na druhé harmonické frekvenci. Algoritmus může pomoci vyřešit obdobný problém velkých laserových systémů ve světě [4].

Rozšíření aplikačního potenciálu laserů do velké míry závisí na spektru vlnových délek, které emitují. Efektivním způsobem, jak toho dosáhnout, je konverze laserových pulsů do harmonických frekvencí. Vědecky unikátní jsou zejména výsledky dosažené konverzí do 4. a 5. harmonické frekvence Yb:YAG laserů (257,5 nm a 205 nm). Naše snaha vede zejména ke zvýšení energie ultrakrátkých pulsů a zvýšení kvality svazku v UV oblasti. S tím je spojen laserem indukovaný práh poškození a kvalita konverzních krystalů, kterou jsme podrobněji zkoumali [5]. Také byla prostudována možnost využití konverze do druhé harmonické frekvence pro zkrácení laserových pulsů [6]. Tým nelineární optiky publikoval teoretickou studii na možnosti generování a zesilování ultrakrátkých pulsů ve střední infračervené oblasti v optických parametrických systémech buzených na vlnové délce 1030 nm (platforma PERLA) s využitím nových typů nelineárních krystalů [7]. Slibné výsledky byly experimentálně ověřeny ve spolupráci s MBI Berlín [8].

Engineering. Vedle toho proběhla řada úspěšných testů interakce laserem vytvořených povrchů pro lepší biokompatibilitu a kontrolu nad růstem buněk i bakterií (obr. 2.5.3). Tyto výsledky byly dosaženy díky spolupráci mezi HiLASE, TUL a BioCEV.

Laboratoř LIDT se zabývá primárně poškozením vyvolaným laserem a souvisejícími oblastmi. V roce 2022 byly rozšířeny experimentální kapacity o UV oblast (vlnová délka 343 nm) a nastaven nový směr k výzkumu aplikací založených na paralelním laserovém zpracování (multi-beam processing). Aktivita v tomto směru pomohla úspěšně dokončit projekt vývoje optické sestavy a procesu založeného na nelineární absorpci pro TGV ve spolupráci s Korea Institute of Machinery and Materials a firmami Meopta a Philoptics. Laboratoř se zároveň zapojila do projektu Národního centra kompetence, ve kterém bude nadále rozvíjet směry měření prahu poškození laserem v UV a IR oblasti a paralelního laserového zpracování. Díky výsledkům z předchozí činnosti byla navázána úzká spolupráce s firmou Meopta, která povede k dalším společným projektům v oblasti optiky pro UV.

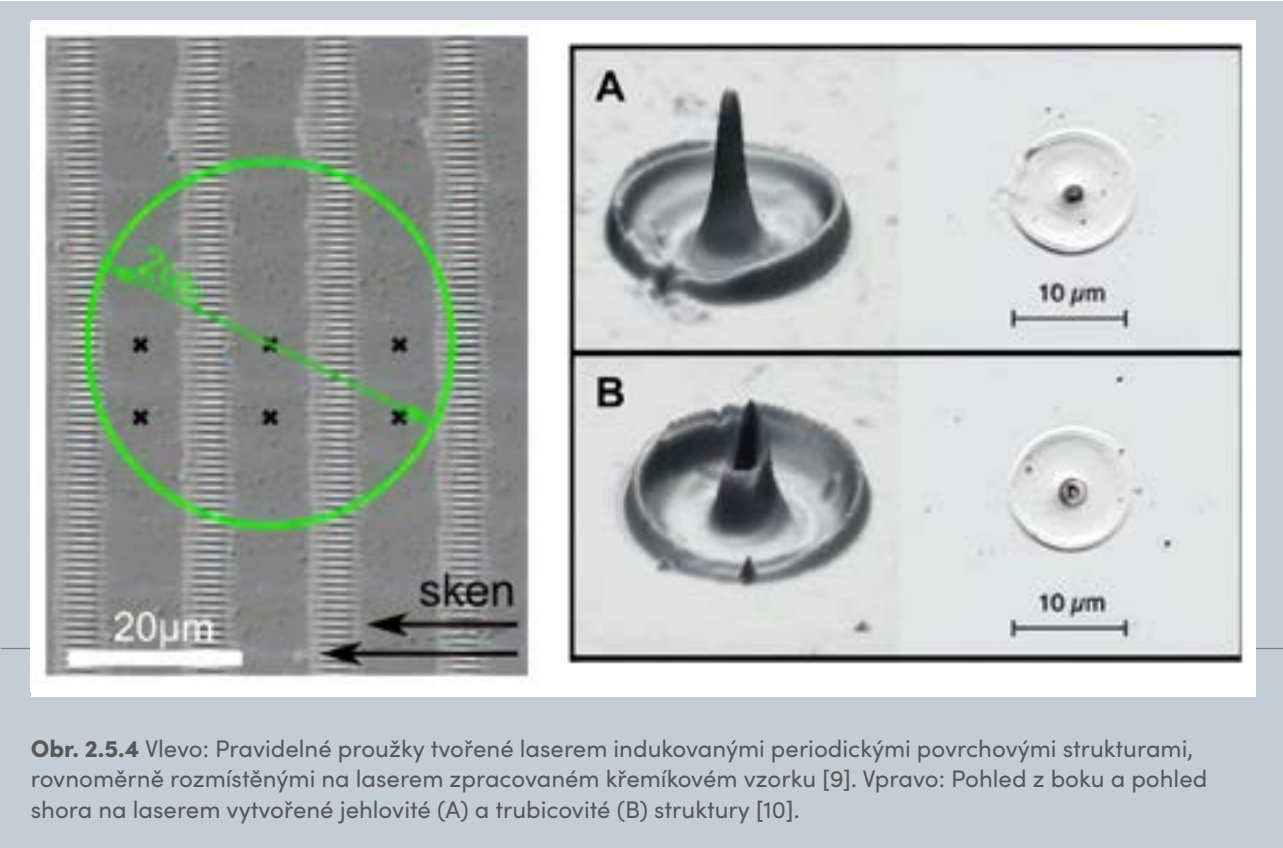




Laserová příprava nových materiálů a přizpůsobení jejich vlastností

Pokročilé techniky laserového zpracování materiálů jsou vynikajícím nástrojem pro úpravu nebo přizpůsobení vlastností kovů, polovodičů i dielektrik. V této oblasti probíhá rozsáhlý výzkum zaměřený na různé techniky, jak rozšířit a vylepšit funkční vlastnosti materiálů s cílem otevřít cestu novým aplikacím. V roce 2022 jsme s použitím ultrakrátkých pulzů vyvinuli povrchové polovodičové struktury s novými funkčními vlastnostmi. Skenováním laserovým svazkem po povrchu křemíku jsme vytvořili pravidelné, laserem in-

dukované periodické povrchové struktury (laser-induced periodic surface structures, LIPSS) na velké ploše vzorku [9] (obr. 2.5.4, vlevo), což rozšiřuje možnosti modifikace povrchů. Pomocí ultrakrátkých pulzů s profilem stopy ve tvaru donutu se podařilo vytvořit reprodukovatelné jehlovité a trubicovité struktury (obr. 2.5.4, vpravo). Rovněž se podařilo vytvořit pole těchto struktur [10]. Svými rozměry jsou vytvořené struktury vhodné pro aplikace na úrovni buněčných rozhraní a mohou být využity v oblasti cílené intracelulární dopravy léčiv. Technika laserem asistovaného povrchového strukturování byla také úspěšně použita pro dosažení specifických tribologických vlastností [11] a k vytvoření strukturování vhodného pro efekt



povrchem zesíleného Ramanova rozptylu (Surface-enhanced Raman scattering – SERS) [12].

Laserem PERLA-B, který byl vyvinut na HiLASE, byly vytvořeny nanokrystaly germania v křemíkové mřížce, a to pomocí selektivní krystalizace multivrstev a-Ge/Si [13]. Podařilo se identifikovat neablativní režimy vhodné pro interakci materiálu s laserem, při nichž dochází ke krystalizaci germania bez toho, aby současně byly ovlivněny nanovrstvy křemíku. Selektivní krystalizace v multivrstvách má význam pro vývoj flexibilní elektroniky a může také nalézt uplatnění ve výrobě tenkovrstvých solárních článků.

Zvláštní pozornost v rámci našeho výzkumu je věnována nelineární optické odezvě materiálů za přítomnosti silných elektromagnetických polí, což vede ke generaci vysokoenergetických fotonů. Ozáření křemíku sérií laserových pulzů se podařilo demonstrovat nový jev – výrazné zesílení míry, s jakou dochází ke generování vyšších harmonických frekvencí vlivem Van Hoveových singularit ve sdružené hustotě stavů křemíku. Výsledky experimentů doplňují numerické simulace na základě teorie časově závislého funkcionálu hustoty (TD-DFT) [14].

Laserové metody syntézy nanomateriálů se staly účinnou a všestrannou technologií produkce nanočástic a nanostruktur z různých materiálů (kovů, oxidů, polovodičů) a to v různých prostředích. Naše oddělení provádí výzkum laserové syntézy nových materiálů v kapalinách, který zahrnuje i přípravu hybridních a kompozitních nanočástic pro snímání parametrů okolí nebo teranostiku s konkrétním zaměřením

na mechanismus jejich formování za extrémních ozařovacích podmínek [15]. Kromě toho jsme zpracovali komplexní teoretickou studii vlivu ultrakrátkých laserových pulzů na kovové materiály ve formě tenkých vrstev i objemového materiálu. Za použití numerické simulace jsme zkoumali proces tání vrstvy molybdenu a efekt přenosu energie z vrstvy na substrát s důrazem na možnost poškození substrátu v souvislosti s deformací skla [16]. Pomocí simulací využívajících pokročilý dvouteplotní model jsme přímým srovnáním s výsledky experimentů s povrchovým poškozením odhalili efekt částečného zapojení elektronů v optické odezvě kovů [17].

Specifické projevy vysokoparametrových interakcí fotonů a nabitých částic

Efektivní využití nových zdrojů krátkovlnného elektromagnetického záření o vysokém špičkovém jasu vyžaduje především přesnou charakterizaci jejich výstupních parametrů. V roce 2022 jsme charakterizovali [18] svazek RTG laseru s volnými elektrony (*European XFEL* v Schenefeldu, SRN) fokusovaného na plošku průměru 1 mikrometru dvěma Kirkpatrick-Baezovými (KB) zrcadly, jejichž vysoká kvalita byla před osazením kontrolována pomocí optické metrologie. Práce [18] představuje systematickou a komplexní studii fokusační přesnosti poskytované zakřivenými mřížkami při zobrazování RTG FEL svazků v reálném čase.

Zkoumali jsme nejen RTG záření, ale pohybovali jsme se také na delších vlnových délkách. Vyšetřovali jsme kritický jev změny mezi Rabiho oscilací a hladkou adiabatickou excitací v atomárních přechodech do autoionizujících stavů. Ukázali jsme, že je doprovázen koalescencí tranzitních bodů – singularit, které definují průběh neadiabatické dynamiky [19]. Navrhli jsme novou experimentální metodu k určení kritické křivky v parametrické rovině laserových impulzů, která umožňuje prokázání zvláštního bodu (*exceptional point*).

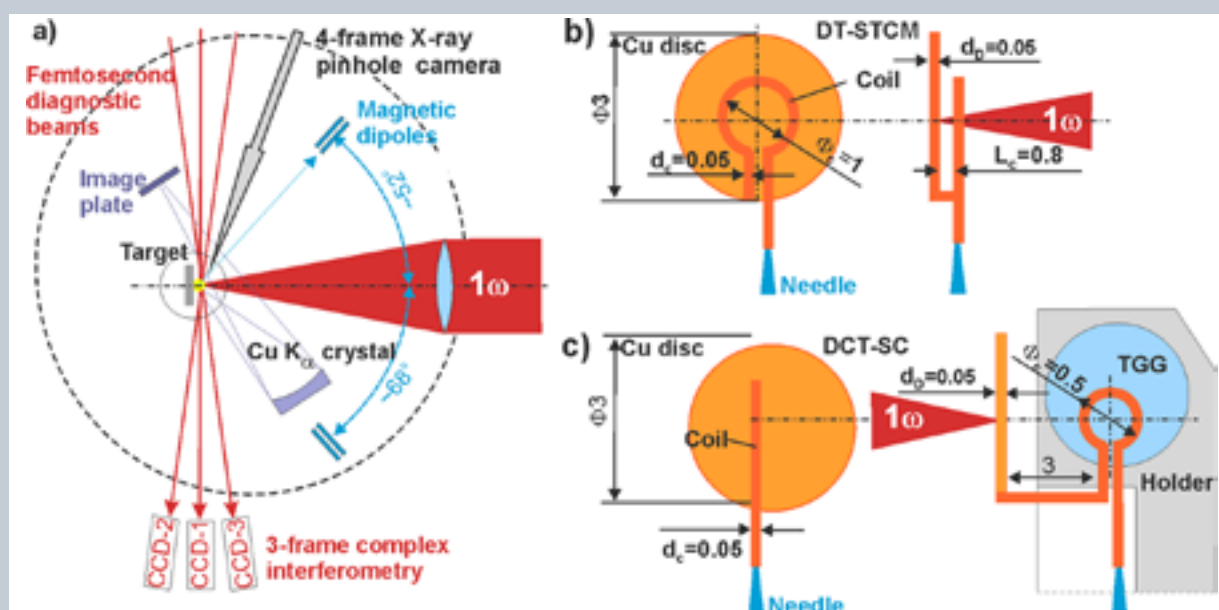
Kromě fotonů byly na našem oddělení teoreticky i experimentálně studovány interakce elektricky nabitých částic. Experimentální výzkum generace horkých elektronů provedený na VVI PALS potvrdil možnost generovat zde velmi silné magnetické pole, jehož mag-

netická indukce dosahovala hodnot větších než 5 T při ozařování terčů speciálního tvaru laserovými impulzy o energii 500 J [20]. Terče byly zhotoveny z měděné fólie tloušťky 50 mikrometrů a skládaly se z disku o průměru 3 mm a jednozávitové cívky o průměru 0,5 mm nebo 1 mm (obr. 2.5.5). Tento speciální tvar terče představující systém kondenzátor-cívka umožnil generovat horké elektrony, jejichž proudové hustoty dosahovaly hodnot 10^{12} A/cm² a energie až 1 MeV. Ty pak generovaly zmíněné silné magnetické pole.

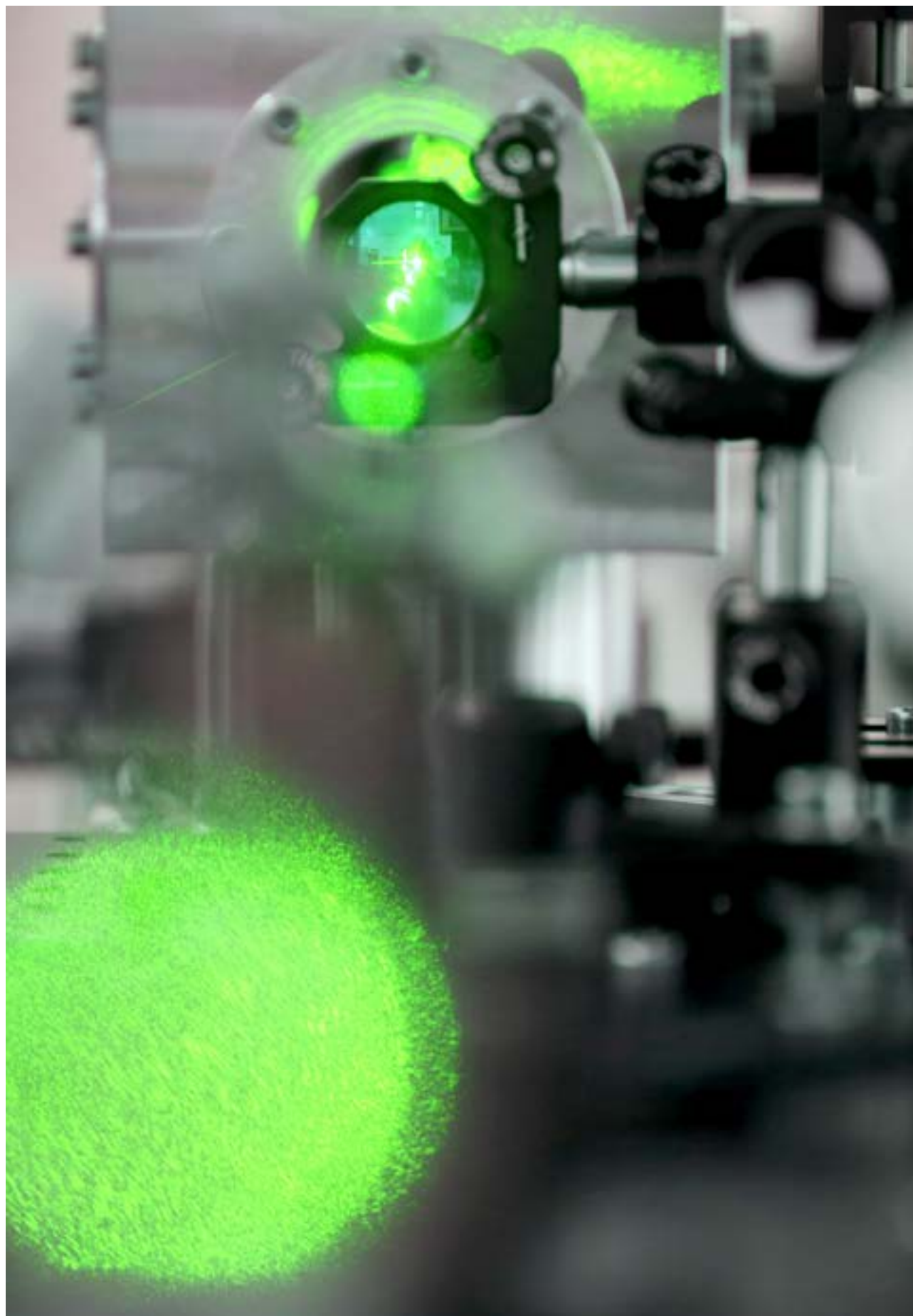
Ozařování různých materiálů energetickými ionty je ve vědeckotechnické a průmyslové praxi již dlouho široce využíváno k různým účelům, např. pro iontovou implantaci v polovodičovém průmyslu, iontové odprašování pro nanostrukturování a vytváření tenkých vrstev, dále pro analytické účely (SIMS, RBS aj.), v dozimetrii stop a mnoha dalších oborech. Mechanismus působení rychlých iontů na strukturu materiálů však dosud není plně objasněn. Dlouhou dobu odolával řešení následující problém: na jedné straně je elektron-fononová interakce, relativně pomalý proces probíhající na pikosekundové časové škále; na druhé straně se iontové stopy vytvářejí během ~100 fs, což vyžaduje mnohem rychlejší přenos energie z elektronů na atomy. Tento zdánlivý paradox jsme vyřešili v práci [21]. Ukázali jsme, že nikoliv elektron-fononová interakce, ale změny meziatomového potenciálu způsobené elektronickou excitací řídí ohřev atomů v iontových stopách, a proto může být přenos energie ve stopě velmi rychlý. Navrhli jsme také nový efektivní model pro popis těchto jevů a provedli řadu počítačových simulací [22].

LITERATURA

- [1] Paul A. Williams, Kyle A. Rogers, Martin Divoky, Geiland Porrovecchio, Jiří Tesař, Marek Smid, and John H. Lehman, „Extreme laser pulse-energy measurements by means of photon momentum,” *Opt. Express* **30**, 7383–7393 (2022). <https://doi.org/10.1364/OE.448815>
- [2] Jan Cvrček, Martin Cimrman, David Vojna, Denisa Štěpánková, Ondřej Forst, Martin Smrž, Ondřej Novák, Ondřej Slezák, Michal Chyla, Michal Jelínek, Tomáš Mocek, „Investigation of the lasing performance of a crystalline-coated Yb:YAG thin-disk directly bonded onto a silicon carbide heatsink,” *Opt. Express* **30** (2022) 7708–7715. <https://doi.org/10.1364/OE.450025>
- [3] H. Zhou, J. Pilař, M. Smrž, L. Chen, M. Čech, T. Mocek, „Adaptive optics system for a short wavelength mid-IR laser based on a Shack-Hartmann wavefront sensor and analysis of thermal noise impacts,” *Appl. Opt.* **61** (2022) 7958–7965. <https://doi.org/10.1364/AO.464676>
- [4] O. Slezák, M. Sawicka-Chyla, M. Divoký, J. Pilař, M. Smrž, T. Mocek, „Thermal-stress-induced birefringence management of complex laser systems by means of polarimetry,” *Sci. Rep.* **12** (2022) 18334(1) – 18334(7). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-22698-9>
- [5] H. Turčičová, O. Novák, J. Mužík, D. Štěpánková, M. Smrž, T. Mocek, „Laser induced damage threshold (LIDT) of β -barium borate (BBO) and cesium lithium borate (CLBO) – Overview,” *Opt. Laser Technol.* **149** (2022) 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2022.107876>
- [6] M. Duda, O. Novák, M. Cimrman, J. Huynh, M. Smrž, T. Mocek, „Spectral broadening and a prospect for pulse compression of Yb:YAG thin-disk laser pulses by nonlinear SHG in a BBO crystal with time predelay and tilting of the pulse fronts,” *Opt. Continuum* **1** (2022) 16(1) – 30(14). <https://doi.org/10.1364/PTCON.437879>
- [7] Lu Zhou, O. Novák, M. Smrž, T. Mocek, „Analysis of broadband mid-infrared optical parametric amplification based on LiGaS₂, LiGaSe₂, LiInS₂, and LiInSe₂ crystals,” *J. Opt. Soc. Am. B – Opt. Phys.* **39** (2022) 1174(1) – 1185(11). <https://doi.org/10.1364/JOSAB.454372>
- [8] Martin Duda, Lorenz von Grafenstein, Martin Bock, Dennis Ueberschaer, Pia Fuertjes, Lukáš Roškot, Martin Smrž, Ondřej Novák, and Uwe Griebner, „10- μ J few-cycle 12- μ m source based on difference-frequency generation driven by a 1-kHz mid-waved infrared OPCPA,” *Opt. Lett.* **47** (2022) 2891–2894. <https://doi.org/10.1364/OL.456971>
- [9] J. Sládek, Y. Levy, T.J.-Y. Derrien, Z. Brykhar, N. M. Bulgakova, Silicon surface patterning by regular stripes of laser-induced periodic surface structures, *Appl. Surf. Sci.* **605** (2022) 154664. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2022.154664>
- [10] M. Zukerstein, J. Hrabovský, J. Sládek, I. Mirza, Y. Levy, N.M. Bulgakova, Formation of tubular structures and microneedles on silicon surface by doughnut-shaped ultrashort laser pulses, *Appl. Surf. Sci.* **592** (2022) 153228. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2022.153228>
- [11] E. Maggiore, I. Mirza, D. Dellasega, M. Tommasini, P. M. Ossi, Sliding on snow of Aisi 301 stainless steel surfaces treated with ultra-short laser pulses, *Appl. Surf. Sci. Adv.* **7** (2022) 100194. <https://doi.org/10.1016/j.apsadv.2021.100194>
- [12] S. V. Starinskiy, A. I. Safonov, Y. G. Shukhov, V. S. Sulyeva, I. V. Korolkov, V. A. Volodin, L. S. Kibis, A. V. Bulgakov, Nanostructured silver substrates produced by cluster-assisted gas jet deposition for surface-enhanced Raman spectroscopy, *Vacuum* **199** (2022) 110929. <https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2022.110929>
- [13] V. A. Volodin, G. K. Krivyakin, A. V. Bulgakov, Y. Levy, J. Beránek, S. Nagisetty, Z. Brykhar, N. M. Bulgakova, P. V. Geydt, A. A. Popov, Picosecond infrared laser crystallization of Ge layers in Ge/Si multi-nanolayers for optoelectronic applications, *Proc. SPIE* **12157** (2022) 1215702. <https://doi.org/10.1117/12.2622731>
- [14] P. Suthar, F. Trojánek, P. Malý, T. J.-Y. Derrien, M. Kozák, Role of Van Hove singularities and effective mass anisotropy in polarization-resolved high harmonic spectroscopy of silicon, *Commun. Phys.* **5** (2022) 288. <https://doi.org/10.1038/s42005-022-01075-y>
- [15] A. V. Bulgakov, N. M. Bulgakova, Recent advances in nanoparticle generation in liquids by lasers: Revealing formation mechanisms and tailoring properties, *Sci. China Phys. Mech.* **65** (2022) 274207. <https://doi.org/10.1007/s11433-021-1858-9>
- [16] K. Hlinomaz, Y. Levy, T. J.-Y. Derrien, N. M. Bulgakova, Modeling thermal response of Mo thin films upon single femtosecond laser irradiation: Dynamics of film melting and substrate softening, *Int. J. Heat Mass Transf.* **196** (2022) 123292. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2022.123292>
- [17] S. A. Lizunov, A. V. Bulgakov, E. E. B. Campbell, N. M. Bulgakova, Melting of gold by ultrashort laser pulses: advanced two-temperature modeling and comparison with surface damage experiments, *Appl. Phys. A* **128** (2022) 602. <https://doi.org/10.1007/s00339-022-05733-4>
- [18] G. Mercurio, J. Chalupský, I. Nistea, M. Schneider, V. Hájková, N. Gerasimova, R. Carley, M. Cascella, L. Le Guyader, L. Mercadier, J. Schlappa, K. Setoodehnia, M. Teichmann, A. Yaroslavlsev, T. Burian, V. Vozda, L. Vyšín, J. Wild, D. Hickin,



Obr. 2.5.5 Uspořádání interakčního experimentu [20]: (a) schéma umístění diagnostiky v experimentální komoře, (b) terč na bázi disk-cívka s jedním závitom pro vytvoření magnetizovaného plazmatu (DT-STCM), (c) terč DCT-SC upravený pro měření magnetického pole v cívkě pomocí Faradayova jevu v terbiu galiovém granátu (TGG).



- A. Silenzi, M. Stupar, J. T. Delitz, C. Broers, A. Reich, B. Pfau, S. Eisebitt, D. La Civita, H. Sinn, M. Vannoni, S. G. Alcock, L. Juha, A. Scherz, „Real-time spatial characterization of micrometer-sized X-ray free-electron laser beams focused by bendable mirrors“. *Optics Express* 30 (2022) 20980–20998 <https://doi.org/10.1364/OE.455948>
- [19] P. R. Kaprálová-Žďánská, M. Šindelka, N. Moiseyev, „Coalescence of two branch points in complex time marks the end of rapid adiabatic passage and the start of Rabi oscillations“. *Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical* 55 (2022) 284001 <https://doi.org/10.1088/1751-8121/ac76f7>
- [20] T. Pisarczyk a kol. „Influence of the magnetic field on properties of hot electron emission from ablative plasma produced at laser irradiation of a disc-coil target“. *Plasma Phys. Control. Fusion* 64 (2022) 115012 (16pp) <https://doi.org/10.1088/1361-6587/ac95c4>
- [21] N. Medvedev and A. E. Volkov, „Nonthermal acceleration of atoms as a mechanism of fast lattice heating in ion tracks“. *J. Appl. Phys.* 131 (2022) 225903 <https://doi.org/10.1063/5.0095724>
- [22] N. Medvedev, F. Akhmetov, R. A. Rymzanov, R. Voronkov and A. E. Volkov, „Modeling time-resolved kinetics in solids induced by extreme electronic excitation“. *Adv. Theory Simulations* 5 (2022) 2200091 <https://doi.org/10.1002/adts.202200091>



2.6 Sekce realizace projektu ELI Beamlines



„Plná integrace všech technologických i lidských prostředků ELI Beamlines do nově vzniklé organizace ELI ERIC od 1. ledna 2023 umožní další zlepšení technických a organizačních podmínek dostupných pro externí uživatele a experimentální skupiny. Očekáváme, že dosáhneme plné uživatelské kapacity do tří let.“

Ing. Roman Hvězda

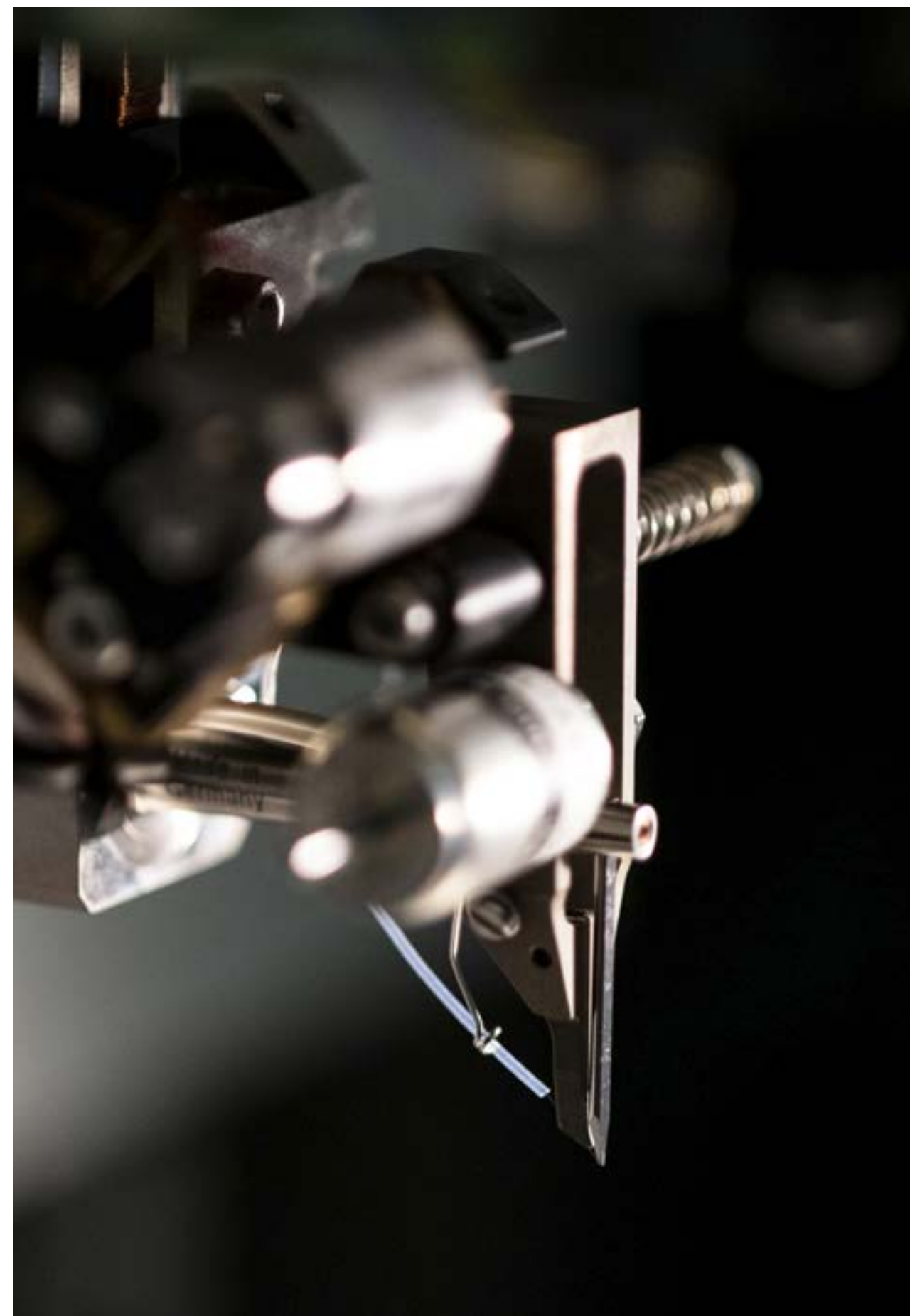
Hlavní činnosti ELI Beamlines v roce 2022 byly zaměřeny na splnění těchto klíčových úkolů:

- zlepšení uživatelského přístupu, jakož i výkonů na čtyřech experimentálních stanicích v hale E1 podporovaných laserem L1 Allegra,
- dokončení pokročilých činností uvádění L3 HAPLS do provozu na dostupných experimentálních stanicích v halách E3 a E4 s hlavním cílem zlepšení kvality paprsku (schopnost zaostření, kontrast a provoz s vysokou rychlostí opakování) na targetu,
- úplné uvedení experimentálního řetězce do provozu s využitím současných schopností nekomprimovaného laserového paprsku L4 ATON (L4n) na úrovni kiloJoulové energie, včetně jeho frekvenční konverze a prvního experimentu fyziky plazmatu v hale E3,
- zahájení technologického uvádění do provozu experimentálních řetězců založených na laserovém wakefieldu v hale E5.

Pracovníci ELI Beamlines, kteří se věnují provozu primárních i sekundárních zdrojů, získali další zkušenosti během pokročilých fází uvádění do provozu, které umožnily využít současných výkonů laserového systému L3 HAPLS a dalších technologií vyvinutých pro provoz uživatelských beamlines s vysokou rychlostí opakování (např. zaměřování, diagnostika a nástroje pro analýzu dat z pulzů). ELI Beamlines spustil dvě

uživatelské výzvy cílené na uvádění do provozu jednotlivých technologií (L3 HAPLS na beamline ELIMAIA v hale E4 a L4f na experimentální stanici P3). Tímto bude zajištěno dokončení finálních fází při uvádění našich technologií do provozu ve spolupráci s předními mezinárodními odborníky. Toto by mělo zajistit včasnou připravenost programu vysokého výkonu pro nadcházející výzvu ELI ERIC 2.

Z organizačního hlediska byla hlavní činností v zařízení ELI Beamlines v průběhu roku 2022 příprava na přechod z Fyzikálního ústavu Akademie věd a začlenění do nově vzniklé organizace ELI ERIC vytvořené Evropskou komisí, aby umožňovala provoz výzkumných infrastruktur celoevropského významu. Tento proces byl schválen všemi zúčastněnými stranami a představuje bezprecedentní úsilí ve vnitrostátním i evropském kontextu, které zintenzivnilo interakci mezi zúčastněnými stranami a vyjasnilo jejich role v budoucí podpoře ELI. Tento důležitý přechod byl hladce a úspěšně realizován na přelomu let 2022/2023.



Oddělení fyziky záření a urychlování elektronů

Počítačové simulace procesů kvantové elektrodynamiky (QED) během interakce laseru s pevným terčem odhalují generaci γ -záření. Laserem generované γ -fotonové ozařování terčů s vysokým Z má za následek vznik elektron-pozitronových párů a tvorbu radioaktivních nuklidů [1]. Interakce laseru s elektrony představuje platformu pro stadium QED za mezí platnosti poruchové teorie. Při interakci relativistického terče urychleného tlakem záření s laserovým impulsem indukují QED efekty kompresi protonového fázového prostoru terče.

Zdroj koherentních femtosekundových pulzů extrémně ultrafialového záření (HHG) byl extenzivně využíván pro uživatelské experimenty a zároveň byl rozšířen o možnost generace vysokých harmonických frekvencí v před-ionizovaném plynu kapilárního výboje [2], což zvýšilo účinnost generace a celkový fotonový tok zdroje. Dále pokračovaly práce na přípravě uživatelských

experimentů s rentgenovým zdrojem K- α záření pracujícím s terčem z Cu pásky. Systém je v současné době schopen ozářit vzorek tokem 10^9 monoenergetických fotonů za sekundu (energie 8 keV). Zdroj rentgenového záření fungující na principu oscilací relativistických elektronů v plazmatu (Gammatron) v experimentální hale E2 byl připojen k distribuci svazku laseru L3 a připraven pro zprovoznění. Zároveň byl dopracován a publikován článek popisující očekávané parametry a uživatelské možnosti tohoto zdroje [3].

Demonstrovali jsme laserové urychlení kolimovaného kvazi-monoenergetického elektronového svazku (50 MeV, $\Delta E/E = 25\%$, 2 mrad) s opakovací frekvencí 1 kHz. Věříme, že takové svazky umožní zavedení technologie LWFA jako inovativního nástroje pro léčbu nádorů a pro generaci jasných monoenergetických rentgenových paprsků ve spektrálním rozsahu (20–50 keV) vhodném pro lékařské zobrazování, rentgenové fluorescenční zobrazování, zobrazování s fázovým kontrastem a radioterapii.

K získání předem vytvořeného plazmového kanálu vhodného pro LWFA je zapotřebí kapilární výboj. 3D MHD simulace procesu plnění plynem a vývoje plazmatu v kapiláře čtvercového tvaru s kanálky pro přívod plynu ukazují nehomogenní rozložení hustoty plazmatu podél kanálu.

LITERATURA

- [1] D. Kolenaty, et al., Electron-positron pairs and radioactive nuclei production by irradiation of high-Z target with γ -photon flash generated by an ultra-intense laser in the λ_3 regime, *Phys. Rev. Research* 4, 023124 (2022). doi.org/10.1103/PhysRevResearch.4.023124

- [2] O. Finke, et al., Phase-matched HHG in pre-ionized noble gases, *Sci. Rep.* 12, 7715 (2022). doi.org/10.1038/s41598-022-11313-6
- [3] U. Chaulagain, et al., ELI Gammatron Beamline: A dawn of ultrafast hard X-ray science, *Photonics* 9, 853 (2022). doi.org/10.3390/photonics9110853

Oddělení urychlování iontů a aplikací vysokoenergetických částic

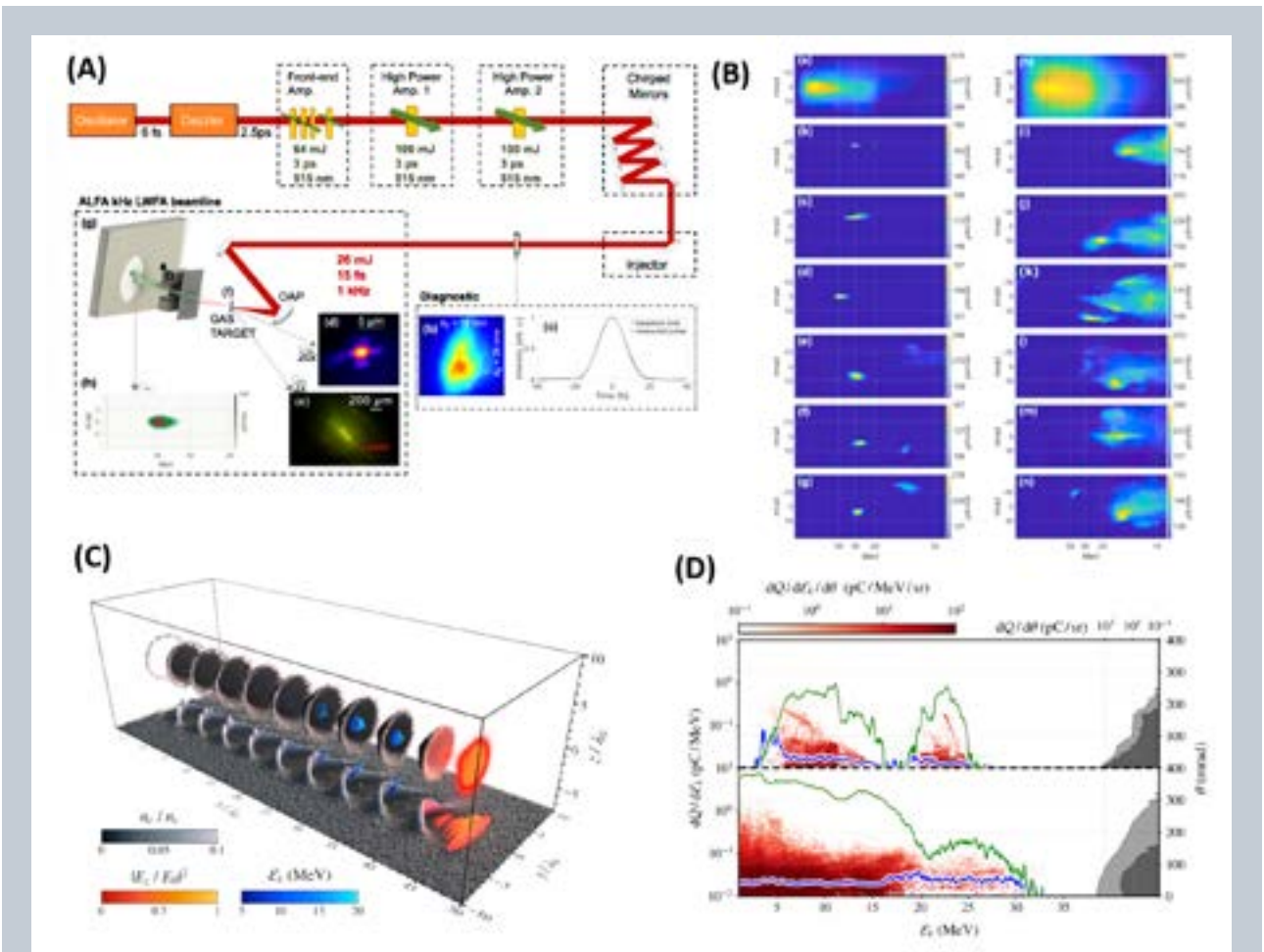
Cílem oddělení je generace iontových zdrojů z laserového plazmatu a provádění průkopnických experimentů zaměřených na předpokládané budoucí aplikace těchto zdrojů ve společnosti a v mezioborových oblastech s důrazem na lékařské aplikace (ELIMED). Optimalizace kvality částicového svazku a jeho reprodukovatelnost (z hlediska prostorového profilu, opakovatelnosti zacílení, divergence a stabilní energie) jsou hlavní priority vědeckého programu oddělení, které se snaží naplnit očekávání vědecké komunity potenciálních uživatelů.

Urychlovač iontů z laserového plazmatu je převáděn do pokročilého provozu. Jedná se o klíčovou fázi umožňující vylepšit parametry laseru L3 HAPLS na terči v interakční komoře ELIMAIA pro uživatelské experimenty. Významné zlepšení parametrů laserového pulzu vedlo ke zvýšení efektivity urychlovače iontů

ELIMAIA založeném na interakci laseru s plazmatem. Tento experiment, zaměřený na využití urychlovače v režimu jednotlivých výstřelů, prokázal stabilní dosažitelnost maximální mezní energie protonů nad 25 MeV.

S laserem Astrella byl experimentálně otestován kapalný terč, kompletně vyvinutý v našem oddělení, který je určen pro vysoké opakovací frekvence řídicího laseru. Úspěšně se prokázalo, že terč lze v interakční komoře kontinuálně provozovat po několik hodin a zároveň jej lze využít pro generaci sekundárního záření až do opakovací frekvence 1 kHz. Interakce laseru s tímto terčem byla během experimentu monitorována několika iontovými detektory, optickým sondováním a diagnostikou g -záření.

Pomocí kompaktního komerčního laseru se středním výkonem a speciálních proton-borových terčů byl proveden experiment prokazující zažehnutí jaderné reakce protonů a jader ^{11}B (p-B fúze) v režimu vysoké opakovací frekvence, která poskytuje kontinuální tok energetických částic alfa. Očekává se, že tento přístup otevře cestu k budoucím aplikacím a částic s energií



Obr. 2.6.1 Unikátní experiment, kde laserové pulzy s frekvencí 1 kHz urychlovaly 50 MeV elektrony. (A) Uspořádání experimentu, kde L1-Allegro laserový systém byl zaostřen na nadzvukový paprsek plynu. (B) Ukázka naměřených elektronových spekter. (C) 3D Simulace částice. (D) Simulované spektrum elektronového paprsku.



Obr. 2.6.2 Interakční oblast laseru s plazmatem ve vakuové komoře ELIMAIA.



několika MeV produkovaných fúzní reakcí indukovanou malými lasery s vysokou opakovací frekvencí.

LITERATURA

- [1] F. Schillaci et al., The ELIMAIA Laser-Plasma Ion Accelerator: Technological Commissioning and Perspectives. *Quantum Beam Sci.* 2022, 6(4), 30
doi.org/10.3390/qubs6040030

- [2] Istokskaia et al., A multi-MeV alpha particle source via proton-boron fusion driven by a 10-GW tabletop laser. *Communications Physics* volume 6, Article number: 27 (2023).
doi.org/10.1038/s42005-023-01135-x

Oddělení strukturní dynamiky

V roce 2022 pokračovalo oddělení v dalším vývoji a provozu uživatelských stanic pro výzkum struktury, dynamiky a funkce vzorků od izolovaných atomů až po komplexní biologické vzorky a materiály v pevném stavu. K tomuto účelu se využívají ultrakrátké pulzy z laserem řízených zdrojů XUV a rentgenového záření, jakož i z primárních infračervených laserů. Ústředními vědeckými oblastmi, kterými se oddělení zabývá, jsou atomová, molekulární a optická věda (AMO), rentgenová difrakce, molekulární dynamika v kondenzovaných látkách a materiálová věda, konkrétně optická transientní absorpce (TA), femtosekundová stimulovaná Ramanova spektroskopie (FSRS) [1], časově rozlišená spektroskopická elipsometrie (trELIps) [2] a technika transientních proudů (TCT).

Uživatelský provoz s otevřeným přístupem je hlavním úkolem oddělení. V roce 2022 podpořilo oddělení 86 týdnů uživatelských experimentů v E1 a přidružených laboratořích.

Vlastní výzkum byl prováděn v souvislosti s nezávislými národními a mezinárodními projekty, jako: Strukturní dynamika biomolekulárních systémů (ELI-BIO) a Pokročilý výzkum s využitím vysoce intenzivního laserem produkovaných fotonů a částic (ADONIS) z Evropského fondu pro regionální rozvoj, projekt IMPULSE (Horizont 2020) a projekty Stanovení kvantových limitů v biomolekulách pomocí entanglovaných fotonů generovaných z navázaného kofaktoru, modelováno na OCP proteinu a Přenos náboje v chromofor-proteinových komplexech tryptofanovými drahami.

Výsledkem vědecké práce je 22 publikací v recenzovaných časopisech, z nichž 9 jsou uživatelské publikace.



Obr. 2.6.3 Experimentální hala E1. Vlevo je beamline pro XUV se zdrojem HHG a koncovými stanicemi XUV; komora MAC pro AMO a koherentní difrakční zobrazování a VUV elipsometr. Uprostřed je beamline pro tvrdé rentgenové záření s plazmovým RTG zdrojem s měděnou páskou a stanicí TREX pro rentgenovou difrakci a spektroskopii. Napravo jsou stanice pro optickou spektroskopii; trELIps, IR spektroskopii a TCT.

LITERATURA

[1] P. Qian, et al., 2.4-Å structure of the double-ring Gemmatimonas phototrophica photosystem, Sci. Adv. (2022), Vol 8, (7), DOI:10.1126/sciadv.abk3139

Oddělení fyziky plazmatu a interakcí s ultravysokou intenzitou

V roce 2022 převažovaly aktivity zaměřené na oživení L4n nanosekundového laseru v experimentální komoře P3 (Plasma Physics Platform) [1]. Dostupnost unikátního laserového svazku L4n v P3 je jedním z hlavních milníků ELI Beamlines. V současné době se jedná o jediný laserový systém na světě s vysokou opakovací frekvencí a s řádově kJ energií. Spojení tohoto laseru s platformou P3 má zásadní význam pro experimenty související s inerciální fúzí (ICF), jakými jsou například studium parametrické nestability plazmatu, neložárního transportu a generování energetických elektronů a rovněž experimenty zaměřené na fyziku rázů (např. stavová rovnice pro nahřátou hustou hmotu), relevantní pro ICF a planetární fyziku.

Velké úsilí bylo vynaloženo na vývoj dvou diagnostických systémů pro časově rozlišené procesy zpětného rozptylu (Ramanův, Brillouinův a dvoupasmonový rozpad) a VISAR/SOP diagnostiku pro aplikace ve fyzice rázových vln. Úspěšné zprovoznění diagnostik a laserového svazku umožnilo otevřít první ERIC výzvu pro uživatele. Infrastruktura L4n-P3 je tedy velmi zajímavá pro evropskou uživatelskou komunitu, kte-

[2] M. Zahradnik, et al., Photo-induced insulator-to-metal transition and excited states in LaCoO₃ using femtosecond pump-probe ellipsometry, Phys. Rev. B, 105, 235213. <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.105.235113>

rá se zabývá produkcí energie z inerciální fúze (IFE), protože může sloužit k testování mnoha fyzikálních a technologických problémů a rovněž jako školicí prostředí pro příští generaci laser-plazma fyziků. Dalším počinem byl vývoj 3D tištěných pěnových terčů ve spolupráci s Ústavem fotoniky a elektroniky AV ČR [2]. Tyto druhy terčů se v posledních několika letech těší značnému zájmu a jsou používány ve specializovaných experimentech zaměřených na interakci laseru s plazmatem v kontrolovaném prostředí v kontextu ICF. Ve spolupráci s průmyslovým partnerem byly na L4n-P3 infrastrukturu rovněž úspěšně testovány vůbec první páskové pěnové terče vyvíjené pro lasery s vysokou opakovací frekvencí.

LITERATURA

[1] F.P. Condamine, et al, Commissioning results from the high-repetition rate nanosecond-kiloJoule laser beamline at the Extreme Light Infrastructure, Plasma Phys. Control. Fusion 65, 015004 (2023), <https://doi.org/10.1088/1361-6587/aca35d>
[2] T. Wiste, et al, Additive manufactured foam targets for experiments on high-power laser-matter interaction, J. Appl. Phys. 133, 043101 (2023), <https://doi.org/10.1063/5.0121650>

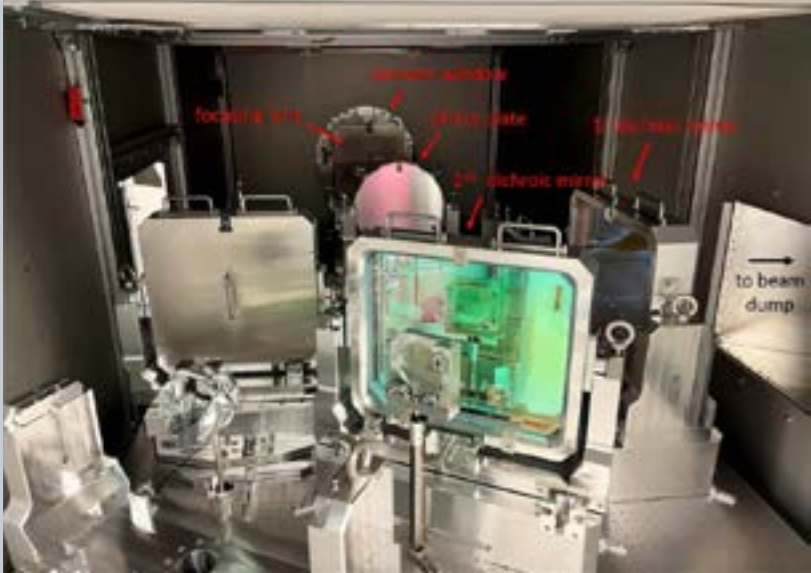
Oddělení laserových systémů

Oddělení 91 vyvíjí a provozuje čtyři výkonové laserové systémy v Centru ELI Beamlines, vyvíjí vybrané laserové a optické technologie a spolupracuje na realizaci vědeckých experimentů využívajících fokusované laserové svazky pro generaci laserového plazmatu, sekundárních rentgenových zdrojů a urychlených částic. Oddělení 91 je strukturováno do čtyř hlavních týmů se zaměřením na jednotlivé laserové systémy, tj. L1-Allegra, L2-DUHA, L3-HAPLS a L4-ATON, a dále do dvou specializovaných podpůrných skupin laserové optiky a elektronických řídicích systémů.

Laserové systémy ELI Beamlines poskytují ultrakrátké pulsy mezi 15 fs a 150 fs a jejich upořádání umožňuje generaci špičkových optických výkonů na úrovni mezi jedním a deseti petawatty. V čerpacích stupních těchto laserových systémů je široce využita nová technologie buzení aktivního prostředí na bázi výkonových laserových diod, což umožňuje generaci výstupních laserových pulsů s velkou opakovací frekvencí a vysokou stabilitou časových i prostorových parametrů.

Mezi hlavní činnosti oddělení 91 v roce 2022 bylo provozování laserových systémů L1-Allegra, L3-HAPLS a L4-ATON pro experimentální projekty, a rovněž pokračující budování laserového systému L2-DUHA včetně instalace jeho optického kompresoru. Souběžně s provozem laserů pro vědecké experimenty probíhá postupné zvyšování výkonu těchto systémů na cílové hodnoty energie a špičkového výkonu. Kromě zvýšení

energie výstupních pulsů laseru L1-Allegra na úroveň 100 mJ bude v nadcházejícím období dosažen špičkový výkon 1 PW v laseru L3-HAPLS, a rovněž proběhnou první testy časově komprimovaných pulsů 1,5 kJ laseru L4-ATON ve zkompletovaném optickém kompresoru. Tento kompresor bude jako disperzní elementy využívat velkoplošné difrakční mřížky o rozměrech 85×70 cm, které jsou největšími svého druhu na světě. Jejich výroba speciálně pro ELI Beamlines byla dokončena v Lawrence Livermore National Laboratory (LLNL) v červnu 2022. Dalšími aktivitami oddělení 91 zahájenými v roce 2022 bylo budování přídatných svazků v systémech L1-Allegra a L4-ATON, časově synchronizovaných s hlavními pulsy těchto laserů, a rovněž budování stanice pro nanášení vysoce homogenních optických multivrstev na substráty o rozměrech až 1 m.



Obr. 2.6.4 Dichroické zrcadlo na pracovní desce před komorou P3.



Obr. 2.6.5 Petawattový laserový systém L3-HAPLS poskytující energii výstupních pulsů 30 J a délku 30 fs.



3. Spolupráce

3.1 Spolupráce s vysokými školami



Akreditované programy

Název VŠ	Součást vysoké školy	Název doktorského programu	Název oboru	Jazyk výuky	Datum platnosti akreditace
České vysoké učení technické v Praze	Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská	Aplikace přírodních věd	Fyzikální inženýrství	Česky	31. 12. 2024
České vysoké učení technické v Praze	Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská	Applications of Natural Sciences	Physical Engineering	Anglicky	31. 12. 2025
Univerzita Karlova	Matematicko-fyzikální fakulta	Physics of Condensed Matter and Materials Research		Anglicky	23. 11. 2032
Univerzita Karlova	Matematicko-fyzikální fakulta	Fyzika kondenzovaných látek a materiálový výzkum		Česky	23. 11. 2032
Univerzita Karlova	Matematicko-fyzikální fakulta	Biophysics, Chemical and Macromolecular Physics		Anglicky	23. 11. 2032
Univerzita Karlova	Matematicko-fyzikální fakulta	Biofyzika, chemická a makromolekulární fyzika		Česky	23. 11. 2032
Univerzita Karlova	Matematicko-fyzikální fakulta	Physics of Condensed Matter and Materials Research		Anglicky	28. 11. 2023
Univerzita Karlova	Matematicko-fyzikální fakulta	Fyzika kondenzovaných látek a materiálový výzkum		Česky	28. 11. 2023
Univerzita Karlova	Matematicko-fyzikální fakulta	Physics of Nanostructures and Nanomaterials		Anglicky	28. 11. 2028
Univerzita Karlova	Matematicko-fyzikální fakulta	Fyzika nanostruktur a nanomateriálů		Česky	28. 11. 2028
Univerzita Karlova	Matematicko-fyzikální fakulta	Biophysics, Chemical and Macromolecular Physics		Anglicky	28. 11. 2023
Univerzita Karlova	Matematicko-fyzikální fakulta	Biofyzika, chemická a makromolekulární fyzika		Česky	28. 11. 2023
Univerzita Karlova	Matematicko-fyzikální fakulta	Particle and Nuclear Physics		Anglicky	28. 11. 2023
Univerzita Karlova	Matematicko-fyzikální fakulta	Částicová a jaderná fyzika		Česky	28. 11. 2023
Univerzita Karlova	Matematicko-fyzikální fakulta	Theoretical Physics, Astronomy and Astrophysics		Anglicky	28. 11. 2028
Univerzita Karlova	Matematicko-fyzikální fakulta	Teoretická fyzika, astronomie a astrofyzika		Česky	28. 11. 2028
Univerzita Karlova	Matematicko-fyzikální fakulta	Quantum Optics and Optoelectronics		Anglicky	28. 11. 2028
Univerzita Karlova	Matematicko-fyzikální fakulta	Kvantová optika a optoelektronika		Česky	28. 11. 2028
Univerzita Karlova	Matematicko-fyzikální fakulta	Physics of Surfaces and Interfaces		Anglicky	28. 11. 2028
Univerzita Karlova	Matematicko-fyzikální fakulta	Fyzika povrchů a rozhraní		Česky	28. 11. 2028
Univerzita Karlova	Matematicko-fyzikální fakulta	Physics of Plasmas and Ionized Media		Anglicky	28. 11. 2028
Univerzita Karlova	Matematicko-fyzikální fakulta	Fyzika plazmatu a ionizovaných prostředí		Česky	28. 11. 2028
Univerzita Karlova	Matematicko-fyzikální fakulta	Physics	Theoretical Physics, Astronomy and Astrophysics	Anglicky	31. 12. 2024
Univerzita Karlova	Matematicko-fyzikální fakulta	Physics	Subnuclear Physics	Anglicky	31. 12. 2024
Univerzita Karlova	Matematicko-fyzikální fakulta	Physics	Quantum Optics and Optoelectronics	Anglicky	31. 12. 2024



Název VŠ	Součást vysoké školy	Název doktorského programu	Název oboru	Jazyk výuky	Datum platnosti akreditace
Univerzita Karlova	Matematicko-fyzikální fakulta	Physics	Physics of Surfaces and Interfaces	Anglicky	31. 12. 2024
Univerzita Karlova	Matematicko-fyzikální fakulta	Physics	Physics of Plasma and Ionized Media	Anglicky	31. 12. 2024
Univerzita Karlova	Matematicko-fyzikální fakulta	Physics	Physics of Nanostructures	Anglicky	31. 12. 2024
Univerzita Karlova	Matematicko-fyzikální fakulta	Physics	Physics of Condensed Matter and Materials Research	Anglicky	31. 12. 2024
Univerzita Karlova	Matematicko-fyzikální fakulta	Physics	Biophysics, Chemical and Macromolecular Physics	Anglicky	31. 12. 2024
Univerzita Karlova	Matematicko-fyzikální fakulta	Fyzika	Teoretická fyzika, astronomie a astrofyzika	Česky	31. 12. 2024
Univerzita Karlova	Matematicko-fyzikální fakulta	Fyzika	Subjaderná fyzika	Česky	31. 12. 2024
Univerzita Karlova	Matematicko-fyzikální fakulta	Fyzika	Kvantová optika a optoelektronika	Česky	31. 12. 2024
Univerzita Karlova	Matematicko-fyzikální fakulta	Fyzika	Fyzika povrchů a rozhraní	Česky	31. 12. 2024
Univerzita Karlova	Matematicko-fyzikální fakulta	Fyzika	Fyzika plazmatu a ionizovaných prostředí	Česky	31. 12. 2024
Univerzita Karlova	Matematicko-fyzikální fakulta	Fyzika	Fyzika nanostruktur	Česky	31. 12. 2024
Univerzita Karlova	Matematicko-fyzikální fakulta	Fyzika	Fyzika kondenzovaných látek a materiálový výzkum	Česky	31. 12. 2024
Univerzita Karlova	Matematicko-fyzikální fakulta	Fyzika	Biofyzika, chemická a makromolekulární fyzika	Česky	31. 12. 2024
Univerzita Karlova	2. lékařská fakulta	Microbiology		Anglicky	23. 10. 2029
Univerzita Karlova	2. lékařská fakulta	Mikrobiologie		Česky	23. 10. 2029
Univerzita Karlova	1. lékařská fakulta	Microbiology		Anglicky	23. 10. 2029
Univerzita Karlova	1. lékařská fakulta	Mikrobiologie		Česky	23. 10. 2029
Univerzita Karlova	Přírodovědecká fakulta	Microbiology		Anglicky	23. 10. 2029
Univerzita Karlova	Přírodovědecká fakulta	Mikrobiologie		Česky	23. 10. 2029
Vysoká škola chemicko-technologická v Praze	Fakulta chemické technologie	Chemistry and Technology of Materials		Anglicky	29. 09. 2029
Vysoká škola chemicko-technologická v Praze	Fakulta chemické technologie	Chemie a technologie materiálů		Česky	29. 09. 2029
Vysoká škola chemicko-technologická v Praze	Fakulta chemické technologie	Chemistry		Anglicky	29. 09. 2029
Vysoká škola chemicko-technologická v Praze	Fakulta chemické technologie	Chemie		Česky	29. 09. 2029
Vysoká škola chemicko-technologická v Praze	Fakulta chemické technologie	Chemistry and Technology of Materials	Metallurgy	Anglicky	31. 12. 2024
Vysoká škola chemicko-technologická v Praze	Fakulta chemické technologie	Chemistry and Technology of Materials	Materials Engineering	Anglicky	31. 12. 2024
Vysoká škola chemicko-technologická v Praze	Fakulta chemické technologie	Chemie a technologie materiálů	Metalurgie	Česky	31. 12. 2024
Vysoká škola chemicko-technologická v Praze	Fakulta chemické technologie	Chemie a technologie materiálů	Materiálové inženýrství	Česky	31. 12. 2024
Vysoká škola chemicko-technologická v Praze	Fakulta chemicko-inženýrská	Molecular Chemical Physics and Sensorics		Anglicky	17. 12. 2029
Vysoká škola chemicko-technologická v Praze	Fakulta chemicko-inženýrská	Molekulární chemická fyzika a senzorika		Česky	17. 12. 2029

3.2 Výuka studentů

3.2.1 Uzavřené dílčí dohody o spolupráci s VŠ při uskutečňování DSP

Celkový počet uzavřených dohod pracoviště AV ČR k 31. 12. 12

3.2.2 Výchova studentů

	Počet absolventů v r. 2022	Počet doktorandů k 31. 12. 2022	Počet nově přijatých v r. 2022	Počet předčasně ukončených v r. 2022
Doktorandi (studenti DSP)	14	196	31	1
- z toho doktorandů ze zahraničí	3	66	13	1

3.2.3 Výchova pregraduálních studentů

	Počet absolventů v r. 2022	Počet pregrad. studentů k 31. 12. 2022	Počet nově přijatých v r. 2022	Počet předčasně ukončených v r. 2022
Počet pregraduálních studentů podílejících se na vědecké činnosti pracoviště	26	61	23	0

3.2.4 Vědecké a vědecko-pedagogické hodnosti pracovníků ústavu

	Vědecko-pedagog. hodnost k 31. 12. 2022	Z toho uděleno v roce 2022
profesor	19	2
docent	23	2
Vědecká hodnost nebo titul k 31. 12. 2022		
DrSc.	21	0
DSc.	8	2
CSc., Ph.D., Dr.	580	20

3.2.5 Pedagogická činnost pracovníků ústavu

	Letní semestr 2021/2022			Zimní semestr 2022/2023		
Celkový počet odpřednášených hodin na VŠ v programech bakalářských/magisterských/ doktorských	758	764	87	836	1018	180
Počet semestrálních cyklů přednášek/ seminářů/cvičení v bakalářských programech	388	246	124	401	328	107
Počet semestrálních cyklů přednášek/ seminářů/cvičení v magisterských programech	488	236	40	875	119	24
Počet pracovníků ústavu působících na VŠ v programech bakalářských/magisterských/ doktorských	40	41	7	42	52	14

3.2.6 Vzdělávání středoškolské mládeže

	Pololetí ve škol. roce 2021/2022		Pololetí ve škol. roce 2022/2023	
Počet odpřednášených hodin	1165		1165	
Počet vedených prací (např. SOČ)	2		2	
Počet organizovaných/spoluorganizovaných soutěží	1	3	0	4



3.3 Mezinárodní spolupráce FZU

Fyzikální ústav dlouhodobě spolupracuje s více než 100 významnými institucemi a univerzitami z celého světa na výzkumné, vývojové a inovační činnosti. V roce 2022 měl Fyzikální ústav uzavřenou dvoustrannou dohodu s 153 mezinárodními institucemi.

Země	Instituce
Belgie	Katholieke Universiteit Leuven
Belgie	QinetiQ
Belgie	University of Antwerp, Electron Microscopy for Material Science
Belgie	Xeryo
Brazílie	Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, Instituto de Física Teórica
Kanada	Institut National de la Recherche Scientifique
Čína	Čínská akademie věd, Guo China-US Photonics Lab at Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics
Čína	Shanghai Institute of Ceramics
Čína	Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics
Dánsko	University of Copenhagen, Niels Bohr Institute
Francie	ALPhANOV, Talence, Francie
Francie	Commissariat a l'Energie Atomique et aux Energies Alternatives Institute of Plasma Physics, CAS
Francie	Ecole Polytechnique, Laboratoire de Physique des Interfaces et des Couches Minces
Francie	European Synchrotron Radiation Facility
Francie	Le Laboratoire d'Optique Appliquée (CNRS, Ecole Polytechnique, ENSTA-ParisTech)
Francie	Sorbonne Université
Francie	Strasbourg Astronomical Observatory
Francie	Université de Lorraine, Institut Jean Lamour,
Francie	Université Lyon 1, Institute of Light and Matter
Indie	Fabromech Engineers & Consultants, Ltd
Indie	Tata Institute of Fundamental Research

Země	Instituce
Indie	Vellore Institute of Technology, Chennai
Itálie	DE.TEC.TOR. Devices & Technologies Torino S.r.l.
Itálie	Elettra – Sincrotrone Trieste S.C.p.A.
Itálie	Fondazione Bruno Kessler, Center for Materials and Microsystems
Itálie	Istituto di Scienza e Tecnologia dei Materiali Ceramici del Consiglio Nazionale delle Ricerche
Itálie	Istituto Nazionale di Ottica, Consiglio Nazionale delle Ricerche
Itálie	Istituto Nazionale di Fisica Nucleare
Itálie	Politecnico di Milano
Itálie	The Università di Pavia
Itálie	Università degli Studi dell'Insubria Dipartimento di Scienza e Alta Tecnologia
Izrael	Israel Institute of Technology, Technion Libraries
Izrael	The Hebrew University of Jerusalem
Japonsko	Frontier Research Institute for Interdisciplinary Sciences
Japonsko	Kumamoto University, Faculty of Advanced Science and Technology
Japonsko	Magnesium Research Center
Japonsko	National Institutes for quantum and radiological science and technology, Kansai Photon Science Institute
Japonsko	Osaka University, Institute of Laser Engineering
Japonsko	Osaka University, The Institute of Scientific and Industrial Research
Japonsko	The University of Tokyo, The Institute for Solid State Physics
Japonsko	Tohoku University, Institute for Materials Research
Korejská republika	Advanced Photonics Research Institute
Korejská republika	Hanyang University, BK21 FOUR ERICA-ACE Center
Korejská republika	Korea Basic Science Institute
Korejská republika	Korea Institute of Machinery and Materials
Litva	Center for Physical Sciences and Technology
Litva	Lithuanian Laser Association
Maďarsko	ELI-HU Non-Profit Ltd.
Malta	University of Malta





Země	Institute
Německo	Christian-Albrechts-Universität, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät
Německo	Deutsches Elektronen-Synchrotron DESY
Německo	Deutsches Elektronen-Synchrotron DESY, Cherenkov Telescope Array Observatory gemeinnützige GmbH
Německo	Deutsches Elektronen-Synchrotron DESY, Universität Hamburg
Německo	Focused Energy GmbH
Německo	Fraunhofer Institute of Optics, System Technologies and Image Exploitation IOSB, Karlsruhe, Germany
Německo	Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Institute for Surface Science and Corrosion
Německo	Friedrich-Schiller-Universität Jena, Germany acting Center for Energy and Environmental Chemistry Jena
Německo	Friedrich-Schiller-University Jena
Německo	Fusion Bionic GmbH
Německo	Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie GmbH
Německo	Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf e. V.
Německo	InfraTec GmbH
Německo	Karlsruhe Institute of Technology
Německo	Leipzig University Library
Německo	Marvel Fusion GmbH
Německo	Max-Planck Institute für Eisenforschung GmbH, Düsseldorf, Německo
Německo	Max-Planck-Institut für Chemische Physik fester Stoffe
Německo	Ruhr-University Bochum, Chair of Applied Technologies
Německo	Saarland University, Saarbrücken
Německo	Technische Hochschule Mittelhessen, Brueckmann Elektronik GmbH, Rigaku Innovative Technologies Europe s. r. o.
Německo	Technische Hochschule Mittelhessen, DIOPTIC GmbH, MEOPTA – optika, s. r. o.
Německo	Technische Universität Berlin
Německo	Technische Universität Darmstadt
Německo	Technische Universität Darmstadt, Department of Materials and Earth Science
Německo	Technische Universität Dresden
Německo	Technische Universität Ilmenau, Institute of Physics, Department of Technical Physics I
Německo	Technische Universität Kaiserslautern
Německo	Universität Hamburg, Faculty of Mathematics, Informatics and Natural Sciences
Německo	University Leipzig, Institute of Experimental Physics II

Země	Institute
Německo	University of Mainz, Institute of Physics
Německo	University of Stuttgart
Nizozemsko	European Space Agency
Nizozemsko	Netherlands Organisation for Applied Scientific Research
Nizozemsko	Rijksuniversiteit Groningen
Norsko	Oslo University Hospital
Polsko	Institute of Plasma Physics and Laser Microfusion
Polsko	Jan Kochanowski University in Kielce
Polsko	Polská akademie věd, Centrum Astronomiczne im. Mikołaja Kopernika
Polsko	Polská akademie věd, Institute of Physical Chemistry
Polsko	University of Białystok
Polsko	Wrocław University of Science and Technology
Portugalsko	Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores para os Microsistemas e as Nanotecnologias
Portugalsko	International Iberian Nanotechnology Laboratory
Portugalsko	Universidade de Lisboa, Instituto Superior Técnico
Rakousko	AIT Austrian Institute of Technology GmbH
Rakousko	Medizinische Universität Innsbruck
Rakousko	Universität Wien
Rakousko	University of Natural Resources and Life Sciences, Department of Nanobiotechnology, Vienna, Austria
Řecko	Hellenic Mediterranean University
Rusko	Lomonosov Moscow University, Faculty of Physics
Rusko	National Research Nuclear University „MEPhI”, Moscow Engineering Physics Institute, Russian Federation
Rusko	Ruská akademie věd, Institute of Automation and Control Processes
Rusko	Ruská akademie věd, Institute of Automation and Electrometry, Novosibirsk, Russia
Rusko	Ruská akademie věd, Rzhzanov Institute of Semiconductor Physics
Rusko	St. Petersburg State University
Rusko	The Keldysh Institute of Applied Mathematics
Slovensko	Slovenská akademie věd, Biomedicínské centrum
Slovensko	Slovenská akademie věd, Fyzikálny ústav
Španělsko	Agencia Estatal Consejo Superior de Investigaciones Científicas



Země	Institute
Španělsko	Centro De Laseres Pulsados
Španělsko	Centro Nacional de Biotecnologia of the Agencia Estatal Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Španělsko	The Basque Center for Materials, Applications and Nanostructures
Španělsko	University of Zaragoza
Srbsko	University of Belgrade, VINČA – Institute of nuclear sciences
Srbsko	University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences
Švédsko	Laboratory of Molecular Biophysics of the Department of Cell and Molecular Biology
Švédsko	Lund University, Department of Chemistry
Švédsko	Lund University, Division of Atomic Physics, Department of Physics, Sweden
Švédsko	Umea University, Department of Physics
Švédsko	University of Oslo, Institute of Thoretical Astrophysics
Švédsko	Uppsala Univerity
Švýcarsko	CERN – The European Organization for Nuclear Research
Švýcarsko	Institut for Physical Research, Vrije Universiteit Brussel (VUB), Forschungszentrum Jülich GmbH, Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS), Université de la Méditerranée, Claud Bernard Lyon 1, Institute for Nuclear Problems – Belarussian State University, Laboratório de Instrumentacao e Física Experimental de Partículas Sungkyunkwan University, Centro De Investigaciones Energeticas, Medioambientales Y Technologicas, Deutsches Krebsforschungszentrum (DKFZ), Universita Politecnica Delle Marche (UPM), European Organization for Nuclear Research (CERN), Universiteit Gent (uGent), Faculty of Sciences, University of Lisbon
Švýcarsko	Paul Scherrer Institute
Tchaj-wan	Academia Sinica
Tchaj-wan	Industrial Technology Research Institute
Tchaj-wan	Instrument Technology Research Center, National Applied Research Laboratories
Tchaj-wan	National Synchrotron Radiation Research Center
Tchaj-wan	Technology Research Center, National Applied Research Laboratories
USA	Arizona State University
USA	Colorado State University, Center for Extreme Ultraviolet Science and Technology
USA	Fermi National Accelerator Laboratory, Fermi Research Alliance, LLC
USA	Large Synoptic Survey Telescope, INC.
USA	New Mexico State University
USA	Stanford University, SLAC National Accelerator Laboratory, Leland
USA	University of California, Department of Physics and Astronomy
USA	University of California, San Diego, Department of Chemistry and Biochemistry

Země	Institute
USA	University of Central Florida Research Foundation
USA	University of Connecticut
USA	University of Rochester, Laboratory for Laser Energetics
Velká Británie	Deep Underground Neutrino Experiment (DUNE) Collaboration
Velká Británie	Imperial College London
Velká Británie	King’s College London
Velká Británie	Royal Holloway and Bedford New College
Velká Británie	Science and Technology Facilities Council
Velká Británie	The Queen’s University of Belfast
Velká Británie	The University Court of the University Edingburgh
Velká Británie	The University of Liverpool
Velká Británie	UK Research and Innovation
Velká Británie	University of Southampton, Faculty of Engineering and Physical Sciences
Vietnam	Vietnamská akademie věd a technologií, Ho Chi Minh City Institute of Physics
Vietnam	Vietnamská akademie věd a technologií, Institute of Applied Material Science
Vietnam	Research and Development Center Saigon Hi-Tech Park



Země	počet institucí
Belgie	4
Brazílie	1
Kanada	1
Čína	3
Dánsko	1
Francie	9
Indie	3
Itálie	9
Izrael	2
Japonsko	8
Korejská republika	4
Litva	2
Maďarsko	1
Malta	1
Německo	32
Nizozemsko	3
Norsko	1
Polsko	6
Portugalsko	3
Rakousko	4
Řecko	1
Rusko	7

Země	počet institucí
Slovensko	2
Španělsko	5
Srbsko	2
Švédsko	6
Švýcarsko	3
Tchaj-wan	5
USA	11
Velká Británie	10
Vietnam	3

3.4 Popularizace vědy

Československý časopis pro fyziku

Fyzikální ústav zajišťuje práci redakce (vedoucí, výkonný a technický redaktori a sekretariát redakce fungují v rámci FZU), časté jsou též příspěvky autorů z FZU v jednotlivých číslech. Časopis přináší původní i přeložené 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 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).

3.4.1 Mediální prezentace FZU v roce 2022

Vědečtí pracovníci jsou velmi úspěšní v propagaci své práce a výsledků a denně vycházelo v roce 2022 šest zpráv o Fyzikálním ústavu. Akademici poskytli několik desítek rozhovorů a vystoupili v pořadech veřejnoprávních i komerčních rozhlasových a televizních

stanic, jejich prezentace se objevily v denním tisku, časopisech a na internetových zpravodajských portálech. Navíc se jejich popularizační činnost rozšířila i na sociální síť.

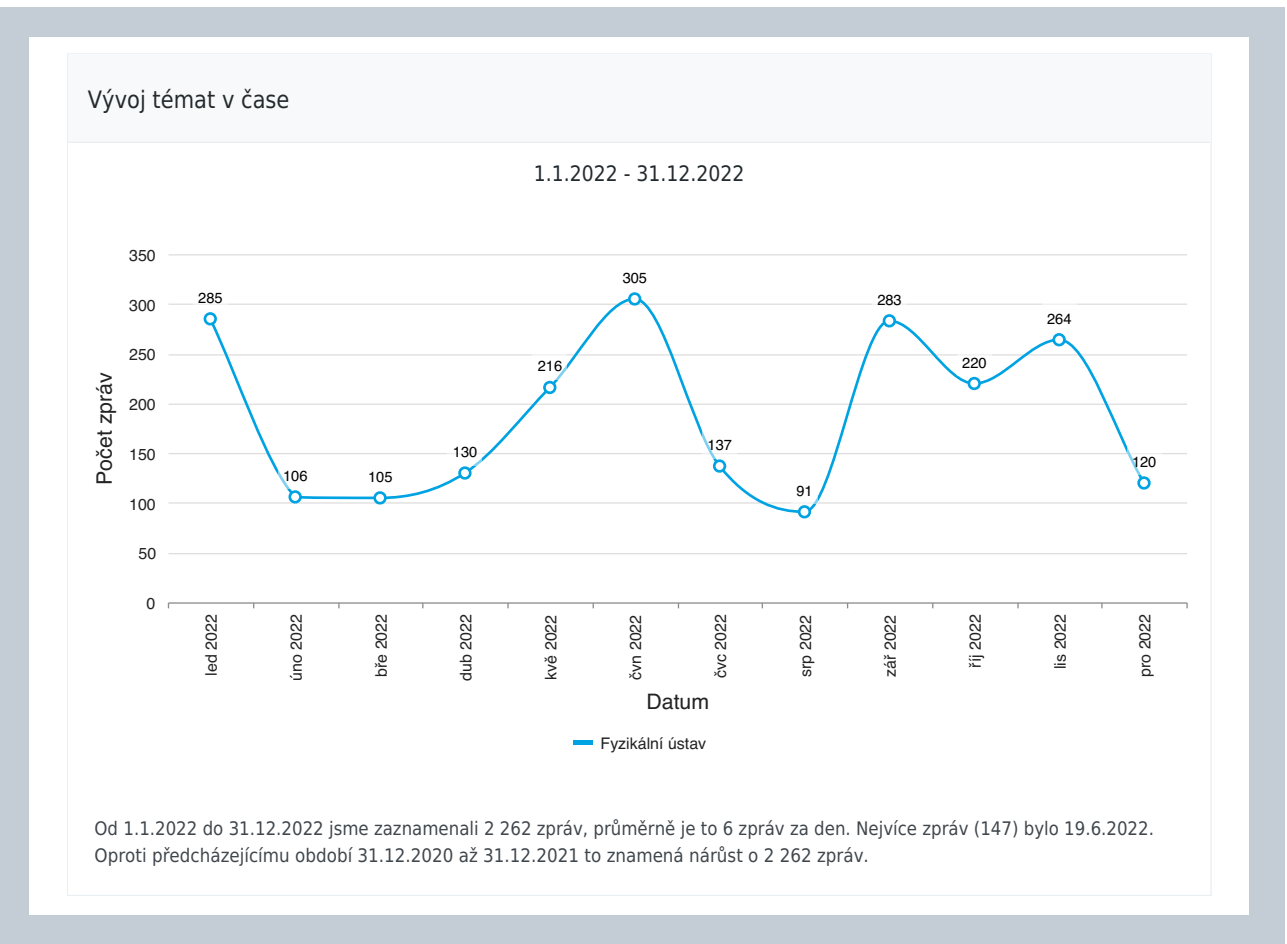
3.4.2 Popularizace vědy pro studenty a veřejnost

Díky ustupující pandemii Covid-19 v roce 2022 jsme mohli opět osobně setkávat se širokou veřejností. Začali jsme plný rok akcí Mezinárodním dnem světla a na Veletrh vědy, který se konal po dvouleté pauze, dorazilo desetitisíce návštěvníků. Jsme rádi, že i další události, které jsme pořádali nebo se na jejich přípravě podíleli ve Fyzikálním ústavu, měly velkou popularitu.

Den světla (14. 5.)

Pro velké i malé fanoušky laseru připravila při příležitosti Mezinárodního dne světla laserová centra HiLASE a ELI Beamlines v Dolních Břežanech bohatý program. Ten zahrnoval přednášky, workshopy, komentované prohlídky, svět laserových experimentů ve virtuální i augmentované realitě, laserový biatlon, interaktivní laserové exponáty, vzdělávací laserové hry a laserovou a radiační bezpečnost. Program Centra HiLASE a ELI Beamlines navštívilo v Dolních Břežanech 250 lidí.

Kromě toho ELI Beamlines spojilo síly se Signal Festivalem a vytvořilo monumentální instalaci, která protínala laserovým paprskem oba konce Karlova mostu. Symbolicky jsme rozsvítili také barvy ukrajinské vlajky. Laserové paprsky zářily v pátek 13. a sobotu 14. května 2022 vždy od 20.00 do 24.00.





116

Veletrh vědy (2.–4. 6.)

Veletrh vědy je největší populárně naučná akce v České republice, kterou každoročně od roku 2015 pořádá Akademie věd ČR. Fyzikální ústav již tradičně patří k jednomu z největších vystavovatelů v rámci Akademie. V roce 2022 jsme si pro malé i velké návštěvníky připravili desítky interaktivních ukázek napříč naším výzkumem. K největším atrakcím patřilo tradiční laserové bludiště a nový interaktivní exponát levitujícího vláčku (fungující na principu supravodivosti). Své fyzikální a vědecké dotazy mohli návštěvníci probrat s našimi vědci a vědkyněmi ve Fyzikální zpovědnici.



VědaFest (22. 6.)

Již poněkolkáté jsme se účastnili i VědaFestu. Tato venkovní popularizační akce je společným projektem vysokých škol, akademických pracovišť a volnočasových institucí. Na stánku se návštěvníci dozvěděli o našem připojení k výzkumu vesmíru a kosmického záření a dále se seznámili s radiační a laserovou bezpečností, např. díky možnosti proměření donesených laserových ukazovátek.



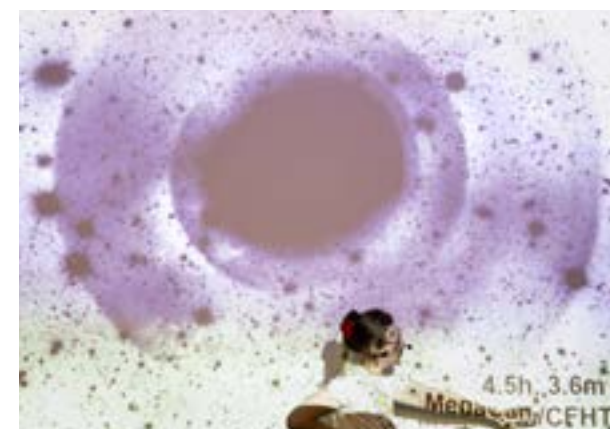
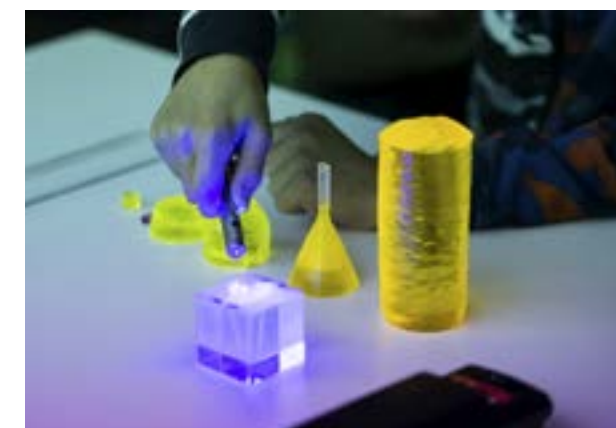
117





Noc vědců (30. 9.)

Noc vědců je celoevropskou akcí, která představuje vědecká pracoviště široké veřejnosti v nevšední atmosféře nočních a večerních hodin, v roce 2022 s tématem Všemi smysly. Navštěvníci mohli kromě obvyklých přednášek a exkurzí využít i možnosti vůbec první veřejné návštěvy nové budovy Fyzikálního ústavu na Ládví, kde byl přichystán program pro nejmenší i pro dospělé. Celková návštěvnost za FZU přes 500 návštěvníků.



118



Zažít město jinak (17. 9.)

Pracoviště FZU v Cukrovarnické ulici se již počtvrté připojilo k festivalu Zažít město jinak, který každoročně organizuje spolek Auto*Mat. Cílem akce je umožnit setkávání obyvatel Prahy a oživit veřejný prostor. Nejen našim sousedům jsme ukázali vláčky a supravodivost, či neneutronovskou kapalinu. Částečně přístupný byl i historický areál ústavu, původně zbudovaný pro Výzkumný ústav cukrovarnický. Zájemci měli možnost projít se zahradou nebo navštívit architektonicky zajímavé interiéry původní budovy. Večer byl završen interaktivním promítáním na budovu ve spolupráci s Ústavem teorie informace a automatizace (ÚTIA). Odhadovaná návštěvnost přibližně 300 účastníků.



119





Týden Akademie (31. 10.–6. 11.)

I v tomto roce se Fyzikální ústav připojil k Týdnu Akademie věd, pravidelné popularizační akci AV ČR. Jako součást Týdne pořádáme každý rok Dny otevřených dveří na všech našich pracovištích. Připravili jsme celou řadu zajímavých přednášek a prohlídek laboratoří věnujících se nejrozličnějším tématům – od výzkumu vesmíru, přes biofyziku až po lasery. Návštěvníci také poprvé v rámci DOD navštívili nejmodernější laboratoře v nové budově FZU. Odhadovaná návštěvnost všech zapojených pracovišť je přes 1700 osob.



3.4.3 Akce pro pedagogy

Učitelé & Vědci

Naše ústavy se již několik let otevírají učitelům SŠ a ZŠ se zájmem o aktuální informace z fyziky a příbuzných oborů. Setkání probíhají neformálním způsobem nad šálkem kávy nebo čaje. U vybraných témat zveme učitele na exkurze a workshopy v laboratořích. Podrobnější informace jsou dostupné na fzu.cz

Přednášky pořádané v roce 2022

6. 12. setkání s Ing. Ondřejem Fickerem Termojaderná fúze v tokamacích – jak to funguje a dočkáme se konečně elektrárny?

1. 11. setkání s RNDr. Davidem Píšou, Ph.D. ÚFA v kosmu aneb výzkum sluneční soustavy

11. 10. setkání s RNDr. Zdeňkem Weissem, CSc. O optické spektroskopii

12. 4. setkání s RNDr. Jaromírem Kopečkem, Ph.D. Skenovací elektronová mikroskopie – univerzální nástroj materiálové vědy

8. 3. setkání s doc. Ing. Janem Klusákem, Ph.D. Až se ucho utrhne, aneb o únavě materiálů a jiných patáliích

1. 2. setkání s doc. Ing. Irenou Kratochvílovou, Ph.D. Nebezpečná vysokoteplotní koroze v prostředí jaderných reaktorů

11. 1. setkání s RNDr. Petrem Zacharovem, Ph.D. Tornádo na Moravě z pohledu meteorologa

3.4.4 Stáže a další akce pro studenty

Ve FZU bylo v roce 2022 vypsáno 14 vedoucími 17 stáží v projektu Otevřená věda, kterých se zúčastnilo 35 studentů.

Exkurze studentů středních a vysokých škol probíhaly ve FZU v omezeném počtu v závislosti na pandemické situaci. I přes nepříznivé okolnosti se podařilo v prostorách FZU uspořádat přes 50 školních exkurzí, které umožnily více než 1000 studentům seznámit se unikátními technologiemi a nejnovějším výzkumem. Prohlídek v prostorách ELI Beamlines se účastnilo:

- 25 dětí z mateřských škol
- 120 dětí ze základních škol
- 185 studentů středních škol
- 140 studentů z vysokých škol v ČR
- 85 studentů z vysokých škol Evropské unie

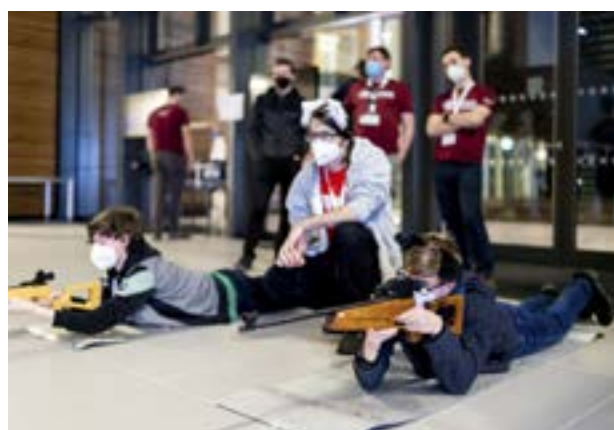
Talentová akademie

Studenti středních škol, které baví fyzika a lasery, nemusí se svým výzkumem čekat, až se dostanou na univerzitu. Díky Talentové akademii mohou zahájit svou vědeckou kariéru ještě před maturitou. Finalisté si v laserových centrech vyzkoušejí, jak výzkum v oblasti laserových technologií vypadá, a své poznatky hned aplikují do „vesmírného prostoru“. „Talentovka“ však není jen o prvních zkušenostech s reálnou vědou. Těm nejlepším laserová centra nabízejí místa stážistů přímo ve vědeckých týmech a pomáhají jim i dál na pouti k jejich budoucí vědecké kariéře. Finále soutěže 2022 na téma vesmírných aplikací laserů proběhlo 17.–19. 9. 2022 s účastí 12 studentů.



Science Challenge (18.–19. 2.)

První ročník vzdělávací soutěže Science Challenge pro týmy nadaných středoškoláků se uskutečnil 18.–19. února v laserových centrech ELI Beamlines a HiLASE. Z on-line kola, ve kterém tříčlenné skupinky studentů vytvářely co nejefektivnější program na automatizaci laserových systémů, postoupily do dvou-denního finále v Dolních Břežanech tři týmy. Během dvacetičtyřhodinového vědeckého maratonu vybojoval první místo v náročném klání tým Nafta – Anime.



Popularizační aktivity FZU 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.





4.

Orgány FZU

4.1 Ředitel a vedení ústavu

Ředitel FZU

RNDr. Michael Prouza, Ph.D.

Zástupci ředitele

RNDr. Antonín Fejfar, CSc.

RNDr. Michal Dušek, CSc.

Ing. Roman Hvězda

doc. Ing. Martin Nikl, CSc.

Vědecký tajemník

Ing. Jiří Červenka, PhD.

Vedoucí výzkumných sekcí

doc. Alexander Kupčo, Ph.D.

RNDr. Petr Šittner, CSc.

RNDr. Michal Dušek, CSc.

Ing. Alexandr Dejneka, Ph.D.

Ing. Tomáš Mocek, Ph.D.

Ing. Roman Hvězda

4.2 Rada pracoviště

12. února 2022 skončilo pětileté funkční období všech členů Rady FZU. Po volbách členů Rady pracoviště na další funkční období došlo ke změnám v jejím složení.

4.2.1 Složení rady pracoviště do 12. 2. 2022

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

4.2.2 Složení rady pracoviště od 13. 2. 2022

Předseda:	prof. Ing. Martin Nikl, CSc.	FZU
Místopředseda:	Ing. Alexandr Dejneka, Ph.D.	FZU
Interní členové:	RNDr. Antonín Fejfar, CSc.	FZU
	Ing. Alice Hospodková, Ph.D.	FZU
	RNDr. Stanislav Kamba, CSc.	FZU
	RNDr. Mariana Klementová, Ph.D.	FZU
	doc. Mgr. Alexander Kupčo, Ph.D.	FZU
	Ing. Tomáš Mocek, Ph.D.	FZU
	RNDr. Michael Prouza, Ph.D.	FZU
	prof. Jan Řídký, DrSc.	FZU
	doc. Ing. Václav Čuba, Ph.D.	FJFI ČVUT
	prof. RNDr. Zdeněk Doležal, Dr.	MFF UK
Externí členové:	Mgr. Jindřich Houžvička, Ph.D.	CRYTUR, spol. s r. o.
	prof. Mgr. Pavel Javorský, Dr.	MFF UK
	prof. Ing. Helena Jelínková, DrSc.	FJFI ČVUT
	RNDr. Jiří Rameš, CSc.	FZU
Tajemník:		



4.2.2 Zasedání Rady FZU AV ČR

98. zasedání	26. 1. 2022
99. zasedání	22. 2. 2022
100. zasedání	28. 3. 2022
101. zasedání	26. 4. 2022
102. zasedání	23. 5. 2022
103. zasedání	13. 9. 2022
104. zasedání	29. 11. 2022

Rada dále projednala 9 návrhů formou per rollam.

Zápisy ze všech zasedání Rady FZU jsou zveřejněny na její webové stránce <https://www.fzu.cz/o-fzu/organizacni-struktura/vedeni-fzu/rada-fzu>.

Na zasedání Rady byli zváni:

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

Ing. Ivan Gregora, CSc.,
místopředseda Dozorčí rady FZU

prof. Ing. Pavel Lejček, DrSc.,
místopředseda Dozorčí rady FZU

Ing. Jiří Plešek, CSc.,
člen Dozorčí rady FZU

prof. RNDr. Ladislav Skrbek, DrSc.,
člen Dozorčí rady FZU

doc. Ing. Stanislav Vítek, Ph.D.,
člen Dozorčí rady FZU

RNDr. Vladimír Wagner, CSc.,
člen Dozorčí rady FZU

Ing. Miroslav Hořejší,
tajemník Dozorčí rady FZU

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

Ing. Roman Hvězda,
zástupce ředitele pro ELI a HiLASE

Významné projednané záležitosti

- Rada projednala složení výběrové komise pro obsazení funkce ředitele FZU pro následující období 2022–2027, schválila jmenování interních a externích členů této komise a potvrdila výběr jejího předsedy, viz zápis z 98. zasedání.
- Rada vzala na vědomí zprávu o jednání výběrové komise pro obsazení funkce ředitele FZU, ve které komise doporučila jako kandidáta na funkci ředitele pracoviště jediného uchazeče přihlášeného do výběrového řízení Michaela Prouzu. Poté vyslechla jeho vystoupení. Na základě výsledků tajného hlasování Rada rozhodla navrhnout předsedkyni AV ČR Michaela Prouzu na jmenování do funkce ředitele FZU, viz zápis z 99. zasedání.
- Rada na svém prvním zasedání v novém složení po volbách zvolila jako svého předsedu M. Nikla a jako místopředsedu A. Dejneku. Tajemníkem byl jmenován J. Rameš, viz zápis z 99. zasedání.
- Rada projednala a schválila rozpočet provozních nákladů a výnosů pro rok 2022, jakož i střednědobý výhled provozních nákladů a výnosů pro roky 2023 a 2024, viz zápis ze 101. zasedání.
- Rada schválila návrh ředitele na převedení zisku za rok 2021 do fondu reprodukce majetku, viz zápis ze 104. zasedání.
- Rada schválila Výroční zprávu o činnosti a hospodaření FZU za rok 2021, viz zápisy ze 102. a 103. zasedání.
- Rada se podrobně zabývala otázkami spojenými s fungováním výzkumného centra ELI Beamlines a jeho integrací do mezinárodního konsorcia ELI ERIC. Byla informována o postupu jednání vedoucích k této integraci a seznámila se s její právní formou a se záměrem uskutečnit tuto integraci k 1. 1. 2023. Ve svém usnesení k této věci vyjádřila Rada souhlas se záměrem úplného, bezúplatného převedení majetku FZU bezprostředně souvisejícího s Centrem ELI Beamlines na ELI ERIC a konstatovala, že tím nedojde k omezení účelu a rozsahu hlavních směrů vědecké činnosti a řádného hospodaření Centra ELI Beamlines. Vyslovila souhlas s provedením nezbytné transformace s využitím série provázaných smluv mezi FZU a ELI ERIC, jakož i s převedením zaměstnanců sekce 9 – ELI Beamlines do ELI ERIC. Podpořila též záměr, že FZU uzavře přímo s ELI ERIC smlouvu o strategickém

partnerství, viz zápisy z 98., 100., 101., 103. a 104. zasedání.

- Rada schválila změnu vnitřního předpisu Organizačního řádu FZU, v jejímž rámci došlo k úpravě organizační struktury FZU související s přechodem Centra ELI Beamlines do ELI ERIC – zrušení sekce 9 FZU (Centrum ELI Beamlines) a všech jejích oddělení, zrušení pracoviště ELI Beamlines a zrušení pozice zástupce ředitele FZU pro ELI a HiLASE, viz zápis ze 104. zasedání.
- Rada schválila formou per rollam per rollam úpravy Vnitřního mzdového předpisu FZU, konkrétně změny mzdových limitů v souvislosti se zvýšením minimální mzdy, viz zápis ze 104. zasedání.
- Rada schválila změnu vnitřního předpisu Volebního řádu pro volbu členů Rady FZU, viz zápis z 98. zasedání.
- Rada projednala návrhy kandidátů na externí členy Akademického sněmu, vyslovila s nimi souhlas a doporučila řediteli jejich podání, viz zápis z 99. zasedání.
- Rada projednala návrh na jmenování pracovníka FZU emeritním vědeckým pracovníkem AV ČR a vyslovila souhlas s podáním návrhu Akademické radě AV ČR, viz zápis z 99. zasedání.
- Rada projednala návrhy na udělení prémie Lumina quaeruntur a vyslovila souhlas s jejich podáním, viz zápis z 99. zasedání.
- Rada projednala návrh na udělení Akademické prémie a vyslovila souhlas s jeho podáním, viz zápis ze 100. zasedání.
- Rada projednala návrhy na udělení Prémie Otto Wichterleho a vyslovila souhlas s jejich podáním, viz zápis ze 100. zasedání.
- Rada projednala a doporučila podání návrhů na udělení čestné oborové medaile Ernsta Macha za zásluhy ve fyzikálních vědách, viz zápis ze 100. zasedání.
- Rada přijala usnesení k problematice publikování v časopisech vydavatelství MDPI, viz zápis ze 102. zasedání.
- Rada projednala a doporučila podání návrhů na mzdovou podporu postdoktorandů na pracovištích AV ČR v rámci v Programu na podporu perspektivních lidských zdrojů, viz zápisy ze 101. a 103. zasedání.
- Poté, co proběhla formou seminářů veřejná prezentace a obhajoba návrhů na nákup přístrojového vybavení pro rok 2023 a následně byl na poradě ředi-

tele proveden výběr a stanoveno pořadí, projednala Rada jednotlivé návrhy a doporučila řediteli podat vybrané návrhy na pořízení přístrojů v tom pořadí, v jakém jí byly předloženy, viz zápis ze 102. zasedání.

- Rada projednala návrhy projektů FZU přihlášené do veřejné soutěže GA ČR a projektů podobného charakteru, viz zápis ze 100. zasedání.
- Rada projednala 39 návrhů dohod o spolupráci mezi FZU a dalšími institucemi nebo dokumentů podobného charakteru, viz zápisy z 98., 99., 100., 101., 102., 103. a 104. zasedání.

4.3 Dozorčí rada pracoviště

Přehled hlasování *per rollam* Dozorčí Rady Fyzikálního ústavu AV ČR v roce 2022

#	Datum	Věc	ano	ne
01	17. 1. 2022	Uzavření smlouvy o dílo, jejímž předmětem je zhotovení stavby – inovačního centra vyspělé výrobní technologie „Brain for Industry“.	6	0
02	1. 2. 2022	Nájemní smlouva nebytového prostoru v dočasné stavbě Tesko A a dodatek k nájemní smlouvě v dočasné stavbě Tesko B	6	0
03	15. 2. 2022	Smlouva, jejímž předmětem je zřízení práva služebnosti odpovídající věcnému břemeni ve prospěch FZU AV ČR, v. v. i. a k tíži pozemků ve vlastnictví obce Dolní Břežany	6	0
04	28. 3. 2022	Smlouva o přízení difrakčních mřížek pro kompresi optických pulsů laseru L4-ATON v laserovém centru ELI Beamlines	6	0
05	28. 3. 2022	Nájemní smlouvy v objektu Tesko B	6	0
06	25. 4. 2022	Návrh rozpočtu FZU na rok 2022	6	0
07	31. 5. 2022	Rekonstrukce datových rozvodů v hlavní budově FZU Na Slovance	6	0
08	3. 6. 2022	Dodatek ke smlouvě s firmou ATEKO o dodání kryogenní chladicí smyčky pro ELI Beamlines	6	0
09*	17. 6. 2022	Smlouva o zřízení věcného břemene – služebnosti IV-12-6013361/1 s ČEZ Distribuce, a. s.	5	0
10*	17. 6. 2022	Posouzení Výroční zprávy FZÚ AV ČR, v. v. i. za rok 2021	5	0
11*	17. 6. 2022	Souhrnná roční zpráva o výsledcích veřejnosprávních kontrol v FZÚ v roce 2021	5	0
12*	17. 6. 2022	Hodnocení manažerských schopností ředitele pracoviště: vynikající – dle stupně hodnocení 3	5	0
13*	17. 6. 2022	Schválení auditora řádné roční účetní závěrky FZÚ AV ČR, v. v. i.	5	0
14*	17. 6. 2022	Smlouva o provedení upgrade HPC clusteru – dodatek č. 1 pro roky 2023 a 2024	5	0
15	24. 8. 2022	Dohoda o narovnání smluvních vztahů se společností LUMINUS, spol. s r. o.	6	0
16	24. 8. 2022	Pořízení aparatury pro MBE v rámci ERC grantu	6	0
17	25. 8. 2022	Dodatek č. 1 ke smlouvě o zhotovení stavby „B4I – inovační centrum“	6	0
18	25. 8. 2022	Změna společenské smlouvy společnosti CARDAM	6	0
19	25. 8. 2022	Dodatek č. 1 ke Smlouvě o nájmu bytu č. S21/177F	6	0
20	25. 8. 2022	Dodatek č. 1 ke Smlouvě o ubytování v ubytovně ÚFP	6	0
21	26. 9. 2022	Smlouva o převodu ELI Beamlines mezi FZU AV ČR a ELI ERIC	6	0
22	26. 9. 2022	Dohoda o bezúplatném převodu vlastnictví práv k duševnímu vlastnictví a o bezúplatném postoupení výkonu majetkových práv k duševnímu vlastnictví a o bezúplatném postoupení souvisejících práv a povinností mezi FZU AV ČR a ELI ERIC	6	0
23	26. 9. 2022	Darovací smlouva mezi FZU AV ČR a ELI ERIC o bezúplatném převodu vlastnického práva k nemovitostem	6	0
24	26. 9. 2022	Veřejnoprávní smlouva o převodu práv a povinností z rozhodnutí o poskytnutí dotace MŠMT	6	0
25	26. 9. 2022	Veřejnoprávní smlouva o převodu práv a povinností z rozhodnutí o poskytnutí dotace MŽP	6	0
26	6. 10. 2022	Výsledek výběrového řízení na pořízení aparatury pro MBE v rámci ERC grantu	6	0
27	13. 10. 2022	Darovací smlouva mezi FZU AV ČR a ELI ERIC	6	0
28	15. 11. 2022	Dodatek č. 1 ke Smlouvě o strategické spolupráci FZU AV ČR (pro účely pracoviště ELI Beamlines) s LLC, USA	6	0
29	15. 11. 2022	Změna stanov spolku „Středočeské inovační centrum“	6	0
30	16. 11. 2022	Dodatek č. 2 ke smlouvě s firmou ATEKO a. s., o dodání kryogenní chladicí smyčky pro Laser L2, ELI Beamlines	6	0
31	28. 11. 2022	Pořízení nákladného přístroje „Faradayův rotátor s velkou aperturou pro repetiční PW laser a aplikace“	6	0
32*	9. 12. 2022	Dodatky ke smlouvám o pronájmu	6	0
33	13. 12. 2022	Dodatek č. 1 k servisní smlouvě č. S21/033F s firmou BBM s. r. o.	6	0

*Hlasování proběhla prezenčně na zasedání DR, nikoli per rollam.

30. dubna 2022 skončilo pětileté funkční období všech členů Dozorčí rady FZU AV ČR. Po volbách členů Dozorčí rady na další funkční období došlo ke změnám v jejím složení.

4.3.1 Složení Dozorčí rady do 30. 4. 2022

Předseda: doc. Ing. Luboš Náhlík, Ph.D., Ústav fyziky materiálů AV ČR
Místopředseda: Ing. Ivan Gregora, CSc., FZU
Členové: prof. Ing. Tomáš Čechák, CSc., České vysoké učení technické v Praze, Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská
RNDr. Vladimír Wagner, CSc., Ústav jaderné fyziky AV ČR
Ing. Jiří Plešek, CSc., Ústav termomechaniky AV ČR
prof. RNDr. Ladislav Skrbek, DrSc., Univerzita Karlova, Matematicko-fyzikální fakulta
Tajemník: Ing. Miroslav Hořejší, FZU

4.3.2 Složení Dozorčí rady od 1. 5. 2022

Předseda: doc. Ing. Luboš Náhlík, Ph.D., Ústav fyziky materiálů AV ČR, Kancelář AV ČR
Místopředseda: prof. Ing. Pavel Lejček, DrSc., FZU (od 1. 5. 2022)
Členové: Ing. Jiří Plešek, CSc., Ústav termomechaniky AV ČR
prof. RNDr. Ladislav Skrbek, DrSc., Univerzita Karlova, Matematicko-fyzikální fakulta
doc. Ing. Stanislav Vitek, Ph.D., České vysoké učení technické v Praze, Fakulta elektrotechnická (od 1. 5. 2022)
RNDr. Vladimír Wagner, CSc., Ústav jaderné fyziky AV ČR
Tajemník: Ing. Miroslav Hořejší, FZU

4.3.3 Zasedání Dozorčí rady FZU v roce 2022

17. 6. 2022: 31. zasedání, přítomno 5 členů DR (omluven J. Plešek) + tajemník DR + ředitel FZU
9. 12. 2022: 32. zasedání, přítomno 6 členů DR + tajemník DR + ředitel FZU

4.4 Mezinárodní poradní sbor

4.4.1 Mezinárodní poradní sbor

Předseda:	prof. Eckhard Elsen	Frankfurt Institute for Advanced Studies, Německo
Členové:	prof. Stefan Blügel	Forschungszentrum Jülich, Německo
	Dr. Colin Danson	Clarendon Laboratory, Oxford University, Velká Británie
	prof. Lukas Eng	Technische Universität Dresden, Německo
	prof. Hans-Joachim Freund	Fritz-Haber-Institut der Max-Planck-Gesellschaft, Německo
	prof. Pietro Galinetto	University of Pavia, Itálie
	prof. Simo-Pekka Hannula	Aalto University, Finsko
	prof. Wolfgang Kautek	Universität Wien, Rakousko
	Dr. Yulia Nevzorova	Complutense University of Madrid, Španělsko
	prof. Francesco Pegoraro	University of Pisa, Itálie
	prof. Mario Pimenta	Laboratory of Instrumentation and Experimental Particle Physics, Portugalsko
	Dr. Frank Simon	Max-Planck-Institut für Physik (Werner Heisenberg Institut), Německo
	prof. Martin Stutzmann	Technische Universität München, Německo

V roce 2022 proběhla dvě setkání Mezinárodního poradního sboru, a to v termínech:

- 1. zasedání 13. 6. 2022
- 2. zasedání 15. 11. 2022

Mezinárodní poradní sbor se na svých zasedáních podrobně seznámil s výzkumnou činností Fyzikálního ústavu a předložil svá doporučení a hodnocení k činnosti jednotlivých výzkumných týmů a výzkumné organizace jako celku.





5. Další informace

5.1 Předpokládaný vývoj pracoviště *

Výzkumná činnost pracoviště bude probíhat v souladu s hlavní činností ústavu a projekty, na nichž se pracoviště podílí. Klíčové bude získání dalších grantů a dotací na výzkum, vývoj a inovace a na podporu rozvoje ústavu, především z národních zdrojů, Evropské unie a Evropských strukturálních a investičních fondů. Důraz bude kladen na další prohloubení mezinárodní spolupráce, do níž je zapojena většina pracovních týmů. Z hlediska dlouhodobější perspektivy je důležité dále rozšiřovat klíčovou experimentální infrastrukturu, podporovat špičkové výzkumné týmy a dále rozvíjet spolupráci s vysokými školami. Snahou bude posílení spolupráce s aplikační sférou a aplikovatelnosti vědeckých výsledků v oblastech s vysokým potenciálem uplatnění v praxi. Důraz bude kladen i na rozvoj kapacit v oblasti lidských zdrojů a optimalizaci administrativních a dalších podpůrných činností v ústavu.

V příštím roce by mělo dojít k výrazné změně organizační struktury ústavu, kdy dojde od 1. 1. 2023 k oddělení výzkumného centra ELI Beamlines z Fyzikálního ústavu AV ČR a jeho převodu na Konsorcium evropské výzkumné infrastruktury Extreme Light Infrastructure (ELI ERIC). Bude též probíhat stavba Inovačního centra pro vyspělé technologie Brain4Industry (B4I) v Dolních Břežanech, která poskytne služby zejména pro malé a střední podniky a pomůže jim s procesem digitální transformace a zavádění nových technologií. V plánu je také příprava nové budovy v areálu na pracovišti Slovanka v Praze 8, která by měla dále rozšířit prostorovou kapacitu ústavu.

* Údaje požadované dle §21 zákona 563/1991 Sb., o účetnictví, ve znění pozdějších předpisů.

5.2 Aktivity v oblasti pracovněprávních vztahů *

- V roce 2022 jsme v oblasti personálního řízení úspěšně navázali na aktivity započaté v předchozích letech. Pokračovala implementace standardů HR Excellence in Research Award, zejména prostřednictvím aktivit definovaných v Akčním plánu 2. Současně jsme pokračovali v naplňování projektových cílů v rámci projektů HR Award a STIMUL.
- Aktivity v oblasti nábory a výběru zaměstnanců byly zaměřeny zejména na uplatňování otevřených a transparentních postupů (OTM-R principy) a na další rozvoj dovedností vedoucích pracovníků při praktické realizaci výběrových pohovorů. Plně zavedená podpora nových zaměstnanců formou induction školení byl další z kroků, které pomohly zkvalitnit adaptační proces.
- V roce 2022 jsme zaměstnancům opět nabídli široké spektrum vzdělávacích a rozvojových aktivit. Proběhla řada školení na rozvoj prezentačních a komunikačních dovedností, stejně jako dovedností v oblasti projektového řízení a zpracování grantových žádostí. Uskutečnilo se více než 80 prezentačních kurzů a webinářů. Došlo k rozšíření e-learningové platformy, s cílem zjednodušit a zefektivnit vzdělávání a vzdělávací proces jako celek. Studujícím nyní přináší rozšířené možnosti vzdělávání, zejména dostupnost materiálů 24/7, úsporu času, širší nabídku různých typů kurzů jakož i individuální přístup.
- FZU se zapojil do projektu Ministerstva práce a sociálních věcí ČR Systém trvalé ochrany a prevence pro eliminaci rizik násilí na pracovišti (STOPPER), jehož cílem je zkvalitňování pracovních podmínek a prostředí a prevence sociálně-patologických jevů na pracovišti. V rámci tohoto projektu byly během roku 2022 vybraní pracovníci z řad vedoucích, HR týmu a Etické komise FZU proškoleni v základech krizové intervence, řešení vztahové patologie a psychologické pomoci.
- Zvýšenou pozornost jsme věnovali tématu rovných podmínek a příležitostí. V průběhu roku jsme re-

- alizovali aktivity podle Plánu genderové rovnosti. Proběhla řada diskusních setkání se zaměstnanci, kampaň na odbourávání nevědomých předsudků na všech pracovištích. Zaměstnanci měli možnost účastnit se několika tematických školení jak prezentační formou, tak formou e-learningu.
- Proběhl pilotní program zaměřený na pravidelné poskytování zpětné vazby formou bilančních rozhovorů. Jejich cílem je poskytnout prostor pro společné zhodnocení uplynulého pracovního období a otevřít diskusi ohledně priorit, cílů a úkolů pro období nadcházející. Přestože pilotní program proběhl na dobrovolné bázi, zapojila se do něj významná část oddělení.
- V listopadu 2022 proběhl celoústavní průzkum názorů zaměřený na pracovní prostředí, podmínky a rovné příležitosti ve FZU. Dlouhodobě se snažíme v těchto oblastech pracovat na zkvalitňování dosud používaných postupů, které vylepšují podmínky práce a pomáhají harmonizovat pracovní a osobní život. Průzkumu se zúčastnilo 32 % zaměstnanců. Výsledky nám poskytly řadu cenných informací a poznatků pro další směřování personální práce ve FZU.

* Údaje požadované dle §21 zákona 563/1991 Sb., o účetnictví, ve znění pozdějších předpisů.



5.3 Aktivity v oblasti ochrany životního prostředí *

Soustavný dohled nad radiační ochranou zajišťuje dohlízející osoba (dle zákona 263/2016 Sb.), Ing. Veronika Olšovcová, PhD., která je interním zaměstnancem FZU.

Kontrolním úřadem je SÚJB, Regionální centrum Praha. Zkoušky dlouhodobé stability uzavřených radionuklidových záříčů provádí firma ISOTREND spol. s.r.o., Praha.

Nebezpečný odpad vyprodukovaný ve FZU odváží a zajišťuje jeho likvidaci odborná firma ECO VITA s.r.o., Zlatá Olešnice. Tato firma provádí průběžně několikrát v měsíci odvoz nebezpečného odpadu z nádob pro tento odpad určených (tonery, baterie, elektrický odpad aj.). Stejně tak jako v roce 2021 se zaměstnanci testovali antigenními testy na Covid-19, tak i v roce 2022 se někteří zaměstnanci testovali a tento odpad vyhazovali do nádob k tomu určených. Odpad byl každý týden likvidován.

Bioodpad z laboratoří vědeckých oddělení se soustřeďuje do speciálních nádob a jednou za čtrnáct dní odvezen a zlikvidován.

Firma ECO VITA s.r.o. provádí 2x ročně svoz a likvidaci nebezpečných látek včetně jejich obalů.

Zpracovává veškerou administrativu týkající se této oblasti a zajišťuje včasné hlášení do databáze Ministerstva životního prostředí ČR a Magistrátu hl. m. Prahy. Provádí školení zaměstnanců o nakládání s nebezpečným odpadem a bioodpadem.

FZU klade důraz na důsledné třídění odpadu. Sběr papíru, kartonových obalů a plastů je soustředěn do označených kontejnerů. Odvoz a likvidaci zajišťují společnosti FCC Česká republika, s.r.o. a Pražské služby, a.s. Praha.

Nepotřebné tlakové nádoby likviduje firma Pražské služby a.s., Pod Šancemi 444/1, Praha.

Kovový odpad je skladován na určeném místě a dle potřeby odvážen do Sběrných surovin.

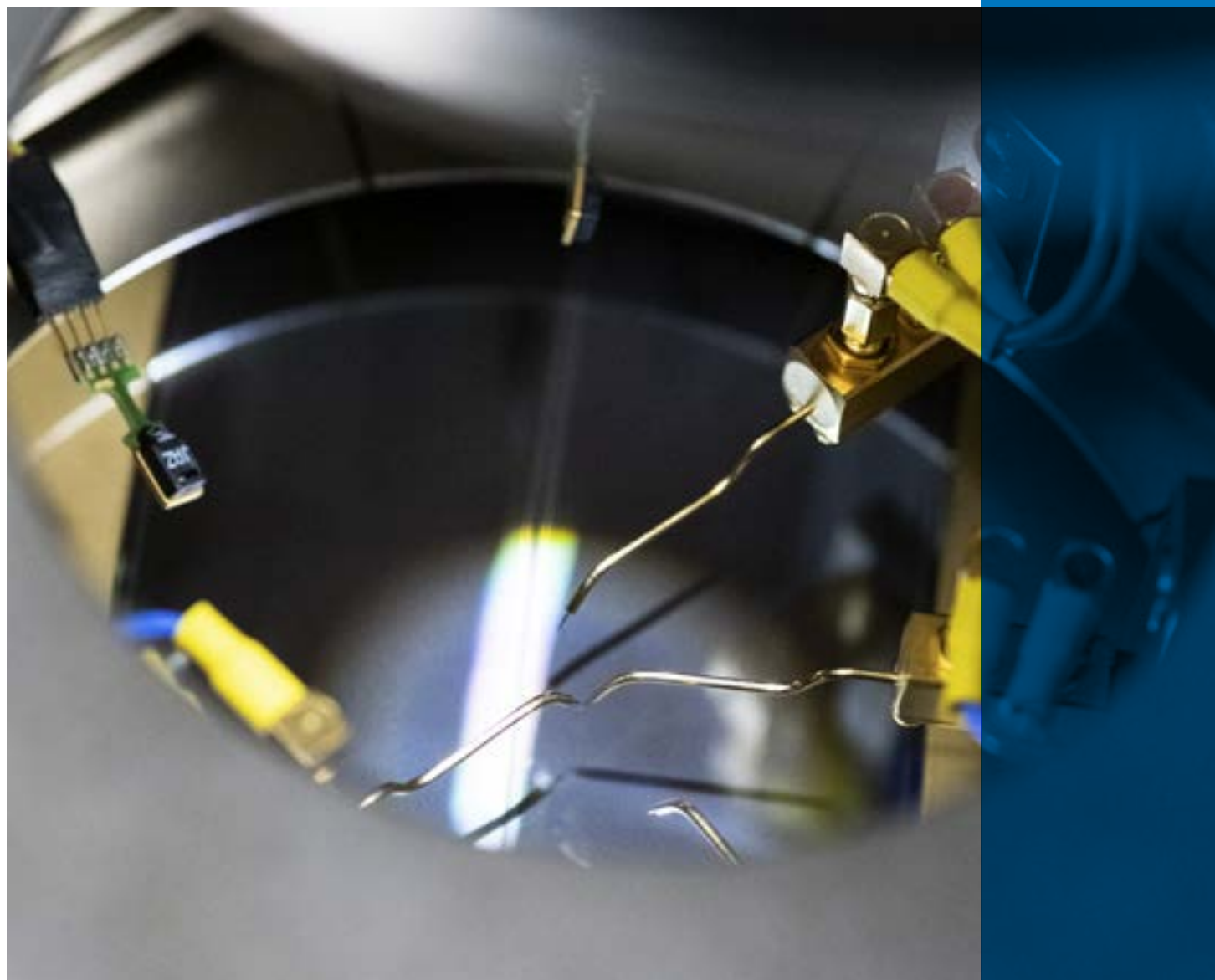
* Údaje požadované dle §21 zákona 563/1991 Sb., o účetnictví, ve znění pozdějších předpisů.

5.4 Poskytování informací za období od 1. 1.–31. 12. 2022 **

- | | |
|---|--|
| 1. Počet podaných žádostí o informace
2 | 6. 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. |
| 2. Počet vydaných rozhodnutí o odmítnutí žádosti o informace
0 | 7. Další informace vztahující se k uplatňování tohoto zákona
0 |
| 3. Počet podaných odvolání proti rozhodnutí
0 | |
| 4. Opis podstatných částí každého rozsudku soudu ve věci přezkoumání zákonnosti rozhodnutí povinného subjektu o odmítnutí žádosti o poskytnutí informace a přehled všech výdajů, které povinný subjekt vynaložil v souvislosti se soudními řízeními o právech a povinnostech podle tohoto zákona, a to včetně nákladů na své vlastní zaměstnance a nákladů na právní zastoupení
Nebyl vydán žádný rozsudek soudu. | |
| 5. Výčet poskytnutých výhradních licencí včetně odůvodnění nezbytnosti poskytnutí výhradní licence
Nebyla podána žádná žádost o informaci, která by byla předmětem ochrany autorského práva a vyžadovala by poskytnutí licence. | |

** Údaje požadované dle § 18 odst. 1 zákona č. 106/1999 Sb., o svobodném přístupu k informacím, a ve znění pozdějších předpisů.





6.

Ekonomická část

6.1 Rozvaha

Zřizovatel: Akademie věd ČR

Rozvaha
sestavena dle vyhl. 504/2002 Sb., ve znění pozdějších předpisů k 31. 12. 2022
(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	SÚ	číslo řádku	Stav	
			Stav k 01. 01. 22	Stav k 31. 12. 22
A. Dlouhodobý majetek celkem			8 316 208	8 328 631
I. Dlouhodobý nehmotný majetek celkem	01	1	106 911	102 631
1. Nehmotné výsledky výzkumu a vývoje	012	2	0	0
2. Software	013	3	98 163	97 172
3. Ocenitelná práva	014	4	2 550	2 794
4. Drobný dlouhodobý nehmotný majetek	018	5	2 707	2 409
5. Ostatní dlouhodobý nehmotný majetek	019	6	0	0
6. Nedokončený dlouhodobý nehmotný majetek	041	7	3 491	256
7. Poskytnuté zálohy na dlouhodobý nehmotný majetek	051	8	0	0
II. Dlouhodobý hmotný majetek celkem	02+03	9	12 021 591	12 632 495
1. Pozemky	031	10	276 460	276 460
2. Umělecká díla, předměty, sbírky	032	11	0	0
3. Stavby	021	12	3 351 253	3 566 437
4. Hmotné movité věci a jejich soubory	022	13	7 949 509	8 439 068
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	41 995	36 336
8. Ostatní dlouhodobý hmotný majetek	029	17	0	0
9. Nedokončený dlouhodobý hmotný majetek	042	18	376 620	301 941
10. Poskytnuté zálohy na dlouhodobý hmotný majetek	052	19	25 754	12 253
III. Dlouhodobý finanční majetek celkem	06	20	440	440
1. Podíly – ovládaná nebo ovládající osoba	061	21	0	0
2. Podíly – podstatný vliv	062	22	440	440
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	
			Stav k 01. 01. 22	Stav k 31. 12. 22
IV. Oprávky k dlouhodobému majetku celkem	07–08	28	-3 812 734	-4 406 935
1. Oprávky k nehmotným výsledkům výzkumu a vývoje	072	29	0	0
2. Oprávky k softwaru	073	30	-83 924	-80 314
3. Oprávky k ocenitelným právům	074	31	-2 512	-2 552
4. Oprávky k drobnému dlouhodobému nehmotnému majetku	078	32	-2 707	-2 409
5. Oprávky k ostatnímu dlouhodobému nehmotnému majetku	079	33	0	0
6. Oprávky ke stavbám	081	34	-409 114	-476 809
7. Oprávky k samost. hmot. mov. věcem a souborům hmot. mov. věcí	082	35	-3 272 482	-3 808 515
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	-41 995	-36 336
11. Oprávky k ostatnímu dlouhodobému hmotnému majetku	089	39	0	0
B. Krátkodobý majetek celkem	40	41	3 337 937	2 034 070
I. Zásoby celkem	11–13	41	13 288	13 946
1. Materiál na skladě	112	42	12 855	13 478
2. Materiál na cestě	111,119	43	53	0
3. Nedokončená výroba	121	44	372	460
4. Polotovary vlastní výroby	122	45	0	0
5. Výrobky	123	46	8	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	2 095 274	1 267 321
1. Odběratelé	311	52	3 982	3 262
2. Směnky k inkasu	312	53	0	0
3. Pohledávky za eskontované cenné papíry	313	54	0	0
4. Poskytnuté provozní zálohy	314	55	2 544	3 544
5. Ostatní pohledávky	316	56	1 934	5 080
6. Pohledávky za zaměstnanci	335	57	832	1 000
7. Pohledávky za institucemi sociálního zabezpečení a VZP	336	58	0	0
8. Daň z příjmů	341	59	698	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	1 366	-103
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	218 699	310 782
18. Dohadné účty aktivní	388	69	1 865 219	943 756
19. Opravná položka k pohledávkám	391	70	0	0



Název	SÚ	číslo řádku	Stav	
			Stav k 01. 01. 22	Stav k 31. 12. 22
III. Krátkodobý finanční majetek celkem	21–26	71	1 219 295	741 048
1. Peněžní prostředky v pokladně	211	72	644	703
2. Ceniny	212	73	0	0
3. Peněžní prostředky na účtech	221	74	1 218 651	740 345
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	10 080	11 755
1. Náklady příštích období	381	82	10 071	11 755
2. Příjmy příštích období	385	83	9	0
A+B Aktiva celkem		85	11 654 144	10 362 701
A. Vlastní zdroje celkem		86	9 064 704	8 766 982
I. Jmění celkem	90–92	87	9 063 904	8 760 606
1. Vlastní jmění	901	88	8 330 204	8 342 627
2. Fondy	91	89	733 601	416 034
3. Oceňovací rozdíly z přecenění finančního majetku a závazků	921	90	99	1 945
II. Výsledek hospodaření celkem	93–96	91	800	6 376
1. Účet výsledku hospodaření	963	92	0	6 376
2. Výsledek hospodaření ve schvalovacím řízení	931	93	800	0
3. Nerozdělený zisk, neuhrzená ztráta minulých let	932	94	0	0
B. Cizí zdroje celkem		95	2 589 440	1 595 718
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	2 587 194	1 595 196
1. Dodavatelé	321	107	17 003	25 814
2. Směnky k úhradě	322	108	0	0
3. Přijaté zálohy	324	109	559	596
4. Ostatní závazky	325	110	0	1
5. Zaměstnanci	331	111	63 213	61 937
6. Ostatní závazky vůči zaměstnancům	333	112	58	503
7. Závazky k institucím sociálního zabezpečení a VZP	336	113	32 368	34 319
8. Daň z příjmů	341	114	0	735
9. Ostatní přímé daně	342	115	8 697	7 611
10. Daň z přidané hodnoty	343	116	21 868	2 791
11. Ostatní daně a poplatky	345	117	7	4

Název	SÚ	číslo řádku	Stav	
			Stav k 01. 01. 22	Stav k 31. 12. 22
12. Závazky ze vztahu k státnímu rozpočtu	347	118	2 274 883	1 239 646
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	168 538	221 351
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	0	-112
23. Ostatní krátkodobé finanční výpomoci	289	129	0	0
IV. Jiná pasiva celkem	38	130	2 246	522
1. Výdaje příštích období	383	131	708	416
2. Výnosy příštích období	384	132	1 538	106
A+B Pasiva celkem		134	11 654 144	10 362 701

Předmět činnosti: vědecký výzkum

Rozvahový den: 31. 12. 2022

Bc. Iveta Hlavničková
sestavil, podpis a jméno

Datum sestavení: 25. 5. 2023

RNDr. Michael Prouza, Ph.D.
odpov. osoba, podpis a jméno

otisk razítka



6.2 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. 2022
(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	číslo řádku	Činnost		
			hlavní	jiná	Celkem
			1	2	3
A. Náklady		1	2 518 563	10 770	2 529 334
I. Spotřebované nákupy celkem	50+51	2	630 494	6 273	636 767
1. Spotřeba materiálu, energie a ostatních neskladovaných látek	501–503	3	361 438	3 751	365 189
2. Prodané zboží	504	4	0	0	0
3. Opravy a udržování	511	5	29 717	120	29 836
4. Náklady na cestovné	512	6	47 397	89	47 486
5. Náklady na reprezentaci	513	7	5 037	331	5 368
6. Ostatní služby	518, 514	8	186 905	1 982	188 887
II. Změny stavu zásob vlastní činnosti a aktivace	56+57	9	0	-89	-89
7. Změna stavu zásob vlastní činnosti	56	10	0	-89	-89
8. Aktivace materiálu, zboží a vnitroorganizačních služeb	571, 572	11	0	0	0
9. Aktivace dlouhodobého majetku	573, 574	12	0	0	0
III. Osobní náklady	52	13	1 167 927	4 340	1 172 267
10. Mzdové náklady	521,3	14	836 007	3 208	839 216
11. Zákonné sociální pojištění	524	15	279 542	1 068	280 610
12. Ostatní sociální pojištění	525	16	0	0	0
13. Zákonné sociální náklady	527	17	52 378	63	52 441
14. Ostatní sociální náklady	528	18	0	0	0
IV. Daně a poplatky	53	19	127	0	127
15. Daně a poplatky	53	20	127	0	127
V. Ostatní náklady	54	21	35 732	124	35 855
16. Smluvní pokuty, úroky z prodlení, ostatní pokuty a penále	541, 542	22	361	0	361
17. Odpis nedobytné pohledávky	543	23	48	0	48
18. Nákladové úroky	544	24	0	0	0
19. Kurzové ztráty	545	25	13 163	18	13 181
20. Dary	546	26	0	0	0
21. Manka a škody	548	27	6	0	6
22. Jiné ostatní náklady	547, 549	28	22 154	106	22 259

Název ukazatele	SÚ	číslo řádku	Činnost		
			hlavní	jiná	Celkem
			1	2	3
VI. Odpisy, prodaný majetek, tvorba a použití rezerv a opr. položek celkem	55	29	682 225	122	682 347
23. Odpisy dlouhodobého majetku	551	30	682 225	122	682 347
24. Prodaný dlouhodobý majetek	552	31	0	0	0
25. Prodané cenné papíry a podíly	553	32	0	0	0
26. Prodaný materiál	554	33	0	0	0
27. Tvorba a použití rezerv a opravných položek	556, 559	34	0	0	0
VII. Poskytnuté příspěvky	58	38	0	0	0
28. Poskytnuté členské příspěvky a příspěvky zúčtované mezi organiz. složkami	581	39	0	0	0
VIII. Daň z příjmů	59	40	2 058	0	2 058
29. Daň z příjmů	59	41	2 058	0	2 058
B. Výnosy		1	2 523 827	11 883	2 535 710
I. Provozní dotace	69	2	1 205 892	0	1 205 892
1. Provozní dotace	691	3	1 205 892	0	1 205 892
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	404 790	11 682	416 472
IV. Ostatní výnosy	64	16	913 145	201	913 346
5. Smluvní pokuty, úroky z prodlení, ostatní pokuty a penále	641, 642	17	29 741	0	29 741
6. Platby za odepsané pohledávky	643	18	0	0	0
7. Výnosové úroky	644	19	13 877	0	13 877
8. Kurzové zisky	645	20	43 441	12	43 453
9. Zúčtování fondů	648	21	131 267	0	131 267
10. Jiné ostatní výnosy	649	22	694 819	189	695 009
V. Tržby z prodeje majetku	65	24	0	0	0
11. Tržby z prodeje DNM a DHM	651	25	0	0	0
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	7 322	1 113	8 434
D. Výsledek hospodaření po zdanění		40	5 263	1 113	6 376

Předmět činnosti: vědecký výzkum

Rozvahový den: 31. 12. 2022

Bc. Iveta Hlavničková

podpis a jméno
sestavil

Datum sestavení: 25. 5. 2023

RNDr. Michael Prouza, Ph.D.

podpis a jméno
odpovědné osoby

otisk razítka



6.3 Příloha k účetní závěrce v plném rozsahu k 31. 12. 2022

I. OBECNÉ ÚDAJE

1. Informace o účetní jednotce

Název:	Fyzikální ústav AV ČR, v. v. i. (dále jen „FZU“)
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. 2022

Rozhodující předmět činnosti:
vědecký výzkum v oblasti fyziky, zejména fyziky elementárních částic, kondenzovaných systémů, plazmatu a optiky

Vznik a údaj o zápisu do rejstříku v. v. i.:
Pracoviště bylo zřízeno usnesením 26. zasedání prezidia Československé akademie věd ze dne 18. prosince 1953 s účinností od 1. ledna 1954 pod názvem Fyzikální ústav ČSAV. Ve smyslu § 18 odst. 2 zákona č. 283/1992 Sb. se stalo pracovištěm Akademie věd České republiky s účinností ke dni 31. prosince 1992. Na základě zákona 341/2005 Sb., o veřejných vědeckých institucích, se právní forma FZU dnem 1. ledna 2007 změnila ze státní příspěvkové organizace na veřejnou výzkumnou instituci. Zápis FZU 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 FZU 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:

- sekretariát ředitele,
- vědecká knihovna Na Slovance,
- oddělení síťování a výpočetní techniky,
- BOZP a PO,
- interní auditor.

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 FZU se provádí ve vědeckých sekcích

1. Sekce fyziky elementárních částic

Výzkumná oddělení:

- astročásticové fyziky,
- experimentální fyziky částic,
- teorie elementárních částic,
- vývoje detektorů a zpracování dat,
- kosmologie a gravitační fyziky.

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.

4. Sekce optiky

Výzkumná oddělení:

- analýzy funkčních materiálů,
 - optických a biofyzikálních systémů,
 - nízkoteplotního plazmatu,
 - Společná laboratoř optiky (SLO).
- Podpůrné oddělení:
- optické a mechanické dílny Na Slovance.

5. Sekce výkonových laserů – Centrum HiLASE

Výzkumná oddělení:

- vývoje pokročilých laserů (Centrum HiLASE),
 - průmyslových aplikací laserů (Centrum HiLASE),
 - vědeckých aplikací laserů (Centrum HiLASE),
 - radiační a chemické fyziky (Centrum PALS).
- Podpůrná oddělení:
- technické podpory center PALS a HiLASE,
 - inženýrské a technické podpory (Centrum HiLASE),

- řízení projektů (Centrum HiLASE).

Centrum HiLASE (oddělení 52, 55, 57, 58, 61, 62 a 63) 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 2022 pokračovala realizace tohoto společného projektu FZU a UK RI – Science and Technology Facilities Council (STFC) z Velké Británie. Cílem je přeměnit HiLASE do konce 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 2022 současně realizovalo v rámci svého projektového portfolia dalších cca 20 projektů financovaných z národních a mezinárodních grantů.

9. Sekce Centrum 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 2022 probíhaly práce na dokončení a plném zprovoznění L4, především BT. BT L3 byl testován a dále doladovány parametry systému, byla připravena první zprovoznovací výzva pro uživatele. První uživatelé se očekávají v roce 2023. V hale E1 probíhaly uživatelské experimenty. Byla vyhlášena další uživatelská výzva.

Probíhá realizace tří projektů financovaných z OPVVV – ADONIS, ELIBIO, HIFI. Plánované ukončení projektů je 30. 6. 2023. Na konci roku 2021 bylo oficiálně rozhodnuto o plné integraci ELI Beamlines do konsorcia ELI ERIC od 1. 1. 2023. Celý rok 2022 probíhaly intenzivní přípravy na převod. Na konci října byla podepsána oficiální smlouva o převodu a plné integraci.



3. Jména a příjmení členů statutárních orgánů ke konci účetního období:

Jméno a příjmení	funkce
RNDr. Michael Prouza, Ph.D.	ředitel
Rada FZU	
prof. Ing. Martin Nikl, CSc.	předseda
Ing. Alexandr Dejneka, Ph.D.	místopředseda
RNDr. Antonín Fejfar, CSc.	interní člen
Ing. Alice Hospodková, Ph.D.	interní člen
RNDr. Stanislav Kamba, CSc.	interní člen
RNDr. Mariana Klementová, Ph.D.	interní člen
doc. Mgr. Alexander Kupčo, Ph.D.	interní člen
Ing. Tomáš Mocek, Ph.D.	interní člen
RNDr. Michael Prouza, Ph.D.	interní člen
prof. Jan Řídký, DrSc.	interní člen
doc. Ing. Václav Čuba, Ph.D.	externí člen
prof. RNDr. Zdeněk Doležal, Dr.	externí člen
Mgr. Jindřich Houžvička, Ph.D.	externí člen
prof. Mgr. Pavel Javorský, Dr.	externí člen
prof. Ing. Helena Jelínková, DrSc.	externí člen
RNDr. Jiří Rameš, CSc.	tajemník
Dozorčí rada FZU	
doc. Ing. Luboš Náhlík, Ph.D.	předseda
prof. Ing. Pavel Lejček, DrSc.	místopředseda
Ing. Jiří Plešek, CSc.	člen
prof. RNDr. Ladislav Skrbek, DrSc.	člen
doc. Ing. Stanislav Vítek, Ph.D.	člen
RNDr. Vladimír Wagner, CSc.	člen
Ing. Miroslav Hořejší	tajemník

Člen Rady FZU Mgr. Jindřich Houžvička, Ph.D., je současně jednatelem společnosti Crytur, s.r.o., IČ 25296558, s níž FZU uzavřel v roce 2022 několik obchodních smluv (dodavatelských i odběratelských), z nichž celkové plnění představuje 9 240 919 Kč včetně DPH. Ředitel FZU RNDr. Michael Prouza, PhD., je statutárním zástupcem Společnosti Astropis, které FZU v roce 2022 fakturoval roční předplatné časopisu Astropis za 295 Kč.

Kromě výše uvedených skutečností není vedení FZU 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 2022 obchodní smlouvy nebo jiné smluvní vztahy. Členům řídicích a kontrolních orgánů organi-

zace nebyly poskytnuty v účetním období 2022 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 FZU 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.

FZU 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

FZU 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 2022 zisk ve výši 28 tis. Kč a vlastní kapitál ve výši 7 459 tis. Kč.

- 50% podílu ve společnosti Hi-Beams, s.r.o., v hodnotě 100 000 Kč
Hi-Beams, s.r.o., IČ 09818898, se sídlem v Šumperku, Průmyslová 3020/3, PSČ 787 01, byla zapsána do obchodního rejstříku 12. 1. 2021. Předmětem podnikání je výroba, obchod a služby neuvedené v přílohách č. 1 až 3 živnostenského zákona, obráběčství, kovárství a podkovářství, zámečnictví a nástrojářství. Dalším společníkem také s podílem 50 % je SHM, s.r.o., IČ 47976519. Společnost vykazuje za rok 2022 hospodářský výsledek 0 a vlastní kapitál ve výši 182 tis. Kč.



3. Druhy nákladů souvisejících s pořízením zásob

Doprava, clo, DPH, pojistné, provize apod.

4. Způsob stanovení opravných položek k majetku

FZU 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
Přístroje	3	2,5	2,5	10		
Přístroje	4	2	2	8,33		
z toho:	2			14,28	14,28	
optická laserová zařízení	2*			14,28	10	
	2*			14,28	6,67	
	2*			14,28	5	
Pracovní stroje	2	3,5	2,75	10		
Pracovní stroje	3	2,5	2,5	8,33		
Inventář	1	6	6	16,66		
Inventář	2	3,5	2,75	10		
Inventář	3	2,5	2,5	8,33		
Ocenitelná práva			16,67	16,67		

* Optická pulsní laserová zařízení pořízená po roce 2018 jsou zaříděna do 3 kategorií v závislosti na energii a výkonu s různou dobou upotřebitelnosti. Kategorie 1, 10 let, kategorie 2, 15 let a kategorie 3, 20 let.

6 Způsob uplatněný při přepočtu údajů v cizích měnách na českou měnu

FZU 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 2022 byly dle platné metodiky využity vstupní údaje roku 2021.

8. Podstatné změny postupů účtování oproti předchozímu účetnímu období

V průběhu roku 2022 byly u grantů s ročním vyúčtováním vypořádány dohadné položky a závazky vůči státnímu rozpočtu.

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.

III. Doplňující informace k rozvaze a výkazu zisku a ztráty (údaje jsou v tisících Kč)

1. Účet 021 – Budovy a stavby

Skupina majetku	2022			2021		
	Vstupní cena	Oprávky	Zůstatková cena	Vstupní cena	Oprávky	Zůstatková cena
Budovy a stavby	3 566 437	476 809	3 089 628	3 351 253	409 114	2 942 139

2. Účet 022 – Samostatné movité věci a soubory movitých věcí a 082 – Oprávky k samostatným movitým věcem

Skupina majetku	2022			2021		
	Vstupní cena	Oprávky	Zůstatková cena	Vstupní cena	Oprávky	Zůstatková cena
Celkem, z toho:	8 439 068	3 808 515	4 630 553	7 949 509	3 272 482	4 677 027
Dopr. prostředky	9 439	6 237	3 202	8 236	5 669	2 567
Inventář	23 669	10 819	12 850	20 157	8 345	11 812
Předměty z drahých kovů	14 427	13 587	840	14 407	13 437	970
Stroje, přístroje a zařízení	8 391 533	3 777 872	4 613 661	7 906 709	3 245 031	4 661 678

3. Dlouhodobý nehmotný majetek

Skupina majetku	2022			2021		
	Vstupní cena	Oprávky	Zůstatková cena	Vstupní cena	Oprávky	Zůstatková cena
Celkem, v tom:	99 966	82 866	17 100	100 713	86 436	14 277
Ocenitelná práva	2 794	2 552	242	2 550	2 512	38
Software	97 172	80 314	16 858	98 163	83 924	14 239

4. Nedokončený dlouhodobý majetek

Skupina majetku	2022			
	Stav k 1. 1.	Pořízeno	Zařazeno	Zůstatek k 31. 12.
Celkem, v tom	380 110	708 272	786 185	302 197
Nedok. dl. nehmotný majetek (041)	3 491	4 097	7 332	256
Nedok. dl. hmotný majetek (042)	376 619	704 175	778 853	301 941

5. Přehled přírůstků a úbytků dlouhodobého majetku dle skupin

Skupina majetku	2022			
	Stav k 1. 1.	Pořízeno	Vyřazeno	Zůstatek k 31. 12.
Software	98 163	12 167	13 158	97 172
Ocenitelná práva	2 550	244	0	2 794
Drobný dlouhodobý nehmotný majetek	2 707	0	298	2 409
Nedok. dlouhodobý nehmotný majetek	3 491	4 097	7 332	256
Pozemky	276 460	0	0	276 460
Stavby	3 351 253	215 184	0	3 566 437
Dopravní prostředky	8 236	1 333	130	9 439
Inventář	20 157	3 989	477	23 669
Předměty z drahých kovů	14 407	20	0	14 427
Stroje, přístroje a zařízení	7 906 709	553 248	68 424	8 391 533
Drobný dlouhodobý hmotný majetek	41 995	0	5 660	36 335
Nedok. dlouhodobý hmotný majetek	376 619	704 175	778 853	301 941
Poskytnuté zálohy na dlouh. hm. majetek	25 754	53 993	67 494	12 253

6. Souhrnná výše majetku neuvedená v rozvaze

Skupina majetku	Analytický účet	Zůstatek k 31. 12.
Drobný dlouhodobý nehmotný majetek	9712	20 040
Drobný dlouhodobý hmotný majetek	9711	410 136

7. Pohledávky

Pohledávky	Částka
k odběratelům	3 262
poskytnuté provozní zálohy	3 544
pohledávky za zaměstnanci	1 000
jiné pohledávky	310 782
dohadné položky	943 756

Na dohadných účtech aktivních jsou evidovány dohady z titulu dotačních programů. Na účtech jiných pohledávek vykazuje FZU pohledávky za spolupříjemci z dotačních titulů.

Obchodní pohledávky po lhůtě splatnosti (311)	Částka
do 30 dnů	508
31–90 dnů	62
91–180 dnů	0
nad 180 dnů	1 129

Pohledávky kryté podle zástavního práva
FZU k datu účetní uzávěrky nevykazuje.

Opravné položky
FZU k datu účetní uzávěrky nevykazuje.

Nepeněžitě pohledávky a jiná plnění neuvedené v účetnictví
FZU k datu účetní uzávěrky neeviduje žádnou

8. Jmění

Jmění	Částka
Jmění celkem	8 760 606
z toho: vlastní jmění	8 342 627
fondy	416 034
Oceňovací rozdíl finančních derivátů	1 945

9. Rozdělení zisku za minulé účetní období

Rozdělení zisku za minulé účetní období	Částka
Příděl do rezervního fondu	40
Příděl do fondu reprodukce majetku	760



10. Závazky

Dlouhodobé závazky	
FZU k datu účetní uzávěrky nevykazuje.	
Krátkodobé závazky	
	Částka
K dodavatelům	25 814
Přijaté zálohy	596
K zaměstnancům	61 937
K institucím sociálního zabezpečení a veř. zdravotního pojištění	34 319
Daň z příjmů ze závislé č. za zaměstnance	7 611
DPH	2 791
Daň z příjmů PO	735
Ostatní daně	4
Závazky ze vztahu k SR	1 239 646
Jiné závazky	221 351
Dohadné položky	0
Na účtu závazky ke SR jsou evidovány zálohy na provozní dotace přijaté v roce 2019 až 2022. Granty a dotace s ročním vyúčtováním jsou vypořádávány k 31. 12.	
FZU eviduje na účtech pouze splatné závazky pojistného na sociální zabezpečení a příspěvků na státní politiku zaměstnanosti a splatných závazků veřejného pojištění.	
FZU nemá žádné nedoplatky u místně příslušného FÚ.	
Obchodní závazky po lhůtě splatnosti (321)	
	Částka
do 30 dnů	1 526
31–90 dnů	981
91–180 dnů	2 308
nad 180 dnů	1 227
nad 360 dnů	336
FZU neeviduje dluhy vzniklé v daném účetním období, kde doba splatnosti k 31. 12. 2022 přesahuje 5 let. Všechny finanční a jiné dluhy jsou obsaženy v rozvaze.	
Závazky kryté podle zástavního práva	
FZU k datu účetní uzávěrky nevykazuje.	

11. Krátkodobé a dlouhodobé bankovní úvěry

FZU k datu účetní závěrky nevykazuje.

12. Finanční leasing

FZU k datu účetní závěrky nevykazuje.

13. Nepeněžitě závazky a jiná plnění neuvedené v účetnictví

FZU 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	563 075	0
Provozní účelové dotace na výzkum od poskytovatelů z ČR mimo zřizovatele	642 817	0
Dotace, granty a dary na výzkum ze zahraničí *	81 846	0
Tržby za výrobky a poskytnuté služby	404 790	11 682
Aktivace vnitroorganizačních složek	0	–89
Smluvní pokuty a penále	29 741	0
Úroky	13 877	0
Kurzové zisky	43 441	12
Zúčtování fondů	131 267	0
z toho: RF	845	0
sociální fond	15 876	0
FÚUP	114 545	0
Jiné provozní výnosy	694 819	189
z toho: nájemné, výnosy z konferencí, jiné ostatní výnosy	16 932	189
zúčtování poměrné části odpisů	677 887	0
Tržby z prodeje dlouhodobého majetku	0	0

* Užité provozní dotace, granty a dary na výzkum od poskytovatelů ze zahraničí jsou vykazovány ve Výkazu zisku a ztráty, položka B.IV.9, Zúčtování fondů.

15. Osobní náklady

Informace	Počet/Částka Rok 2021	Počet/Částka Rok 2022
Průměrný počet zaměstnanců	1 174,04	1 207
z toho: řídících	10	10
Výše osobních nákladů na zaměstnance v tis. Kč	1 103 763	1 172 267
z toho: na řídící pracovníky	21 633	22 975
hrubé mzdy pracovníků (bez OON)	751 458	822 741
OON	15 005	13 906
sociální a zdravotní pojištění	263 988	280 610
příděl do sociálního fondu	15 464	16 498
ostatní sociální náklady a čerpání sociálního fondu	35 757	35 943
odměny Radě ústavu	328	297
odměny Dozorčí radě	130	130

16. Významné položky výkazu zisku a ztráty

FZU k datu účetní závěrky nevykazuje.

17. Propojené a spřízněné osoby

FZU vykazuje pouze půjčky zaměstnancům ve výši 806 tis. Kč.

18. Půjčky, záruky a ostatní plnění poskytnutá členům orgánů FZU včetně bývalých členů

FZU k datu účetní závěrky nevykazuje.

19. Pohledávky vůči propojeným osobám

FZU k datu účetní závěrky nevykazuje.

20. Závazky vůči propojeným osobám

FZU k datu účetní závěrky nevykazuje.

21. Významné položky, které jsou ve výkazech kompenzovány s jinými položkami

FZU k datu účetní závěrky nevykazuje.

22. Události mezi rozvahovým dnem a datem sestavení závěrky

FZU k 1. 1. 2023 na základě dohod s Extreme Light Infrastructure ERIC (ELI ERIC) převedl majetek, závazky a pohledávky včetně smluvních vztahů projektu ELI – BEAMLINES. Tato skutečnost bude zachycena v účetnictví roku 2023. Dle jedné z dohod o převodu dlouhodobého majetku došlo k přepisu nemovitostí na Katastrálním úřadu z FZU na ELI ERIC již v roce 2022, avšak dle dohody se bude k této celkové transakci a dohodám přistupovat jako k převodu obchodního závodu k jednotnému datu 1. 1. 2023. Dle zachování věrného a poctivého obrazu této transakce bude postupováno dle § 7 Zákona o účetnictví č. 563/1991 Sb.

23. Přijaté dary a veřejné sbírky

FZU k datu účetní závěrky v roce 2022 přijal účelově určený dar od společnosti Marvel Fusion GmbH pro studijní doktorandský program (3/2021–2/2024) ve výši 832 tis. Kč, kdy k datu účetní závěrky využil v roce 2022 845 tis. Kč.

FZU k datu účetní závěrky nepřijal žádné veřejné sbírky.

24. Poskytnuté dary

FZU k datu účetní závěrky neposkytl žádné dary jiným subjektům.

26. Daňová povinnost

Za rok 2022 činí daňová povinnost FZU 2 058 050 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: 25. 5. 2023

Bc. Iveta Hlavničková

podpis a jméno autora zprávy

27. Ostatní

Odměna auditora za povinný audit roční účetní závěrky včetně ověření výroční zprávy za rok 2022 činí 240 790 Kč včetně DPH.

RNDr. Michael Prouza, Ph.D.

podpis a jméno odpovědné osoby

otisk razítka



25. Dotace

Poskytovatel	Částka
AV ČR – podpora činnosti pracoviště AV a VO	522 198
AV ČR – příspěvek na zajištění činnosti	40 877
GA ČR	164 448
Projekty ostatních resortů	379 982
TA ČR	19 257
Projekty – FZU je spolupříjemce	78 859
Ostatní	270
Celkem	1 205 892

Přijaté prostředky na investice

Poskytovatel	Částka
AV ČR – podpora činnosti VO	146 293
AV ČR – příspěvek na zajištění činnosti	68 022
GA ČR	7 075
Projekty ostatních resortů	120 606
Dotace mimorozpočtové ostatní	57
Celkem	342 053





7.

Zpráva auditora

7.1 Zpráva nezávislého auditora pro Fyzikální ústav AV ČR, v.v.i.



ZPRÁVA NEZÁVISLÉHO AUDITORA

o ověření účetní závěrky za období
od 1. ledna 2022 do 31. prosince 2022
organizace

Fyzikální ústav AV ČR, v.v.i.

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 2022, výkazu zisku a ztráty, za rok končící 31. prosince 2022 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 2022 a nákladů a výnosů a výsledku jejího hospodaření za rok končící 31. prosince 2022 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 způsobilo ovlivnit úsudek činěný na základě ostatních informací.

Na základě provedených postupů, do míry, již dokážeme posoudit, uvádíme, že

- ostatní informace, které popisují skutečnosti, jež jsou též předmětem zobrazení v účetní závěrce, jsou ve všech významných (materiálních) ohledech v souladu s účetní závěrkou a
- ostatní informace byly vypracovány v souladu s právními předpisy.



Dále jsme povinni uvést, zda na základě poznatků a povědomí o Organizaci, k nimž jsme dospěli při provádění auditu, ostatní informace neobsahují významné (materiální) věcné nesprávnosti. V rámci uvedených postupů jsme v obdržených ostatních informacích žádné významné (materiální) věcné nesprávnosti nezjistili.

Odpovědnost statutárního orgánu Organizace za účetní závěrku

Statutární orgán Organizace odpovídá za sestavení účetní závěrky podávající věrný a poctivý obraz v souladu s českými účetními předpisy, a za takový vnitřní kontrolní systém, který považuje za nezbytný pro sestavení účetní závěrky tak, aby neobsahovala významné (materiální) nesprávnosti způsobené podvodem nebo chybou.

Při sestavování účetní závěrky je statutární orgán Organizace povinen posoudit, zda je Společnost schopna nepřetržitě trvat, a pokud je to relevantní, popsat v příloze účetní závěrky záležitosti týkající se jejího nepřetržitého trvání a použití předpokladu nepřetržitého trvání při sestavení účetní závěrky, s výjimkou případů, kdy statutární orgán plánuje zrušení Organizace nebo ukončení její činnosti, resp. kdy nemá jinou reálnou možnost než tak učinit.

Za dohled nad procesem účetního výkaznictví v Organizaci odpovídá statutární orgán.

Odpovědnost auditora za audit účetní závěrky

Naším cílem je získat přiměřenou jistotu, že účetní závěrka jako celek neobsahuje významnou (materiální) nesprávnost způsobenou podvodem nebo chybou a vydat zprávu auditora obsahující náš výrok. Přiměřená míra jistoty je velká míra jistoty, nicméně není zárukou, že audit provedený v souladu s výše uvedenými předpisy ve všech případech v účetní závěrce odhalí případnou existující významnou (materiální) nesprávnost. Nesprávnosti mohou vznikat v důsledku podvodů nebo chyb a považují se za významné (materiální), pokud lze reálně předpokládat, že by jednotlivě nebo v souhrnu mohly ovlivnit ekonomická rozhodnutí, která uživatelé účetní závěrky na jejím základě přijmou.

Při provádění auditu v souladu s výše uvedenými předpisy je naší povinností uplatňovat během celého auditu odborný úsudek a zachovávat profesní skepticismus. Dále je naší povinností:

- Identifikovat a vyhodnotit rizika významné (materiální) nesprávnosti účetní závěrky způsobené podvodem nebo chybou, navrhnout a provést auditorské postupy reagující na tato rizika a získat dostatečné a vhodné důkazní informace, abychom na jejich základě mohli vyjádřit výrok. Riziko, že neodhalíme významnou (materiální) nesprávnost, k níž došlo v důsledku podvodu, je větší než riziko neodhalení významné (materiální) nesprávnosti způsobené chybou, protože součástí podvodu mohou být tajné dohody (koluze), falšování, úmyslná opomenutí, nepravdivá prohlášení nebo obcházení vnitřních kontrol vedením Organizace.
- Seznámit se s vnitřním kontrolním systémem Organizace relevantním pro audit v takovém rozsahu, abychom mohli navrhnout auditorské postupy vhodné s ohledem na dané okolnosti, nikoli abychom mohli vyjádřit názor na účinnost jejího vnitřního kontrolního systému.
- Posoudit vhodnost použitých účetních pravidel, přiměřenost provedených účetních odhadů a informace, které v této souvislosti Organizace uvedla v příloze účetní závěrky.
- Posoudit vhodnost použití předpokladu nepřetržitého trvání při sestavení účetní závěrky statutárního orgánu a to, zda s ohledem na shromážděné důkazní informace existuje významná (materiální) nejistota vyplývající z událostí nebo podmínek, které mohou významně zpochybnit schopnost Organizaci nepřetržitě trvat. Jestliže dojdeme k závěru, že taková významná (materiální) nejistota existuje, je naší povinností upozornit v naší zprávě na informace uvedené v této souvislosti v příloze účetní závěrky, a pokud tyto informace nejsou dostatečné, vyjádřit modifikovaný výrok. Naše závěry týkající se schopnosti Organizace nepřetržitě trvat vycházejí z důkazních informací, které jsme získali do data naší zprávy. Nicméně budoucí události nebo podmínky mohou vést k tomu, že Organizace ztratí schopnost nepřetržitě trvat.

- Vyhodnotit celkovou prezentaci, členění a obsah účetní závěrky, včetně přílohy, a dále to, zda účetní závěrka zobrazuje podkladové transakce a události způsobem, který vede k věrnému zobrazení.

Naší povinností je informovat statutární orgán o plánovaném rozsahu a načasování auditu a o významných zjištěních, která jsme v jeho průběhu učinili, včetně zjištěných významných nedostatků ve vnitřním kontrolním systému.

V Liberci, dne 30. května 2023

Auditorská společnost:

Auditor, který byl auditorskou společností určen jako odpovědný za provedení auditu jménem auditorské společnosti:

VGD - AUDIT, s.r.o. VGD - AUDIT, s.r.o. Ing. Radka Fišerová
evidenční č. 271 evidenční č. 2000
Bělehradská 18, 140 00 Praha 4



NÁZEV: Výroční zpráva o činnosti a hospodaření za rok 2022

AUTOR: FZU AV ČR

VYDAL: FZU AV ČR

TISK: MaRK5 Production

GRAFICKÉ ZPRACOVÁNÍ: Designiq

POČET STRAN: 168

NÁKLAD: 70 výtisků



Akademie věd
České republiky