



50 rokov
Ústavu experimentálnej fyziky SAV v Košiciach
(1969 – 2019)



„Kde bolo tam,
postavili vedcom chrám
ku ich hrám
s atómom
či letmi ku hviezdám.“



50 rokov

Ústavu experimentálnej fyziky SAV v Košiciach
(1969 – 2019)



4	Príhovor
7	Z histórie ústavu
8	Prehľad doterajších riaditeľov
10	Vedenie a funkcionári ústavu
11	Základné údaje o ústave
14	Oddelenie kozmickej fyziky
20	Oddelenie subjadrovej fyziky
28	Oddelenie fyziky magnetických javov
38	Centrum fyziky nízkych teplôt
42	Oddelenie fyziky kovov
48	Oddelenie biofyziky
56	Oddelenie teoretickej fyziky
60	Oddelenie experimentálnej chemickej fyziky
64	Oddelenie materiálovej fyziky
72	Oddelenie aplikovaného magnetizmu a nanomateriálov
81	Vedecká spolupráca ústavu
82	Publikačná činnosť
85	Vedecké konferencie
86	Pedagogická a popularizačná činnosť
88	Zoznam pracovníkov, ktorí pôsobili resp. pôsobia na ÚEF SAV



Milé kolegyne, milí kolegovia. Ústav experimentálnej fyziky počas posledných dvadsiatich rokov pokračoval vo svojich vedeckých aktivitách. Počas tohto obdobia ústav prechádzal rôznymi fázami, ktoré boli ovplyvnené ako spoločenskými udalosťami, tak aj skutočnosťami, ktoré vyplynuli z diania v ústave.

Ústav sa naďalej venoval svojmu pôvodnému vedeckému zameraniu, a to základnému výskumu v oblasti fyziky kondenzovaných látok, subjadrovej fyziky, kozmickej fyziky a biofyziky, ako aj výskumu vo vybraných oblastiach chemických vied a nanotechnológií. Po vzniku Oddelenia teoretickej fyziky v roku 1998 došlo tiež k výraznému rozvoju v tejto oblasti fyziky. V roku 2004 sa súčasťou ÚEF SAV stáva Centrum informačných a komunikačných technológií SAV v Košiciach (CITKE), ktoré pôsobí ako koordinátor rozvoja informačných a komunikačných technológií v SAV a podieľa sa na projektoch SAV pre vysoko-výkonnú výpočtovú techniku. V roku 2008 boli vytvorené tri nové laboratória: Laboratórium experimentálnej chemickej fyziky, Laboratórium materiálovej fyziky a Laboratórium nanomateriálov a aplikovaného magnetizmu, ktoré sa začali venovať štúdiu chemickej fyziky a progresívnych materiálov. V súčasnosti má ústav 150 zamestnancov vrátane 16 doktorandov, výskumným aktivitám sa venuje 17 výskumných skupín v rámci 9 oddelení a jedného centra, ktorých aktivity sú ďalej podrobne popísané. Veľmi významným obdobím pre rozvoj

ústavu bolo obdobie štrukturálnych fondov poskytnutých Európskou úniou (2005 – 2015), ktoré priniesli významnú finančnú podporu pre vznik nových vedeckých kolaborácií a zabezpečenie novej experimentálnej infraštruktúry. Pracovníci sa veľmi intenzívne zapojili hlavne do výziev v operačnom programe Výskum a vývoj, ktoré umožnili, aby sa ústav stal súčasťou viacerých univerzitných vedeckých parkov a výskumných centier. ÚEF SAV sa stal členom konzorcia „Výskumné centrum progresívnych materiálov a technológií pre súčasné a budúce aplikácie“ (PROMATECH), vďaka čomu bola v roku 2008 postavená nová budova na Watsonovej ulici, v ktorej sídlia pracovníci nielen nášho ústavu ale aj Ústavu materiáloveho výskumu a Ústavu geotechniky SAV. Okrem toho sa finančné prostriedky zo štrukturálnych fondov použili aj na rekonštrukciu budov na Bulharskej ulici, ako aj mnohých laboratórií v priestoroch budovy na Watsonovej ulici a Park Angelinum. Štrukturálne fondy EÚ nám nesmierne pomohli pri upevňovaní starých a nadväzovaní nových medzinárodných vedeckých spoluprác, pretože umožnili návštevy na zahraničných pracoviskách

alebo vedeckých podujatiach, ako aj návštevy expertov zo zahraničia na našom ústave. Toto obdobie prinieslo dôležitý transfer poznatkov, ovplyvnilo smerovanie výskumu a iniciovalo mnoho nových projektov.

Ústav bol úspešný pri získavaní nielen domácich, ale aj mnohých bilaterálnych či medzinárodných projektov. Pracovníci sa zapojili do výziev v rámci projektov 7RP, H2020, COST, M-ERA-Net a mnohí boli úspešní. Veľmi významné je pôsobenie ústavu v projektoch Európskej organizácie pre jadrový výskum (CERN) v Ženeve a Spojeného ústavu pre jadrový výskum (JINR) v Dubne. Okrem silnej medzinárodnej spolupráce má ústav úzke prepojenie s inými ústavmi SAV a vysokými školami.

Tieto skutočnosti viedli ku zvýšeniu počtu a kvality publikácií a citácií ako aj konštrukcii unikátnych experimentálnych zariadení, ktoré umožnili štúdiu fyzikálnych javov v extrémnych podmienkach, v ďalekom kozme či pri štúdiu tých najmenších čiastočiek hmoty. ÚEF SAV sa naďalej podieľal na organizovaní tradičných konferencií ako napr. CSMAG, SBS, Small triangle meeting, ale aj mnohých iných. Významnou mierou sa venoval popularizácii vedy – stavbou expozícií pre kreatívnu fabriku Steel Park, účasťou na tradičných podujatiach, ako je Noc výskumníkov, Deň otvorených dverí, Vedecký brloh a prostredníctvom mnohých mediálnych vystúpeniach. Na

základe týchto skutočností bol ústav pri akreditáciách hodnotený veľmi dobre. Za výsledky práce zamestnancov boli udelené mnohé významné ocenenia. Pracovníci ústavu sa významnou mierou podieľali na výchove novej generácie výskumníkov, pôsobili ako školitelia mnohých bakalárskych a magisterských prác. Venovali sa výchove doktorandov v šiestich študijných programoch. Sme radi, že mnohí z našich najlepších študentov sa uplatnili a presadili v rôznych renomovaných inštitúciách po celom svete, resp. sú naďalej súčasťou našich výskumných skupín.

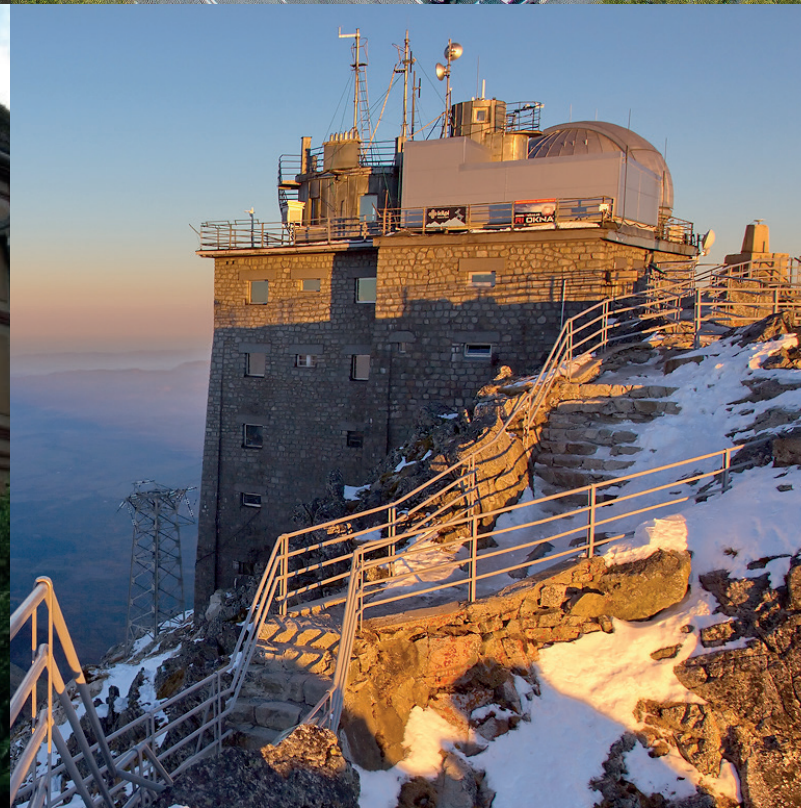
Ústav sa počas posledných rokov menil aj čo sa týka foriem hospodárenia. V roku 2016 zmenil ústav formu hospodárenia z rozpočtovej na príspevkovú. V roku 2018 bolo veľa úsilia vynaloženého v súvislosti s transformáciou ústavov Slovenskej akadémie vied na verejno-výskumné inštitúcie. Nakoniec však k zmene nedošlo a ÚEF SAV ostal príspevkovou organizáciou.

Čože je to päťdesiatka? V ľudskom živote snáď prvý medzník, kedy zrelý človek začne bilancovať svoj život. V prípade vedeckej inštitúcie je to podobné, umožňuje zhodnotiť svoje vedecké aktivity, zistiť, či má predpoklady pre ďalšiu existenciu. Dosiahnuté výsledky jednoznačne vravia, že za polstoročie svojej existencie sa ÚEF SAV stal vedeckým pracoviskom, ktoré je viditeľné vo výskumnom priestore, ktoré prináša

nové vedecko-výskumné výsledky nielen v oblasti základného výskumu, ale aj v oblasti aplikácií a inovácií. Toto nám dáva právo konštatovať, že ústav má svoju tradíciu, svoju značku.

ÚEF SAV poskytol pracovné podmienky niekoľkým generáciám zamestnancov, vďaka ktorým môžeme históriu a aj súčasnosť právom považovať za úspešný príbeh. Chcela by som sa touto cestou poďakovať všetkým vedeckým aj nevedeckým, bývalým aj súčasným pracovníkom za ich prácu, oduševnenosť a entuziazmus, za ich zanietenosť, s akou sa podieľali a podieľajú na rozvoji nášho ústavu, na budovaní jeho dobrého mena doma i v zahraničí. Keďže budúcnosť nášho ústavu je v našich rukách, som presvedčená, že bude plná riešení zaujímavých vedeckých tém a získavania kvalitných a pozoruhodných výsledkov. Želám Ústavu experimentálnej fyziky SAV, ako aj jeho zamestnancom všetko najlepšie. Fyzika je totiž nielen krásna a rôznorodá, ale aj potrebná a nezastupiteľná pre ďalší rozvoj vedy a spoločnosti.

Košice, apríl 2020
doc. RNDr. Zuzana Gažová, CSc.
riaditeľka ÚEF SAV



Na základe rozhodnutia Predsedníctva Slovenskej akadémie vied (SAV) vzniká dňom 1. 1. 1969 v Košiciach Ústav experimentálnej fyziky SAV. Jeho zárodok je spojený s vytvorením detašovaného oddelenia bratislavského Fyzikálneho ústavu SAV v Košiciach v r. 1964, ktoré sa orientovalo na fyzikálny výskum v oblasti kozmického žiarenia, feromagnetizmu a fyziky vysokých energií. Možnosť založiť v Košiciach akademické fyzikálne pracovisko vznikla vďaka nasledujúcim skutočnostiam:

Začiatkom 50. rokov realizuje prof. RNDr. V. Petržílka so svojimi spolupracovníkmi z Prahy výskum kozmického žiarenia na Lomnickom štíte vo Vysokých Tatrách. Do tohto výskumu sa zapája aj RNDr. Juraj Dubinský, ktorý postupne preberá starostlivosť o výskum kozmického žiarenia najprv v rámci bratislavského Fyzikálneho ústavu SAV (FÚ SAV), kde externe pôsobí, a neskôr v rámci detašovaného oddelenia FÚ SAV v Košiciach. Tak vzniká v Košiciach, resp. na východnom Slovensku tradícia výskumu kozmického žiarenia s viacerými medzinárodnými väzbami, ktoré si takýto výskum vyžaduje.

Na jeseň 1952 začína v Košiciach pôsobiť novozaložená Vysoká škola technická. V jej rámci sa konštituuje Katedra fyziky VŠT. Jej vedúci, doc. RNDr. Vladimír Hajko, orientuje pracovníkov katedry na rozvíjanie systematického výskumu vo fyzike magnetických javov. V efektívnej spolupráci s pražskými magnetikmi, postupným zapojením sa košických fyzikov do medzinárodnej vedeckej kooperácie sa magnetický výskum v Košiciach udomáňuje, rozširuje výskumnú tematiku a zvyšuje svoju kvalitu. V r. 1962 sa v Košiciach koná

1. celoštátna československá konferencia o magnetizme a po nej, v trojročných intervaloch, sa konajú takéto konferencie vždy v Košiciach. Tak sa rodí tradícia magnetického výskumu v Košiciach a Košice sa stávajú miestom častých stretnutí domácich i zahraničných magnetikov.

Dňom 1. 3. 1963 začína svoje pôsobenie v Košiciach Prírodovedecká fakulta UPJŠ. Tým sa otvára v Košiciach nová perspektíva pre fyzikálne bádanie, výrazne sa preň rozširuje priestor, ktorý je obohatený aj o možnosť postupne zapájať do výskumnej práce nadaných poslucháčov fakulty a z nich vyberať najschopnejších absolventov ako profesionálnych pracovníkov v oblasti fyzikálneho bádania. Na fakulte sa konštituujú tri fyzikálne katedry a v ich rámci vzniká aj detašované oddelenie bratislavského FÚ SAV na čele s prof. RNDr. J. Dubinským. Personálne, priestorové a výskumné prepojenie tohto oddelenia s príslušnými fyzikálnymi katedrami fakulty vytvára v relatívne krátkom čase podmienky pre osamostatnenie sa detašovaného oddelenia FÚ SAV a tak dňom 1. 1. 1969 vstupuje do histórie

košickej fyziky Ústav experimentálnej fyziky SAV.

Prvým riaditeľom ústavu sa stal prof. RNDr. Juraj Dubinský a pôsobil v tejto funkcii do konca roku 1979. V rokoch 1980 – 1985 vykonával funkciu riaditeľa prof. RNDr. Vladimír Hajko, v rokoch 1986 – 1990 bol riaditeľom RNDr. Michal Seman, CSc., od roku 1991 do roku 2007 túto funkciu zastával doc. RNDr. Peter Kopčanský, CSc., ktorého v roku 2007 do roku 2015 na poste riaditeľa vystriedal doc. RNDr. Karol Flachbart, DrSc. Od roku 2015 do roku 2019 bol riaditeľom opäť doc. RNDr. Peter Kopčanský, CSc. Od roku 2019 až doteraz zastáva funkciu riaditeľa doc. RNDr. Zuzana Gažová, CSc. (údaje od roku 1999 boli doplnené, pozn. redaktora).

Pri svojom vzniku mal ústav tri vedecské oddelenia: Oddelenie kozmického žiarenia, Oddelenie magnetizmu a Oddelenie fyziky vysokých energií. Na čele Oddelenia kozmického žiarenia bol prof. J. Dubinský. Oddelenie magnetizmu viedol prof. V. Hajko a Oddelenie fyziky vysokých energií

Prehľad doterajších riaditeľov



(1969–1979)

prof. RNDr. Juraj Dubinský



(1980–1985)

prof. RNDr. Vladimír Hajko



(1986–1990)

RNDr. Michal Seman, CSc.



(1991–2007)

doc. RNDr. Peter Kopčanský, CSc.



(2007–2015)

doc. RNDr. Karol Flachbart, DrSc.



(2015–2019)

doc. RNDr. Peter Kopčanský, CSc.

doc. J. Patočka. Prechodne bolo v r. 1973 – 1975 k ústavu pričlenené aj Oddelenie geofyziky. Toto oddelenie viedol prof. T. Kolbenheyer.

K zmene organizačnej štruktúry vedec-kých oddelení ústavu dochádza začiatkom roka 1980. Tvorí ju päť vedeckých oddelení, a to: Oddelenie fyziky magnetických javov (doc. Ing. L. Potocký, CSc.), Oddelenie fyziky kovov (prof. Ing. V. Karel, DrSc.), Oddelenie fyziky nízkych teplôt (doc. Ing. Š. Jánoš, CSc.), Oddelenie fyziky vysokých energií (RNDr. L. Šándor, CSc.) a Oddelenie kozmickej fyziky (doc. Ing. K. Kudela, DrSc.).

Dňom 1. 1. 1984 vzniká v ústave Bio-fyzikálne laboratórium, ktorého základ vytvorilo sedem biofyzikov pracujúcich

predtým v Neurobiologickom ústave SAV v Košiciach. Vedúcim laboratória sa stal RNDr. M. Fabian, CSc.

Od r. 1982 sa súčasťou organizačnej štruktúry ústavu stal aj tzv. Realizačný útvar (RÚ). V jeho rámci sa budovali výrobové dielne ústavu, ktoré mali zabezpečovať výrobu prístrojov a stavbu rôznych aparátov pre vedecké oddelenia ústavu a svojimi aktivitami napomáhať aj procesu prenášania vedeckých výsledkov do spoločenskej praxe. Pod vedením Ing. L. Kováča sa RÚ stal pomerne rýchlo akcieschopným. Vďaka spolupráci Ing. L. Kováča s doc. Ing. Š. Jánošom, CSc. a Ing. Š. Molokáčom, CSc. z Oddelenia fyziky nízkych teplôt sa v RÚ vyrobilo niekoľko desiatok kryochirurgických prístrojov. Fakultná

nemocnica v Košiciach (a po nej i viaceré ďalšie nemocnice na Slovensku a v Čechách), sa stala priekopníkom používania nízkoteplotných zariadení, vyrobených v RÚ, v medicínskej praxi. V RÚ, ktoré malo k 31. 12. 1989 vyše 30 pracovníkov, sa vyrobili aj ďalšie unikátne zariadenia pre výskumné účely a všetko smerovalo k tomu, aby sa v RÚ vytvorili predpoklady pre iniciovanie a realizáciu kusovej výroby náročných vedeckých prístrojov. Od r. 1990 sa však takéto aktivity na pracoviskách SAV postupne utlmovali, a tak v r. 1993 RÚ v ústave prestal existovať, zostali len prevádzkové dielne ústavu s 8 pracovníkmi.

Služby v oblasti výkonnej výpočtovej techniky (VT), nevyhnutnej pre rieše-

nie viacerých nosných tém ústavu (napr. pre vyhodnocovanie náročných experimentov v subjadrovej fyzike), sa v 80. rokoch zabezpečovali v rámci spoločného Ústavu výpočtovej techniky VŠT a SAV, kde pôsobila silná skupina (15 pracovníkov) ústavu. Ústav bol v tejto oblasti koordináčnym pracoviskom pre zabezpečenie služieb VT pre všetky košické ústavy SAV. S nástupom modernej distribuovanej VT (osobné počítače, pracovné stanice) potreba centrálného spoločného pracoviska zanikla. V súčasnosti potreby ústavu, najmä v oblasti počítačových sietí, zabezpečuje skupina VT, v ktorej pôsobia 3 inžinieri.

Pri svojom vzniku mal ústav 30 pracovníkov, k 31. 12. 1979 narástol tento

počet na dvojnásobok. K výraznejšiemu nárastu počtu pracovníkov ústavu dochádza po roku 1980, najmä v čase, keď v ústave vznikol a rozvíjal svoju činnosť Realizačný útvar (RÚ).

K 31. 12. 1989 počet pracovníkov ústavu dosahoval 140. Po rozpustení RÚ sa v 90. rokoch počet pracovníkov stabilizoval okolo čísla 110.

V prvých 12 rokoch svojej existencie nemal ústav nijaké vlastné priestory (iba laboratórium na Lomnickom štíte), jeho pracovníci pôsobili v priestoroch Prírodovedeckej fakulty UPJŠ spoločne s pracovníkmi Katedry experimentálnej fyziky a Katedry jadrovej fyziky. Začiatkom r. 1981 sa podstatná časť ústavu presťahovala do novostavby na Watsonovej ul. 47, kde ústav dodnes

sídlí. V priestoroch PF UPJŠ naďalej pôsobí Oddelenie kozmickej fyziky a Oddelenie fyziky nízkych teplôt, ktoré má s Katedrou experimentálnej fyziky PF UPJŠ spoločné výskumné laboratória. Oddelenie biofyziky je dislokované v rekonštruovaných priestoroch areálu na Bulharskej ulici 2 – 6. Tam sú umiestnené aj Prevádzkové dielne ústavu.

prof. V. Hajko v brožúre vydanej k 30. výročiu založenia Ústavu experimentálnej fyziky SAV v Košiciach

Vedenie a funkcionári ÚEF SAV



doc. RNDr. Zuzana Gažová, CSc.
riaditeľka ústavu



RNDr. Alena Juríková, CSc.
zástupkyňa riaditeľky



doc. RNDr. Slavomír Gabáni, PhD.
vedecký tajomník



RNDr. Pavol Bobík, PhD.
predseda Vedeckej rady



doc. RNDr. Karol Flachbart, DrSc.
člen Snemu SAV



prof. RNDr. Peter Samuely, DrSc.
podpredseda SAV

Základné údaje o ÚEF SAV

riaditeľka

doc. RNDr. Zuzana Gažová, CSc.

zástupkyňa riaditeľky

RNDr. Alena Juríková, CSc.

vedecký tajomník

doc. RNDr. Slavomír Gabáni, PhD.

predseda

RNDr. Pavol Bobík, PhD.

Vedecká rada ÚEF SAV

interní členovia:

RNDr. Pavol Farkašovský, DrSc.
Ing. Martina Koneracká, CSc.
RNDr. Ivan Králik, CSc.
prof. RNDr. Peter Samuely, DrSc.
RNDr. Ivan Škorvánek, CSc.
RNDr. Milan Timko, CSc.
RNDr. Mária Zentková, CSc.

externí členovia:

prof. RNDr. Jaroslav Briančin, CSc.
prof. RNDr. Ján Dusza, DrSc.
prof. RNDr. Peter Kollár, DrSc.
prof. Ing. Martin Orendáč, CSc.

sekretariát

Ing. Miroslava Furinová
Ing. Valéria Kočanová

Ing. Judita Pribišová
Viera Štrbinová

Pavol Koval

vedecké oddelenia a ich vedúci

Oddelenie kozmickej fyziky

RNDr. Pavol Bobík, PhD.

Oddelenie subjadorovej fyziky

RNDr. Ivan Králik, CSc.

Oddelenie fyziky magnetických javov

RNDr. Natália Tomašovičová, CSc.

Centrum fyziky nízkych teplôt

Mgr. Pavol Szabó, CSc.

Oddelenie fyziky kovov

RNDr. Kornel Csach, CSc.

Oddelenie biofyziky

RNDr. Diana Fedunová, PhD.

Oddelenie experimentálnej

chemickej fyziky

RNDr. Marián Sedlák, DrSc.

Oddelenie teoretickej fyziky

RNDr. Pavol Farkašovský, DrSc.

Oddelenie materiálovej fyziky

Ing. Pavel Diko, DrSc.

Oddelenie aplikovaného

magnetizmu a nanomateriálov

RNDr. Ivan Škorvánek, CSc.

prevádzkové útvary

prevádzkové dielne

Imrich Piroško
Ivan Jurčo

obslužný personál

Štefan Fink
Jozef Jacko
Peter Jurko
Juraj Koribanič

Jaroslav Nináč
František Vružek
Ján Timko

Monika Baloghová
Mária Belková
Marcela Kurimská
Marián Piroš
Mária Pirošová

Centrum informačných technológií v Košiciach

Ing. Viktor Kočan
Ing. Richard Bílek
Ing. Marcela Brasová

knížnično-informačné stredisko

Anna Ivanišová

Celkový počet pracovníkov: 150, z toho vedeckých pracovníkov: 87, doktorandov: 16



Vedecké oddelenia ústavu



vedúci oddelenia:
RNDr. Pavol Bobík, PhD.

Vedeckí pracovníci:

Ing. Ján Baláž, PhD.
RNDr. Šimon Mackovjak, PhD.
RNDr. Blahoslav Pastirčák, CSc.
RNDr. Marián Putiš, PhD.

Odborní pracovníci:

Ing. Marek Kollárik
Mgr. Ronald Langer
Ing. Igor Strhárský
Samuel Štefánik
Mgr. Jana Štetiarová

Doterajší vedúci oddelenia:

prof. J. Dubinský (1969 – 1979)
prof. K. Kudela, DrSc. (1980 – 2011)

Oddelenie kozmickej fyziky

V čase vzniku ÚEF SAV mal výskum kozmického žiarenia na Lomnickom štíte už 20-ročnú tradíciu, k vytvoreniu ktorej významne prispel aj J. Dubinský, prvý riaditeľ ústavu. Bolo preto prirodzené, že Oddelenie kozmického žiarenia, na čele s J. Dubinským, sa stalo od počiatku existencie ústavu jeho významnou súčasťou.

Počas jeho 50 - ročnej histórie sa postupne vyprofilovali viaceré výskumné smery spojené s meraniami aparátúr v kozme, na povrchu Zeme, analýzou týchto údajov a rozvojom teoretických modelov pre ich interpretáciu.

Meracie aparátúry v kozme

Dlhoročnou tradíciou oddelenia je vývoj vlastných meracích aparátúr pre prácu v kozme na palube satelitov a vesmírnych sond. Aktivity v tejto oblasti začali v polovici 70. rokov kreovaním skupiny kozmickej techniky, ktorej vedúcou osobnosťou bol Jozef Rojko. Prvá vedecká aparátúra, ktorá bola skonštruovaná v Košiciach, niesla názov SK-1 (Jozef Rojko) a odštartovala do kozmu 24. septembra 1977 na

palube satelitu Interkozmos-17. Nasledovala séria veľmi úspešných detektorov kozmických energetických častíc DOK-T (1981, Rojko), DOK-1 (1985, Rojko, Matišin), SPE-1 (1989, Rojko, Matišin, Baláž), SONG-E (1994, Rojko, Baláž), DOK-2 (1995-96 Rojko, Baláž, Matišin), SONG-EM (2001, Rojko, Baláž, Strhárský).

V rokoch 1989 – 96 sa OKF v rámci širokej medzinárodnej spolupráce (Rusko, Írsko, Nemecko, Maďarsko, ČR a SR) významne podieľalo na príprave aparátúry SLED-2 (Baláž) pre medziplanetárnu misiu Mars-96. Na základe hodnotných pracovných kontaktov a referencií nadobudnutých počas prípravy tejto misie, boli pracovníci OKF (Ján Baláž, Igor Strhárský) začiatkom roka 2000 prizvaní k príprave dvoch misií európskej kozmickej agentúry ESA: kometárnej misii Rosetta a magnetosférickej misii Double Star. Pre misiu Rosetta OKF (Ján Baláž, Igor Strhárský) významne prispelo ku konštrukcii procesora ESS (Electrical Support System), ktorého účelom bolo zabezpečovať komunikáciu medzi orbitálnou sondou a pristávacím modulom Philae počas ich desaťročného spoločného letu a najmä po oddelení

modulu a jeho pristátí na povrchu kométy. Práce na procesore prebiehali v rokoch 2000 a 2001, Rosetta odštartovala v marci 2004 a svoj cieľ – kométu 67P/Čurjumov-Gerasimenko dosiahla v auguste 2014. Pristátie na kométe sa uskutočnilo v novembri 2014, procesor ESS pracoval bezchybne až do ukončenia misie v septembri 2016. Rosetta je vesmírna sonda, ktorá uskutočnila historicky prvé riadené mäkké pristátie na povrchu kométy a priniesla obrovské množstvo originálnych vedeckých informácií.

Pre spoločnú misiu európskej kozmickej agentúry ESA a čínskej CNSA sa OKF (Ján Baláž, Igor Strhárský) v rokoch 2000 až 2004 podieľalo na vývoji snímkovacieho detektora (imagera) energetických neutrálnych atómov NUADU (NeUtral Atom Detection Unit). Ten odštartoval do kozmu v júli 2004 na palube satelitu Double Star TC-2, kde bezchybne pracoval až do roku 2009 a poskytol množstvo cenných údajov o distribúcii energetických častíc v zemskej magnetosfére, najmä v tzv. prstencovom prúde. Získané a analyzované dáta sa stali základom celej série hodnotných vedeckých publikácií.

V rokoch 2005 – 2008 prebiehal vývoj detektora energetických elektrónov PEEL (Precipitating Energetic Electrons at high Latitude) (Ján Baláž, Igor Strhárský), ktorý bol sondážnou raketou HotPay-2 vynesý na suborbitálnu trajektóriu do výšky 380 km z nórskeho arktického ostrova Andoya (90. rovnobežka) a poskytol cenné údaje o distribúcii energetických elektrónov v tejto oblasti.

V rokoch 2008 – 2013 sa OKF (Ján Baláž, Igor Strhárský) podieľalo na vývoji časticovej aparátúry PICAM (Planetary Ion CAMera) pre misiu ESA BepiColombo k planéte Merkúr. Sonda odštartovala na sedemročnú púť k Merkúru v októbri 2018 z kozmodrómu Kourou, vedecké aparátúry pracujú nominálne. V júli 2011 bol z kozmodrómu Bajkonur na vysokoapogeovú orbitu (350 000 km) vypustený satelit Spektr-R (Radioastron) s detektorom energetických častíc MEP-2 (Monitor of Energetic Particles), ktorý bol vyvíjaný na OKF už od 90. rokov (Ján Baláž, Igor Strhárský). Prístroj na tejto orbite spoľahlivo pracoval až do zlyhania komunikácie so satelitom v roku 2019 a priniesol množstvo cenných údajov

z magnetosféry Zeme a medziplanetárneho prostredia. Medzi jeho najvýznamnejšie objavy patria doposiaľ nepozorované oscilácie energetických elektrónov na rázovej vlně magnetosféry. V súčasnosti sa na OKF (Ján Baláž, Igor Strhárský) pripravuje časticová aparátúra DOK-M pre magnetosférickú misiu Resonance, zameranú na štúdium rezonančných časticovo-vlnových interakcií v zemskej magnetosfére a podobná aparátúra ASPECT-L pre mesačnú misiu LUNA-Globe.

Od roku 2014 sa OKF (Ján Baláž, Igor Strhárský) podieľa na vývoji antikoincidenčného modulu ACM pre vedecký komplex PEP (Particle Environment Package) misie ESA JUICE (JUper ICy moons Explorer), od roku 2018 aj s podporou projektu ESA-PECS. Úlohou modulu ACM je zvýšiť kvalitu detekcie nízkoenergetických plazmových častíc na pozadí silného elektrónového žiarenia z radiačných pásov Jupitera. Štart misie je naplánovaný na rok 2022, operácie okolo Jupitera a jeho mesiacov Europa, Kallisto a Ganymedes budú prebiehať v rokoch 2030 – 2032.

Špeciálne miesto v histórii oddelenia zaujíma február 1999. Dňa 22. februára 1999 odštartoval na svoju misiu k orbitálnej stanici MIR prvý slovenský kozmonaut Ivan Bella. Misia niesla pomenovanie ŠTEFÁNIK. Ústav experimentálnej fyziky v Košiciach participoval na tomto projekte fyzikálnym experimentom SK-1/Dozimetria. Projekt nadväzoval na dlhoročný výskum Oddelenia kozmickej fyziky ÚEF SAV (OKF) v oblasti detekcie jadrovej zložky kozmického žiarenia pomocou nukleárných emulzií. Tieto natrvalo zaznamenávajú stopy preletov jadier kozmického žiarenia cez materiál polymérovej emulzie. Historicky staršie expozície emulzií postupne zabezpečovali návratové moduly družíc typovej rady KOZMOS, počínajúc družicou INTERKOZMOS-6 (1972). Ideovým tvorcom a hlavným realizátorom experimentu SK-1/Dozimetria bol Dr. Ladislav Just. Vo vyhodnotených detektoroch bolo v prvej vrstve detektorov pozorovaných priemerne 84,5 častíc v 1 cm². Pozorované bolo zvýšenie počtu jadier s nízkou energiou a malými nábojmi. Výsledky získané po lete ukázali, že aj veľmi presné modelové výpočty ukazovali značné

rozdiely s experimentálnymi hodnotami a preto bol vyvodený záver, že je žiaduce pokračovať v štúdiu a rozvíjaní tejto problematiky.

I krátkodobé merania intenzity kozmického žiarenia a radiačnej dávky, tak ako boli robené pevnolátkovými detektormi počas letu slovenského kozmonauta, boli dôležité pre opis žiarenia vo vnútri stanice v konkrétnom časovom úseku. Takéto údaje slúžili na preverenie, respektíve upravenie modelov radiácie tak pre ľudské posádky, ako aj pre funkčnosť elektronických súčiastok na orbite stanice.

Dlhodobé merania kozmického žiarenia na Lomnickom štíte

Začiatky spojených meraní nukleónovej zložky sekundárneho kozmického žiarenia sa datujú od januára 1958 prostredníctvom neutrónového monitora IGY, prvé dáta boli s dvojhodinovým rozlíšením. Systematické meranie hodinových dát začalo od 1. februára 1968. Od januára 1972 pokračovali merania 4-detektorovým monitorom typu IQSY, ktorý bol od 1. decembra 1981 nahradený 8-detektorovým monitorom 8-NM-64 (fungujúcim dodnes), časové rozlíšenie sa postupne menilo na terajšie 1-sekundové dáta, čo v súčasnosti umožňuje zaznamenávať krátkodobé variácie kozmického žiarenia. Fakt, že to je vysokohorská stanica s vysokou štatistickou presnosťou, umožnil zaznamenať mnohé GLE (Ground Level Events), spôsobené slnečnými erupciami. Vďaka svojej polohe, vysokej početnosti a 5-minútovému časovému rozlíšeniu bol po erupcii 3. júna 1982 spolu so stanicou Jungfrauoch prvýkrát pozemne zaznamenaný vzrast početnosti spôsobený slnečnými neutrónmi. Dáta neutrónového monitora na Lomnickom štíte sa v spo-

lupráci s Oddelením dozimetrie žiarenia ÚJF AV ČR porovnávali s dozimetrickými meraniami na lietadlách a teraz spolu s ďalšími stanicami slúžia na odhad radiačnej dávky posádkam lietadiel.

Počnúc rokom 2010 bol neutrónový monitor na Lomnickom štíte zapojený do NMDB projektu (nmdb.eu), ktorý zahŕňa 70 neutrónových monitorov po celom svete, vďaka čomu je možný presný a spoľahlivý GLE ALARM a GLE ALERT systém, ako aj monitorovanie slnečných neutrónov v reálnom čase. Neutrónový monitor na Lomnickom štíte nepretržite



Mladí kozmickí vedci a inžinieri (2012, zľava: M. Mizov, R. Bučík, P. Bobík, J. Baláž, M. Baláž, I. Strhárský).

distribuuje do tejto databázy online dáta bez výpadkov alebo chybných údajov. Okrem toho sme do projektu prispeli aj online zobrazovaním fluktuácií kozmického žiarenia ako aj prehľadom staníc, ktoré poskytujú dáta v reálnom čase (Karel Kudela, Igor Strhárský). V rámci NMDB mítingu v Kieli bol prezentovaný možný spôsob zapnutia GLE výstrah na základe online dát neutrónových monitorov (Karel Kudela, Ronald Langer). S meraniami na Lomnickom štíte priamo súvisia výsledky

z dlhodobého sledovania kváziperiodických variácií kozmického žiarenia (Karel Kudela).

Kozmické počasie bolo ďalšou intenzívne skúmanou témou na OKF (Karel Kudela a Jana Štetiarová). Výskum napríklad ukázal, že indexy aktivity kozmického žiarenia sú dobrým nástrojom na testovanie spoľahlivosti charakteristík kozmického žiarenia pre predpoveď kozmického počasia. Iný z tejto oblasti ukázal spojitost medzi niektorými parametrami kozmického počasia a fyziologických parametrov získaných z vyšetrení vojenských pilotov.

Od 20. marca 2014 prebieha spojené meranie kozmického žiarenia (KŽ) zariadením s označením SEVAN na Lomnickom štíte v laboratóriu KŽ OKF ÚEF SAV v Košiciach. Ide o experimentálne zariadenie vyvinuté v Ústave fyziky Arménskej akadémie vied. Experiment umožňuje na tomto vysokohorskom pracovisku rozšíriť doterajšie dlhodobé spojené merania neutrónovým monitorom (<http://neutronmonitor.ta3.sk>) o detekciu ďalších sekundárnych produktov KŽ vznikajúcich v atmosfére. Tým sa rozširu-

je sieť meraní na stredných a nižších šírkach s cieľom získať nové poznatky o súvislostiach medzi kozmickým žiarením a efektmi tzv. kozmického počasia, respektíve s atmosférickými efektmi, o jeden významný merací bod. K uvedeniu zariadenia do činnosti museli byť spravené viaceré mechanické a elektronické práce tak, aby sa na merania plne využila tak unikátna poloha Lomnického štítu, ako aj tamojšia infraštruktúra Ústavu experimentálnej fyziky SAV. Od júna 2016 je okrem 1-minútových dát zariadenia SEVAN k dispozícii aj 1-sekundové údaje. Merania neutrónového monitora sú dostupné v reálnom čase s 1-minútovým rozlí-



Rok 2019, zľava: R. Langer, B. Pastirčák, P. Bobík, J. Štetiarová, S. Štefánik, I. Strhárský, V. Štrbinová, Š. Mackovjak, M. Medeová, K. Kudela, J. Baláž, A. Tomičová, P. Kopčanský, M. Slivka.

šením na <http://neutronmonitor.ta3.sk> a od júna 2013 sa archivujú dáta už aj s 1-sekundovým rozlíšením.

Okrem základného výskumu sú merania dôležité aj pre upresňovanie radiačnej situácie na výškach hôr a sú využívané v zahraničí aj pre odhady dávok ožiarovania na lietadlách. V tejto oblasti dlhodobo prebieha spolupráca napr. s oddelením dozimetrie Ústavu jadrovej fyziky AV ČR v Prahe (Karel Kudela, Ronald Langer).

Vďaka prístroju EFM-100 na meranie elektrostatického poľa, ktorý bol poskytnutý Ústavom fyziky atmosféry AV ČR, je možnosť skúmať efekty TGE (Thunderstorm Ground Enhancements), viditeľné hlavne na elektrón-pozitrónovej (alebo gama) zložke dát SEVAN-u a ich súvislosti s elektrostatickým poľom a búrkovými javmi v okolí Lomnického štítu.

Dáta meraní sa využívajú okrem ÚEF SAV v rôznych laboratóriách v zahraničí a sú v reálnom čase poskytované pracoviskám, ktoré sa zaoberajú monitorovaním a možnými predikciami efektov tzv. koz-

úlohy monitorovania toku kozmických častíc prichádzajúcich do atmosféry aj určitý potenciál vo využití sledovania jeho variácií pre možné krátkodobé predpovede efektov kozmického počasia.

Analýza dát z pozemných a satelitných meraní a teoretické štúdie Dôležitou súčasťou prác OKF je analýza údajov z pozemných a družicových meraní a teoretické štúdie pre ich interpretácie. Spomedzi širokého spektra získaných výsledkov z tejto oblasti vyberáme nasledujúce.

Analýza výkonových spektier (PSD) intenzít kozmického žiarenia z neutrónových monitorov v Calgary a na stanici Deep River roku 1991 (Karel Kudela) pokrývajúca merania v období 1965 – 1989 ukázala tri rozličné oblasti PSD spektra s odlišnými charakteristikami. Na nízkych frekvenciách s periódou v okolí $T \sim 20$ mesiacov mení spektrum svoj sklon, čo indikuje výskyt procesov zodpovedných za dlhoperiodické variácie, iných než tie, ktoré spôsobujú krátkoperiodické variácie. Medzi periódami $T \sim 18$ mesiacov a $T \sim 6$ mesiacov je prechodová fáza PSD spektra a pre kratšie periódny až po $T \sim 27$ dní spektrum vykazuje charakteristiky opakujúce sa s 22-ročnou periodicitou. Pre periódny kratšie ako 6 dní má PSD spektrum podobné charakteristiky ako PSD spektrum nehomogenit medziplanetárneho magnetického poľa meraného medzi 1AU a 30AU.

Analýza meraní energetických iónov (> 15 keV) a elektrónov (> 30 keV) v roku 1992 z meraní satelitu Prognost 10 na nízkych a stredných šírkach v magnetosfére (Karel Kudela, Marián Slivka) ukázala najvyššie toky na nízkych šírkach vnútri magnetopauzy a na stredných šírkach v magneto-

sférickej obálke. Tok častíc vykazuje jasnú závislosť na geomagnetickej aktivite, ktorá ale nezávisí na orientácii magnetického poľa magnetosférickej obálky. Výsledky indikujú, že hlavným zdrojom častíc v obálke sú magnetosféricke častice, ale nevylučujú Fermiho urýchľovanie na rázovej vlně magnetosféry.

Z dlhodobých meraní kozmického žiarenia neutrónovými monitormi na Lomnickom štíte ale aj monitormi s inými odrezávacími rigiditami sa v roku 2002 získavali výsledky o periodicitách v časovom vývoji meraných intenzít. Analýza meraní (Karel Kudela) ukázala prítomnosť troch hlavných periodicit, 150-dennej, ~1,3-ročnej a ~1,7-ročnej. Pokiaľ 1,7-ročná je výrazná v 21 slnečnom cykle (najmä v roku 1982), tak 1,3 ročná sa výraznejšie ukazuje počas fáz poklesu aktivity v 20. a 22. slnečnom cykle.

Analýza meraní prístroja SONG na sonde CORONAS F (Karel Kudela, Marián Slivka) z rokov 2005 a 2006 ukázala nárasty intenzity v spektrách emisií gamma žiarenia s energiou 26 – 200 MeV, čo potvrdzuje urýchľovanie protónov počas slnečných erupcií na energie väčšie ako 200 MeV.

Karel Kudela sa v roku 2006 a 2007 podieľal na analýze dát z magnetometra medziplanetárnej sondy Venus Express. Venuša nemá magnetické pole z vnútorných zdrojov a jej atmosféra priamo interaguje s magnetickým poľom slnečného vetra. Merania pomohli objasneniu tejto interakcie.

Významným výsledkom pozorovaní na Lomnickom štíte bolo pozorovanie korelácie medzi intenzitou sekundárneho kozmického žiarenia meraného detektorovým systémom SEVAN a intenzitou elektrického poľa v roku 2016 (Karel Kudela, Ronald Langer, Igor Strhárský). V priemere 2-minútové nárasty intenzity

korešpondovali s periódami s vysokou intenzitou elektrického poľa, s vyššou pravdepodobnosťou pri jeho negatívnej polarite.

Od konca 90. rokov a v nasledujúcich dvoch desaťročiach prebiehal na OKF vývoj modelov opisujúcich trajektórie kozmického žiarenia v magnetosfére Zeme (Karel Kudela, Pavol Bobík, Radoslav Bučík) a moduláciu kozmického žiarenia v heliosfére (Pavol Bobík, Marián Putiš).

Model na výpočet trajektórií kozmického žiarenia umožňuje určenie odrezávacích rigidít pre pozície v magnetosfére Zeme a spektier kozmického žiarenia na rôznych geomagnetických šírkach. A to ako v súčasných presných modeloch geomagnetického poľa, ako je model interného geomagnetického poľa IGRF a model externého geomagnetického poľa Tsyganenko, tak aj v modeloch historického vývoja geomagnetického poľa. Model napríklad umožnil výpočet vývoja odrezávacích rigidít na Zemi za posledných dvetisíc rokov. Rovnako umožňuje identifikáciu albedo sekundárnych častíc meraných experimentmi, akým je AMS, na orbite Zeme a priepustnosti magnetosféry v závislosti od energie častíc kozmického žiarenia.

Moduláciu kozmického žiarenia v heliosfére v komplexných dvojrozmerných modeloch heliosféry zahŕňajúcich drift, ale aj v jednorozmerných modeloch slúžiacich na rozvoj numerických techník pre riešenie Fokker-Planckovej rovnice. Dvojrozmerný model modulácie častíc v heliosfére s relatívne vysokou presnosťou reprodukuje merania hlavných experimentov monitorujúcich intenzity jednotlivých zložiek kozmického žiarenia na orbite Zeme (1AU) ako sú napríklad experimenty AMS-01 a PAMELA. Model umožňuje aj odhad pozitrónového pomeru na energiách v de-

siatkach až stovkách GeV spôsobený moduláciou kozmického žiarenia v heliosfére. Jednorozmerné modely umožnili odhad štatistickej chyby rôznych metód stochastického kalkulu pri výpočtoch modulácie a spektier kozmického žiarenia v heliosfére.

Častice vysokých energií, EUSO experiment

Koncom roka 2008 začala nová kapitola vo výskume kozmického žiarenia v Košiciach. V predchádzajúcich desaťročiach sa Oddelenie kozmickej fyziky orientovalo na výskum kozmického žiarenia nízkych a stredných energií. Rozšírenie výskumu do oblasti vysokých energií začalo vstupom ÚEF do medzinárodnej kolaborácie JEM-EUSO (Extreme Universe Space Observatory onboard Japanese Experiment Module). JEM-EUSO kolaborácia od roku 2007 pripravuje experiment s kapacitou odhaliť pôvod častíc s ultravysokou energiou na úrovni 1011 GeV. Detektor bude sledovať atmosféru Zeme z Medzinárodnej vesmírnej stanice ISS a využíva ju ako ohromný detektor týchto častíc. Častice s ultravysokou energiou pri svojom vstupe do atmosféry vytvárajú časticové spršky. Častice spršok fluorescenčne produkujú svetelný signál, ktorý je detekovateľný z orbity Zeme. JEM-EUSO detektor bude z orbity sledovať veľkú oblasť atmosféry, o rád väčšiu, ako najväčšie pozemné detektory, a preto zaznamená viac častíc s ultravysokou energiou.

V dobe vstupu ÚEF do kolaborácie v nej participovalo 12 členských krajín, v súčasnosti kolaboráciu tvorí 16 krajín. ÚEF (Karel Kudela, Pavol Bobík, Blahoslav Pastirčák, Marián Putiš, Šimon Mackovjak) sa v rámci príprav experimentu venuje dvom

hlavným oblastiam. Prvou je výskum ultrafialového pozadia, ktoré detektor pozoruje, a je tvorené najmä žiarením vrchnej vrstvy atmosféry (tzv. Airglow žiarenie), odrazeným svetlom hviezd a zodiakálnym svetlom. Toto pozadie, ktoré detektor pozoruje na nočnej strane Zeme je veľmi dynamické a mení sa s časom a polohou na Zemi. Jeho presný popis je potrebný pre odhad počtu spršok a presnosť určenia parametrov primárnej častice s ultravysokou energiou. Druhou oblasťou, ktorej sa v rámci JEM-EUSO experimentu OKF v spolupráci s Technickou Univerzitou Košice (TUKE) venuje, je rozpoznávanie spršok v snímkach detektora. TUKE je členom JEM-EUSO kolaborácie od roku 2015 a spolupracuje s OKF skupinou v tejto oblasti.

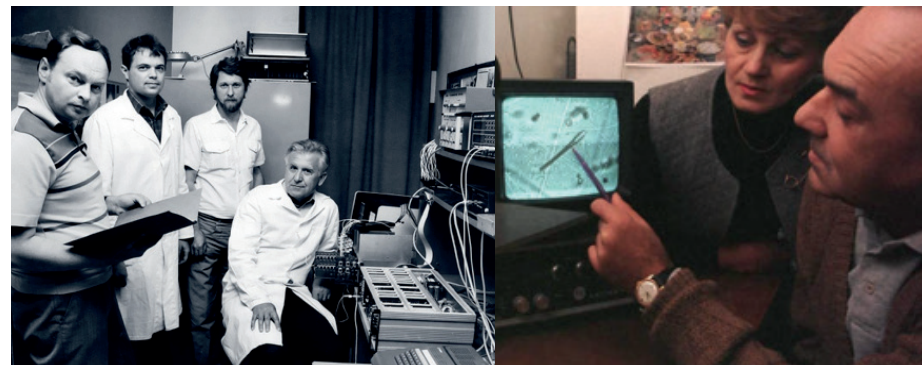
Keďže sa ukázalo, že pre popis ultrafialového pozadia nie je vzhľadom na jeho vysokú dynamiku dostatok experimentálnych údajov, začal sa na oddelení vývoj detektorov pre samostatný merací program. V jeho rámci bol vyvinutý detektor AMON (Airglow MONitor) (Ján Baláž, Igor Strhárský), ktorý je základnou meracou jednotkou siete detektorov AMON-net. Následne boli AMON detektory postupne nainštalované v Mexiku (2017), na Kanárskych ostrovoch (2017), v Nemecku (2018) a v Kolonici (2018). V rámci PECS projektu AMON-net, ktorý sa realizuje na oddelení, je naplánovaná inštalácia ďalších 12 detektorov. Detektor AMON bude súčasťou misie NASA EUSO-SPB 2, pri ktorej na SPB balóne absolvuje 100-dňový let spolu s prekurzor verziou hlavného EUSO detektora. Dvojicu prípravných testovacích letov z výšok 30 a 34 kilometrov absolvovala, pre podmienky blízke tým vo vesmíre, upravená verzia detektora AMON na stratosférickom drone HiDRON v auguste 2019.

Podakovanie

Podakovanie za výnimočný prínos k rozvoju kozmickej fyziky v Košiciach a na Slovensku by sme radi vyslovili Jurajovi Dubinskému, Ladislavovi Justovi, Karlovi Kudelovi a Jozefovi Rojkovi.



Prof. Juraj Dubinský (1914 – 1994), zakladateľ Ústavu experimentálnej fyziky a Oddelenia kozmickej fyziky.



Vľavo – K. Kudela, J. Baláž, P. Lacko a J. Rojko pri príprave aparatury DOK-2, vpravo – A. Tomičová a L. Just pri analýze častíc zachytených v jadrovej emulzii detektora.



vedúci oddelenia:
RNDr. Ivan Králik, CSc.

Vedeckí pracovníci:

doc. RNDr. Dušan Bruncko, CSc.
RNDr. Peter Kaliňák, PhD.
Ing. Marián Krivda, PhD.
RNDr. Pavel Murín, CSc.
Mgr. Ján Mušínský, PhD.
RNDr. Pavol Stríženec, CSc.
doc. RNDr. Jozef Urbán, CSc.
RNDr. Martin Vaľa, PhD.

Odborní pracovníci:

Ing. Ingrid Kul'ková
Mgr. Juraj Smieško
Mgr. Filoména Sopková
Ing. Miloslav Straka
Ing. Jozef Špalek

Doterajší vedúci oddelenia:

doc. J. Patočka, CSc. (1969 – 1972)
doc. G. Martinská, CSc. (1973 – 1976)
RNDr. L. Šándor, CSc. (1977 – 1992)
RNDr. D. Bruncko, CSc. (1993 – 2007)

Oddelenie subjadrovej fyziky

Oddelenie fyziky vysokých energií patrilo k trom zakladajúcim oddeleniam, ktoré boli ako prvé pri vzniku Ústavu experimentálnej fyziky začiatkom roka 1969. Dnes je oddelenie premenované na Oddelenie subjadrovej fyziky (OSF), čo presnejšie vystihuje jeho súčasné aktivity.

Špecifiká výskumu vo fyzike vysokých energií

Predmetom výskumu vo fyzike vysokých energií je štúdium vlastností elementárnych častíc a atómových jadier a zákonitostí ich interakcií v rozpadových a zrážkových procesoch. Okruh javov je charakterizovaný rozmermi $\leq 10 - 14$ m a energiami ≥ 1 GeV. To si vyžaduje komplikované detekčné aparatúry, sofistikované metódy spracovania a analýzy veľkého objemu údajov. Ide o špičkový základný výskum s experimentovaním na hranici technologických možností a s požiadavkou existencie širokej medzinárodnej spolupráce. A práve touto cestou prešlo Oddelenie subjadrovej fyziky.

Spolupráca so Spojeným ústavom jadrových výskumov v Dubne

Začiatky aktivít oddelenia treba hľadať v jeho spolupráci so Spojeným ústavom jadrových výskumov (SÚJV) v Dubne (Sovietsky zväz, dnes Ruská federácia). Účasťou na experimentoch v Dubne sa oddelenie začalo rozvíjať. Hlavným experimentálnym zariadením v tom čase bola „bublinová komora“. OSF v rokoch 1969 – 1977 plne zvládlo

metodiku analýzy dát z bublinových komôr, vybuďovalo laboratórium na komplexné spracovanie snímok z bublinových komôr (spoločne s KJF PF UPJŠ, čo položilo základ dlhoročnej spolupráce). Ku kľúčovým pracovníkom v tejto etape patrili J. Patočka (vedúci oddelenia 1969 – 1972), G. Martinská (vedúca oddelenia 1973 – 1976), L. Šándor (vedúci oddelenia 1977 – 1992), M. Seman, J. Špalek, E. Futó, Š. Valkár a M. Bánó. Bola to

najťažšia fáza existencie oddelenia, pretože „štartovala na zelenej lúke“. Najskôr oddelenie prevádzkovalo manuálne spracovanie filmovej informácie, neskôr v rokoch 1978 – 1980 bol vybudovaný plne automatizovaný systém (M. Seman, J. Bán, E. Futó, J. Špalek, F. Kriváň) na komplexné spracovanie filmov, jediný v Československu, s významnou pomocou FZÚ a MFF UK Praha. Problémy boli aj s budovaním výpoč-

tového systému, predovšetkým s on-line spracovaním. V roku 1973 M. Seman pripravil ideový projekt – riadiacu a vyčítavaciu a komunikačnú elektroniku v štandarde CAMAC (1975 – 1977), v 1977 bol zakúpený minipočítač Data General Nova-820, v roku 1980 EC 1033 a neskôr EC 1045 (boli umiestnené v priestoroch ÚVT VŠT a SAV). OSF sa v rámci aktivít v SÚJV zapojilo do viacerých experimentov s bublino-

vými komorami. Na 1m propánovej komore LJP (Laboratorija jadernych problem) sa študovali π -p a π -C interakcie pri 5 GeV (L. Šándor, J. Antoš, Š. Valkár, G. Martinská, 1969 – 1980). Na 2m vodíkovej komore LVE (Laboratorija vysokych energij) LUDMILA sa skúmali p-p interakcie pri 22,4 GeV (J. Patočka, P. Murín, 1972 – 1978) a d-d interakcie pri 12,2 GeV (D. Bruncko, P. Murín, 1983 – 1988). Na 1m vodíkovej komore LVE sa študovali π -p



Prof. J. Dubinský so svojimi spolupracovníkmi a hosťami zo SÚJV Dubna (zľava: R. M. Lebedev, J. Dubinský, L. Šándor, G. Martinská, Yu. A. Budagov, M. Seman).



Meranie charakteristík prototypu detektora určeného pre experimenty na urýchľovači (vľavo). M. Seman a J. Špalek pri vývoji elektronickej aparatúry (vpravo).



interakcie pri 5 GeV (1969 – 1972) a interakcie relativistických ľahkých jadier (^4He , ^3He , d) s protónmi (L. Šándor, J. Antoš, G. Martinská, M. Seman, M. Kravčíková, J. Hlaváčová, J. Urbán, B. Pastirčák, M. Bánó, 1976 – 1989).

Posledný spomenutý experiment predstavoval koniec účasti OSF na experimentoch s bublinovými komorami. Prvým „elektronickým“ experimentom s účasťou OSF bol experiment HYPERON v Protvine (1980 – 1985) v ZSSR (dnes Ruská federácia). Šlo o štúdium zrážok $\pi^+p \rightarrow K^+\Sigma^+(1385)$ s výmenou hypernáboja, neskôr $K^+p \rightarrow K^0(892)$ a $h^+A \rightarrow \eta + X$, ($h^+ = \pi^+, K^+, p$; $A = p, d, K, \text{Be}, \text{Al}, \text{Cu}$) a vzácné rozpady mezonov K (J. Antoš, M. Seman, L. Šándor, J. Špalek, J. Bán, F. Kriváň, E. Kladiiva, J. Ferencei, J. Nemčík).

Akýmsi hybridom medzi komorami s fotografickým záznamom informácie a elektronickým riadením experimentu bola 5-metrová streamerová komora RISK, na ktorej sa v 80. rokoch 20. storočia študovali zrážky π s jadrovými terčikmi na neseparovanom zväzku záporne nabitých častíc s energiou 38 GeV na urýchľovači v Serpuchove. Košičania participovali na programe štúdia procesov s veľkou prenesenou hybnosťou (K. Šafařík) a na štúdiu produkcie dimiónov (K. Šafařík, I. Králik).

Štruktúra protónu - experiment H1 v DESY Hamburg

Našu účasť naštartoval pobyt J. Antoša v DESY v rámci dohody SAV – DFG v roku 1986. Hlavným cieľom experimentu H1 bolo štúdium $e\pm p$ zrážok pri celkovej energii ~ 300 GeV na

urýchľovači HERA v DESY (protibežné zväzky elektrónov/pozitronov s energiou 27 GeV a protónov, prvej fáze s energiou 820 GeV, v druhej 920 GeV), pričom najväčší dôraz bol kladený na štúdium vnútornej štruktúry protónu. Na experimente H1 participovalo okolo 350 fyzikov z 32 ústavov a univerzít z celého sveta.

V roku 1987 bola podpísaná dohoda DESY – FZÚ ČSAV – ÚEF SAV o účasti československých pracovísk v experimente H1. Dohoda sa týkala, okrem vkladu do analýzy nameraných dát, aj československého záväzku výroby a otestovať ~ 5600 veľkoplošných elektród pre hadrónovú časť H1. Konkretne šlo o barelový kalorimeter detektora H1, ktorý bol srdcom celého detektora H1, a v ktorom pracovné médium predstavoval kvapalný argón (LAR). Tejto úlohy sa zdarne zhostili J. Antoš, J. Bán, J. Ferencei, P. Murín, J. Špalek, F. Kriváň, T. Kurča, E. Kladiiva, D. Bruncko, K. Šafařík, B. Pastirčák. V priebehu výstavby detektora H1 sa ukázala ako sľubná perspektíva štúdium $e\pm p$ zrážok pre veľké uhly rozptylu (z pohľadu na asymetrický detektor H1 šlo o fyziku jeho „zadnej“ časti). Z technického hľadiska šlo o scintilačný kalorimeter BEMC (Backward Electro-Magnetic Calorimeter), ktorý v tomto štádiu zohral kľúčovú úlohu aj vzhľadom na našu účasť v H1.

V ÚEF SAV bol navrhnutý a skonštruovaný trigger (rozhodovací procesor) pre selekciu koncových elektricky nabitých $e\pm$ (M. Seman, J. Bán, T. Kurča). Vo fyzikálnej analýze sme sa sústredili hlavne na fyziku (dnes označovanú ako fyziku malých Bjorkenových x) s kalorimetrom BEMC, ktorý bol ne-

skôr nahradený scintilačným kalorimetrom SPACAL. Vytvorili sme základný rekonštrukčný softvér pre BEMC - na tvorbu a analýzu klastrovania a linkovania klastrov v zmienených kalorimetroch. Pracovali sme jednak na úrovni simulácií metódou Monte-Carlo, ale aj na analýze údajov z testov, hlavne údajov získaných v reálnych zrážkach elektrónov, resp. pozitronov s protónmi (J. Ferencei, P. Murín, D. Bruncko) a na korekciách na mŕtvy materiál (D. Bruncko). Významnou mierou sme sa podieľali aj na analýze získaných dát (J. Ferencei, D. Bruncko, P. Murín). Analyzovali sme napr. aj kvázi-reálny Comptonov rozptyl v zadnej časti detektora H1 (R. Maráček, D. Bruncko) a štruktúrne funkcie F2 pre malé hodnoty Bjorkenovho x (R. Maráček, D. Bruncko). Naši technici, J. Špalek, F. Kriváň, významne prispeli k zdarnému chodu detektora H1, hlavne jeho LAR kalorimetrie, kde J. Ferencei bol niekoľko rokov zástupcom technického koordinátora experimentu H1, čo objektívne hovorí o vklade košickej skupiny do tohto experimentu. Naša skupina vyvinula aj ďalšiu elektroniku a softvér, napr. pre Time of Flight (ToF) detektor, softvér pre „slow control“ a v poslednom období trigger pre efektívnejšiu selekciu difrakčných prípadov. To isté je možné konštatovať aj o našich technických pracovníkoch, ktorí významne prispeli k produkcii miónových komôr, ktoré sa stali súčasťou detektora H1: A. Chomičová, A. Legényová, M. Kapitančíková, V. Sílešová, M. Trošková, I. Dirnerová a I. Šoltés.

Účasť OSF v experimente H1 bola pre ďalší osud oddelenia kľúčová – ukázali sme partnerom z Európy, že vieme ro-

biť špičkovú fyziku, a že je na nás spoľahnutie. Príkladom môže byť aj naša participácia pri zdokonaľovaní on-line kalibračného systému LAr kalorimetra H1 v tesnej spolupráci s MPI Mníchov (J. Bán, M. Lupták), keď bola po prvý raz na svete vyvinutá elektronika schopná pracovať pri teplote kvapalného argónu.

Prvé kontakty s Európskou organizáciou pre jadrový výskum (CERN)

Prvé neformálne kontakty a spolupráca ÚEF SAV s CERN začala individuálnymi pracovnými pobytmi M. Semana (1984), L. Šándora (1987) a J. Antoša (1989) na experimente NA34/HELIOS (High Energy Lepton and Ion Experiment). V prvom variante experimentu NA34/I bola študovaná produkcia dileptónov v zrážkach $p\text{Be}$ pri 450 GeV (M. Seman, L. Šándor, J. Antoš).

V roku 1986 boli na urýchľovači SPS po prvý raz urýchlené jadrá ^{16}O na energiu 60 a neskôr na 200 GeV na nukleón, a o rok neskôr nasledovali jadrá ^{32}S na energiu 200 GeV na nukleón. V modifikovanom experimente NA34/II boli merané globálne charakteristiky zrážok O-A, S-A, ako napr. spektrá priečnej energie, na základe ktorých bolo demonštrované, že v zrážkach iónov síry s jadrami volfrámu boli dosiahnuté také hustoty energie, pri ktorých sa očakával prechod jadrovej hmoty na kvarkovo-gluónovú plazmu (QGP).

Individuálna účasť na experimentoch NA34/I a NA34/II vyústila do prvej oficiálnej účasti československého pracoviska, ÚEF SAV, v experimente CERN, ktorým bol dimiónový spektrometer NA34/III. Prijatie ČSFR za riadneho

člena CERN od 1. 2. 1992 a samostatnej Slovenskej republiky od 1. 7. 1993, naštartovalo účasť ÚEF SAV na viacerých veľmi úspešných výskumných programoch.

Objav top kvarku - experiment CDF vo Fermilab, USA

Spolupráca s Fermi National Laboratory (FERMILAB) v USA sa začala v roku 1993 individuálnou účasťou J. Antoša, v tom čase pôsobiaceho na IPAS (Institute of Physics, Academia Sinica) na Taiwane, na experimente CDF na urýchľovači Tevatron. Účasť slovenských pracovísk na tomto experimente bola oficiálne uznaná až v novembri 2006. CDF bol jedným z dvoch prvých experimentov, ktoré dokázali existenciu top kvarku. Spolupráca s CDF pokračovala do roku 2011. Pracovníci OSF, J. Antoš a R. Lysák sa podieľali na vypracovaní metodiky merania hmotnosti top kvarku v dileptónovom rozpadovom kanáli a merania náboja top kvarku.

Ultrarelativistické jadrové zrážky - hľadanie kvarkovo-gluónovej plazmy

V 90. rokoch minulého storočia na ÚEF SAV vznikla skupina zameraná na štúdium ultrarelativistických zrážok ťažkých iónov orientovaná na experimentálny program na urýchľovači SPS v CERN, kde prebiehalo systematické skúmanie možnosti experimentálne dokázať existenciu kvarkovo-gluónovej plazmy v laboratórnych podmienkach. Kým na začiatku tejto dekády boli k dispozícii jadrá ^{32}S urýchlené na 200 GeV na nukleón, v druhej polovici 90. rokov urýchľovač SPS umožnil

urýchliť ióny ^{82}Pb na 158 a 40 GeV na nukleón.

Prvým CERN-ským experimentom s oficiálnou účasťou ÚEF SAV bol dimiónový spektrometer HELIOS-3 (NA34/III) určený na štúdium produkcie dimiónov v zrážkach pW a SW pri 200 GeV na nukleón (zber dát v roku 1990). Podľa teoretických výpočtov v prípade vzniku QGP v zrážke dvoch jadier mala elektromagnetická anihilácia kvarkov a antikvarkov poslúžiť ako zdroj dileptónov s malými invariantnými hmotnosťami, ktorý nesie informácie o „horúcej“ fáze zrážky. Experiment ukázal prítomnosť nevysvetlených zdrojov dileptónov jednak v intervale invariantných hmotností pod $500 \text{ MeV}/c^2$ a tiež v intervale hmotností medzi $1,35$ a $2,5 \text{ MeV}/c^2$. Tieto dáta neboli jednoznačne interpretované. (J. Antoš, L. Šándor, J. Urbán a I. Králik).

Po skončení programu HELIOS vystala pred nami otázka ako ďalej pokračovať v rozvoji vedeckej tematiky štúdia zrážok ťažkých iónov pri vysokých energiách. Po zvážení viacerých možností sme na odporúčanie K. Šafaříka, ktorý bol v tom čase ešte zamestnancom ÚEF SAV vyslaným na dlhodobý pracovný pobyt v zahraničí, nadviazali prvé kontakty s E. Quercighom, ktoré vyústili do účasti ÚEF SAV v ambicióznom projekte WA97 pripravovanom pre prácu na zväzku iónov ^{82}Pb s energiou 158 GeV na nukleón. Experiment bol motivovaný predpovedou zvýšenej produkcie podivných častíc v zrážkach ťažkých iónov ako signatúry kvarkovo-gluónovej plazmy. Experimenty na zväzkoch ^{32}S priniesli prvé pozitívne dôkazy predpovedaného javu, ale jav samotný vyžadoval systematické štúdium.

Na oboznámenie sa s novou metódou nám bola ponúknutá účasť v experimente WA94, ktorý skúmal produkciu podivných častíc v zrážkach p-S a S-S pri 200 GeV na nukleón (L. Šándor, I. Králik, J. Urbán). Tým sa započala veľmi úspešná spolupráca OSF s CERN, ktorá formovala smerovanie oddelenia na ďalších 25 rokov.

Finálna fáza hľadania dôkazu existencie kvarkovo-gluónovej plazmy v laboratórnych podmienkach v CERN-e sa začala v roku 1994 úspešným urýchlením iónov olova na 158 GeV na nukleón. Vysoká priestorová hustota častíc koncového stavu vznikajúceho pri zrážke dvoch jadier olova predstavovala výzvu, na ktorú musela reagovať nová generácia experimentov. Jedným z nich bol aj WA97, ktorý ako prvý používal kremíkové detektory (pixelové alebo mikrostripové) ako hlavný nástroj na registráciu dráh nabitých častíc (0,5 milióna vyčítavaných kanálov). Iba na upresnenie hybnosti rýchlych protónov a antiprotónov boli použité mnohovláknové proporcionálne komory. Za vývoj a realizáciu riadiacej elektroniky zodpovedali J. Bán a M. Lupták. V rokoch 1994 – 1996 boli nazbierané dáta zo zrážok p-Pb a Pb-Pb pri 158 GeV na nukleón. Košická skupina výrazne prispela k vypracovaniu metodiky výberu signálu (slabé rozpady podivných hadrónov), počítaniu korekcií na detektorové efekty a k fyzikálnej analýze vedúcej k prvým výsledkom prezentovaným na Quark Matter 1997 v Japonskej Tsukube (L. Šándor, I. Králik, J. Urbán, B. Pastirčák, K. Šafařík).

Pokračovanie programu WA97 pokračovalo v experimente NA57. Stavba nového experimentu bola vynútená

potrebou vyťahovať aktivity z CERNskej západnej haly (West Area, WA), kde sa mali testovať magnety pre budúci urýchľovač LHC a prenesenie experimentálnych aktivít do Severnej haly (North Area, NA). Okrem samotnej relokácie bola celá infraštruktúra výrazne modernizovaná. Nový detektor obsahoval iba pixelové detektory (asi 1 milión vyčítavaných kanálov), mnohovláknové proporcionálne komory boli nahradené obojstrannými mikrostripovými detektormi. Detektor NA57 zbieral dáta zo zrážok p-Be a Pb-Pb pri 158 a 40 GeV na nukleón v rokoch 1998 až 2001. Žiadosť o nižšiu energiu bol diktovaný snahou o hľadanie možných prahových efektov v pozorovanom jave zvýšenej produkcie podivných častíc v zrážkach ťažkých iónov. K vybudovaniu experimentu ÚEF SAV prispel softvérom na monitorovanie rozhodovacieho systému - trigger (A. Jusko). Ďalší náš príspevok bol k fyzikálnej analýze dát Pb-Pb (L. Šándor, B. Pastirčák, K. Šafařík). Po ukončení zberu dát sme prevzali zodpovednosť za kompletne hromadné spracovanie dát (geometrická rekonštrukcia, výber signálu, výpočet korekcií, výpočet systematických chýb) p-Be pri 40 GeV z roku 2001 (I. Králik a doktorand M. Bombara).

Hlavným výsledkom experimentov WA97 a NA57 bolo meranie zvýšenia výťažkov podivných hadrónov v centrálnych zrážkach Pb-Pb v porovnaní so zrážkami p-Pb a p-Be, čo bolo v súlade s predpoveďou J. Rafelského a B. Mullera pre jeden z prejavov (signatúr) existencie kvarkovo-gluónovej plazmy. To poslúžilo ako jeden z ne-

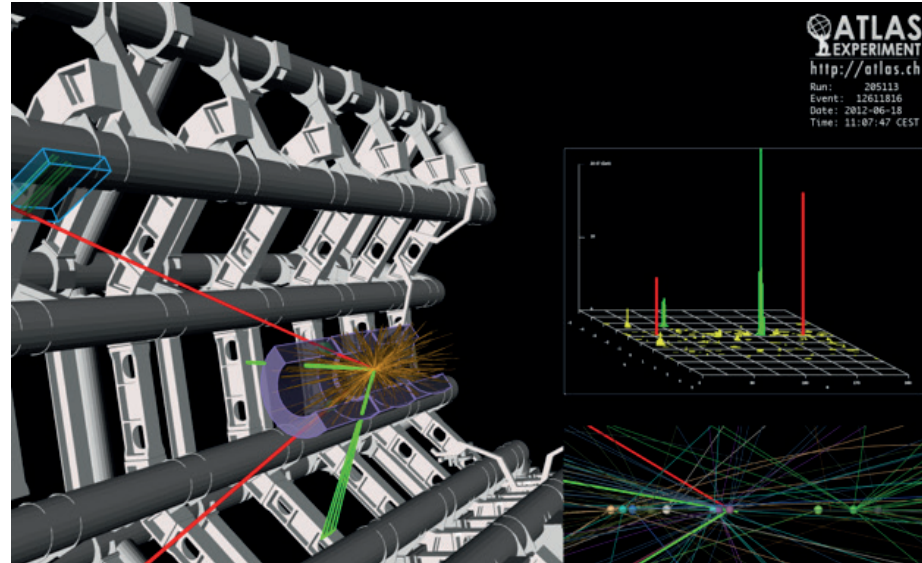
priamych dôkazov, ktoré viedli k tomu, že CERN 10. februára 2000 oznámil pozorovanie nového stavu hmoty v laboratórnych podmienkach. Prínos pracovníkov ÚEF SAV k tomuto objavu bol ocenený v roku 2002 cenou SAV v oblasti medzinárodnej spolupráce pre kolektív L. Šándor, A. Jusko, I. Králik, K. Šafařík z ÚEF SAV, J. Urbán z UPJŠ a R. Lietava z FMFI UK.

Okrem spomínaného objavu boli tieto experimenty významné aj v tom, že slúžili na testovanie nových technológií pre experiment ALICE pripravovaný na vtedy budovanom urýchľovači LHC. Skúsenosti s pixelovými detektormi boli využité pri konštrukcii centrálného detektora SPD a experiment NA57 testoval algoritmy pre zber dát a centrálny rozhodovací systém.

Experiment ATLAS na urýchľovači LHC v CERN

Našu účasť v tomto dodnes najväčšom svetovom experimente vo fyzike elementárnych častíc a jadra – experimente ATLAS realizovanom na urýchľovači Large Hadron Collider (LHC) v CERN, predchádzalo jednak naše účinkovanie v experimente H1 a jednak naše zapojenie do "Research and Development Project" (R&D) číslo 33, ktorého cieľom bol návrh nového typu LAr kalorimetra, nazvaného "Thin Gap Turbine" (TGT) pre detektory, ktoré majú byť schopné pracovať v podmienkach na LHC. V tomto projekte našou úlohou bolo jednak pokračovať vo vývoji chladnej elektroniky, schopnej pracovať v podmienkach kvapalného argónu, jednak analyzovať možnosti práce okliešteného hlavného

LAr detektora experimentu ATLAS bez elektromagnetickej časti (v prípade, že by nebol dostatok financií na jeho celkovú realizáciu). Pre elektronickú časť sme vyvinuli základnú, chladnú elektroniku: zosilňovače, shaper, sumačnú časť, generátor s nanosekundovou hranou a základnú schému on-line kalibrácie (J. Bán, M. Lupták), ktorú kolaborácia s malými zmenami používa dodnes. V oblasti analýzy „nekompletného“ detektora sme na základe štúdií s GEANT 3.4 získali prijateľné hodnoty jeho energetického rozlíšenia (D. Bruncko, 1990 – 1994). Rok 1994 je oficiálnym rokom vzniku kolaborácie ATLAS. V jej rámci sme sa v úzkej spolupráci s MPI Mníchov, zapojili do návrhu a realizácie Hadronic End-Cap (HEC) LAr kalorimetra, ktorý je umiestnený v predo-zadnej oblasti detektora ATLAS. Okrem vývoja elektroniky sme na seba vzali hlavnú zodpovednosť aj za vývoj elektronického kalibračného systému (P. Striženeč, A. Jusko, R. Chytráček, M. Pécsy, E. Kladiiva, D. Bruncko). Neskôr sme sa podieľali aj na lokálnej hadrónovej kalibrácii (P. Striženeč, M. Pécsy). Treba zdôrazniť, že obidve vyššie uvedené metodiky sa kolaboráciou používajú dodnes a my sme, v súlade s dohodami uzavretými v rámci Memorandum of Understanding, základného právneho dokumentu ATLAS experimentu, zodpovední za ich prevádzku, vývoj a údržbu. Neskôr sa oblasť našej zodpovednosti rozšírila na celý softvér pre LAr detektor (P. Striženeč). Vďaka našej účasti pri vývoji „chladnej elektroniky“ sme sa zúčastnili v rámci projektu INTAS aj štúdia správania sa detektorov v podmienkach vysokej svietivosti LHC, predovšetkým v rámci tes-



Vizualizácia princípu činnosti detektora ATLAS v CERN.

tot v Protvine (E. Kladiiva, P. Striženeč). Kolaborácia ATLAS predstavuje ~2000 vedeckých pracovníkov s titulom PhD. a približne 1000 doktorandov. Spolu s KJF MFF UK Bratislava tvoríme „Slovak cluster“. Kolaborácia združuje vedecké kolektívy zo 140 univerzít a inštitúcií z 37 krajín sveta. Aj v tejto širokej medzinárodnej organizácii sme sa dokázali zviditeľniť, napr. už niekoľko rokov je jeden z našich riešiteľov (P. Striženeč) členom výkonnej LAr exekutívy. Sme členmi „Top Working Group“, a naša prvá analýza v rámci tejto pracovnej skupiny, sa týkala selekcie dileptónového kanálu, teda pp zrážok, v koncových stavoch ktorých boli aspoň dva elektricky nabité leptóny. Ďalší krok predstavovala selekcia tohto kanálu s produkciou dvoch top kvarkov a určenie hmotnosti top kvarku v tomto kanále (J. Antoš, D. Bruncko, R. Lysák, P. Striženeč). V poslednom ob-

dobí sa zaoberáme štúdiom spinových charakteristík top kvarkov v tomto kanále (J. Urbán, F. Sopková, P. Striženeč, D. Bruncko).

Experiment ALICE na urýchľovači LHC v CERN

Účasť pracovníkov ÚEF SAV na experimente ALICE bola logickým pokračovaním vedeckého programu štúdia zrážok relativistických ťažkých iónov. Formálny záujem vyjadrili spoluautorstvom dokumentu Letter of Intent for A Large Ion Collider Experiment, vydanom v roku 1993. K sformovaniu výskumného kolektívu výraznou mierou prispel K. Šafařík, pôsobiaci v CERN. Vedúcou osobnosťou košickej skupiny sa stal L. Šándor, ktorý v nasledujúcich rokoch vykonával manažment finančných a ľudských zdrojov. Košickú skupinu ALICE viedol do konca roku 2012.

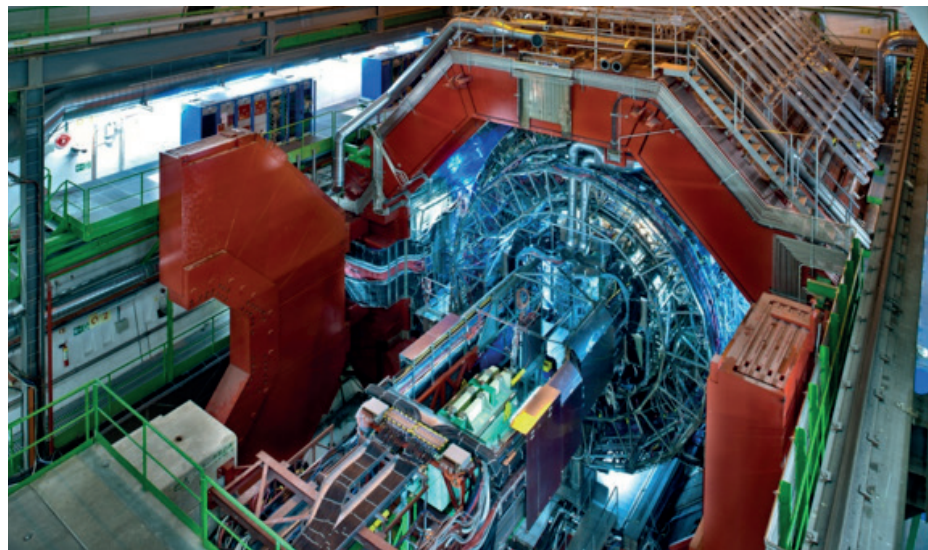
V súčasnosti skupinu vedie I. Králik. Koncom deväťdesiatych rokov 20. storočia bolo potrebné sa rozhodnúť, aký bude príspevok Košickej skupiny do budovania experimentu ALICE. Po viacerých rokoch došlo k dohode s F. Antinorim, vedúcim projektu Kremikového pixelového detektora (SPD), o možnosti robiť elektroniku smerovača (router), zabezpečujúceho komunikáciu medzi detektorom SPD (10 miliónov kanálov), systémom zberu dát (DAQ), rozhodovacím systémom (CTP) a systémom riadenia detektora (DCS). Návrh logickej schémy vypracoval J. Bán, realizáciu smerovača mal na starosti M. Krivda. Testovanie, merania, opravy a údržbu zaisťovali M. Krivda a J. Špalek.

Od roku 2001 sa datuje spolupráca s Univerzitou v Birminghame (Veľká Británia) pri budovaní a prevádzkovaní centrálneho rozhodovacieho procesora (CTP). Ten bol navrhnutý a postavený britskou skupinou, tvorbou programového vybavenia bol poverený A. Jusko, ktorý bol v roku 2003 pozvaný na dlhodobý pracovný pobyt do Birminghamu. Potom, ako odišiel autor hardvéru CTP P. Jovanovič (Univ. of Birmingham) do dôchodku, prevzal M. Krivda prevádzkovanie a ďalší vývoj elektroniky CTP.

Na monitorovanie a ladenie prenosu signálov z CTP k jednotlivým detektorom vyvinul M. Krivda modul s označením TTCit. Riadiaci a analyzačný softvér k nemu napísal I. Králik. Úlohou TTCit je zachytávať všetky správy a signály posielané vybranému detektoru, analýza ich časovej štruktúry a odha-

ľovanie možných problémov v komunikácii (chýbajúce signály, nesprávne časovanie a pod.). V roku 2010 na základe požiadaviek prevádzkovateľov urýchľovača vznikol komplexný systém na monitorovanie svietivosti LHC poskytovanej experimentu ALICE v reálnom čase, ktorý sa stal integrálnou súčasťou systému riadenia detektora (DCS), poskytoval dáta pre kontrolu kvality zväzkov LHC, bol využívaný ako záloha hlavného luminometra a tiež slúžil na zber dát z dedikovaných Van der Meerovských skanov používaných na meranie normalizačných účinných priereзов. Od roku 2011 až do roku 2018 tento monitorovací systém spoločne pracoval v nepretržitej prevádzke (I. Králik).

K budovaniu experimentu prispel aj B. Pastirčák výpočtami radiačnej záťaže očakávanej v experimentálnej hale počas prevádzky urýchľovača.



Pohľad na detektor ALICE v CERN.

Nosnou témou fyzikálnej analýzy, prebiehajúcej na ÚEF SAV, je štúdium produkcie podivných častíc v zrážkach p-p, p-Pb a Pb-Pb pri energiách LHC. Tu sa podarilo zúročiť skúsenosti získané v experimentoch na SPS. Zvýšenie produkcie podivných častíc v zrážkach iónov olova, prvýkrát pozorované na SPS, bolo pozorované aj na LHC. Omnoho prekvapivejším výsledkom bolo pozorovanie podobného efektu v zrážkach p-p s vysokou multiplicitou častíc v koncovom stave, kde sa signatúry kvarkovo-gluónovej plazmy neočakávali. (L. Šándor, P. Kaliňák, J. Mušínský, M. Vaľa).

Od roku 2012, keď sa ukázalo, že online systém na meranie luminozity (svietivosti) vyvinutý v ÚEF SAV sa dá využiť ako zdroj dát z dedikovaných Van der Meerovských skanov, bola fyzikálna analýza rozšírená o meranie normalizačných účinných priereзов. Hlavnými

úlohami v rámci príslušnej pracovnej skupiny je zber dát, príprava dátových súborov na analýzu a výpočty vplyvu elektromagnetickej interakcie zväzkov LHC na merané účinné prierezy (I. Králik).

V rokoch 2019 a 2020 bude prebiehať výrazná modernizácia celého detekčného komplexu. OSF sa podieľa na návrhu, výrobe a testovaní elektronických modulov pre nový rozhodovací systém CTP (M. Krivda, J. Špalek) a na testovaní nového centrálneho dráhového detektora (CTP) formou technických zmien, je plánovaný aj príspevok do kalibračného softvéru (P. Kaliňák, I. Králik). Aktivity ústavu v experimente ALICE prebiehajú v tesnej súčinnosti s výskumnými skupinami na UPJŠ Košice a TUKÉ Košice, ktoré v rámci kolaborácie vystupujú ako jeden klaster.

Vysokovýkonná výpočtová technika - počítačová farma GRID IEPSAS-KOSICE

Neoddeliteľnou súčasťou účasti v experimentoch na LHC v CERN s účasťou ÚEF SAV: ATLAS a ALICE je aj počítačová farma GRID IEPSAS-KOSICE, určená na distribuované spracovanie veľkých objemov dát produkovaných týmito experimentmi. Slovensko sa našim prínosom stalo riadnym členom celosvetového projektu WLCG (Worldwide LHC Computing Grid), v rámci ktorého prispievame k spracovaniu dát z experimentov ATLAS a ALICE. Ide o hromadné počítanie úloh v dávkovom režime, s požiadavkou vysokej spoľahlivosti a dostupnosti zdrojov v nepretržitej (24 h / 7 dní) prevádzke.



Prednášajúci akcie Okná CERN-u dokorán pre poslucháčov PF UPJŠ v Košiciach v r. 2015.



Počítačová farma GRID IEPSAS-KOSICE slúžiaca CERN (I. Kul'ková, M. Straka).

Počítačová farma GRID IEPSAS-KOSICE je jednou z dvoch najväčších inštalácií tohto typu na Slovensku. Je M. Vaľa). Jej spoľahlivá mnohoročná jedným z centier Tier-II pod vedením prevádzka bola vysoko oceňovaná nemeckého centra Tier-I v Karlsruhe oboma experimentmi.



vedúca oddelenia:

RNDr. Natália Tomašovičová, CSc.

Vedeckí pracovníci:

doc. Mgr. Iryna Antal, PhD.
RNDr. Marianna Baťková, PhD.
RNDr. Iryna Khmara, PhD.
Ing. Martina Koneracká, CSc.
doc. RNDr. Peter Kopčanský, CSc.
RNDr. Martina Kubovčíková, PhD.
RNDr. Veronika Lacková, PhD.
RNDr. Marián Mihalík, CSc.
RNDr. Matúš Mihalík, PhD.
Ing. Zuzana Mitróová, PhD.

Ing. Matúš Molčan, PhD.
Ing. Katarína Paulovičová, PhD.
RNDr. Michal Rajňák, PhD.
prof. RNDr. Marián Reiffers, DrSc.
RNDr. Milan Timko, CSc.
Ing. Vlasta Závishová, PhD.
RNDr. Mária Zentková, CSc.

Doterajší vedúci oddelenia:

prof. V. Hajko (1969 – 1972)
prof. L. Potocký, CSc. (1972 – 1982)

Ing. A. Zentko, DrSc. (1982 – 1992)
RNDr. M. Timko, CSc. (1992 – 2019)

Odborní pracovníci:

Ing. Mária Sabadková

Doktorandi:

Ing. Richard Jacko
Mgr. Maksym Karpets
Mgr. Martin Kovalik
RNDr. Katarína Zakuťanská

Oddelenie fyziky magnetických javov

Vedeckovýskumná práca oddelenia sa od prvopočiatku orientovala najmä na štúdium fyzikálnych vlastností kovových feromagnetík ako sú magnetizačné procesy, elektrické, magnetické a tepelné vlastnosti kovových feromagnetík a na štúdium magnetických vlastností amorfných kovových zliatin vyrábaných extrémne rýchlym chladením.

Podobný výskum sa robil aj pre VSŽ Košice v oblasti elektrotechnických materiálov vyrobených vo VSŽ. Od roku 1975 sa práce sústredili hlavne na štúdium magnetických vlastností izotropných dynamoplechov. Zameranie sa však postupne sústredilo predovšetkým na nové druhy magnetických materiálov.

Jedným z nich sú Magnetické kvapaliny, ktoré sú osobitne významné z hľadiska základného výskumu i z hľadiska potrieb praxe. Spočiatku sa výskumný tím zamerl na magnetické kvapaliny na báze transformátorových olejov, neskôr sa výskum rozšíril o magnetické kvapaliny pre bio-aplikácie a feronematiká – magnetické kvapaliny na báze kvapalných kryštálov.

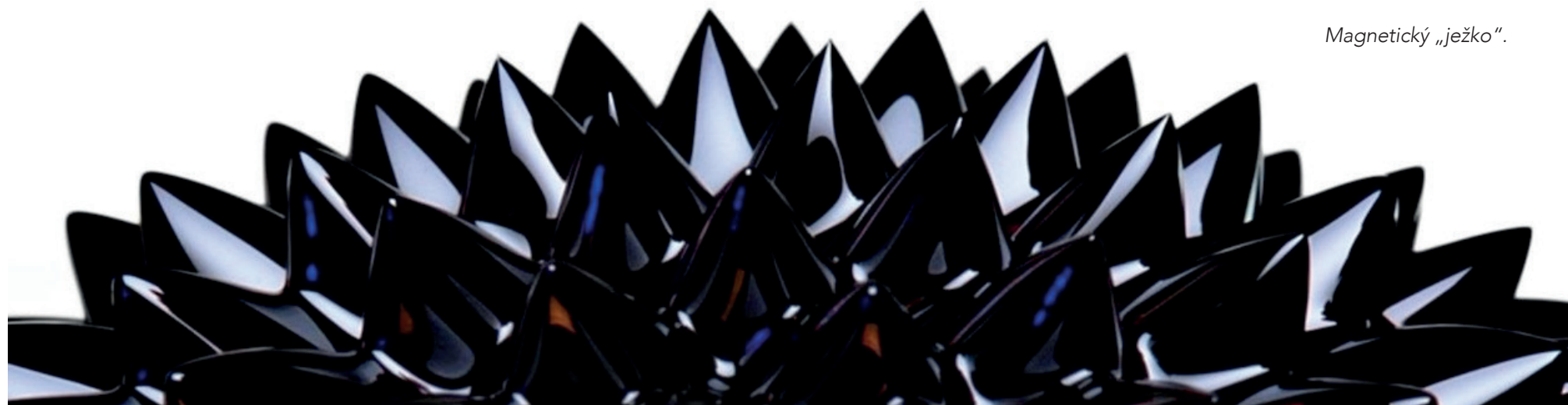
Olejové magnetické kvapaliny

Výrazný rozvoj v tejto oblasti nastal v 90. rokoch. Po stretnutí s profesorom V. Segalom na medzinárodnej konferencii o magnetických kvapalinách, ktorá sa konala v roku 1995 v Indii sa výskum zamerl na olejové magnetické kvapaliny pre transformátory. Profesor V. Segal prezentoval výsledky, kde

zistil, že dopovanie týchto olejov malým množstvom magnetických častíc vedie k zlepšeniu chladiacich vlastností a k zvýšeniu odolnosti proti elektrickému prierazu, preto sa v ďalšom období výskum pod vedením P. Kopčanského zamerl na túto problematiku. V prvej práci, publikovanej v tejto oblasti bola nájdená optimálna koncentrácia magnetických častíc potrebná na zlepšenie

vlastností transformátorových olejov. Magnetické kvapaliny na báze súčasných transformátorových olejov boli skúmané v rovine základného aj aplikovaného výskumu. Cieľom tohto výskumu bolo vyvinúť efektívnejšie chladiace a elektroizolačné kvapalné média pre elektrické stroje prostredníctvom vhodných nanotechnológií. V súvislosti s touto ideou sme v našom laboratóriu dopovali vybrané transformátorové oleje stabilizovanými magnetickými nanočasticami. Takto pripravené magnetické kvapaliny boli podrobené experimentálnym testom elektrickej pevnosti, meraniu čiastkových výbojov, elektrickej vodivosti, permitivity, tepelnej kapacity, tepelnej vodivosti a pod. Realizované testy poukázali na vylepšené tepelné a elektroizolačné vlastnosti v porovnaní s čistými transformátorovými olejmi. Zlepšené elektroizolačné vlastnosti takejto suspenzie nanočastíc a oleja však dlhodobo predstavovali paradoxný jav a nevysvetlený vedecký problém. Je zrejmé, že vysvetlenie tohto problému môže viesť k podpore technologického transferu a odstráneniu súčasných

Aj keď ÚEF nerozvíjalo spoluprácu so žiadnym rezortným ústavom na základe písomnej dohody, predsa len sa podieľalo na výskume základných vlastností elektrotechnických ocelí. Je potrebné spomenúť hlavne VUHŽ Dobrá. Na základe dlhodobého štúdia transformátorových plechov s Gosovou textúrou v rokoch 1975 – 78, podali pracovníci oddelenia komplexnú správu o výskume vplyvu rôznych technologických faktorov na makroskopické magnetické charakteristiky, doménovú štruktúru, B efekt a pod. Boli tiež uvedené príčiny nižšej kvality doma vyrábaných plechov oproti zahraničným.



Magnetický „ježko“.

aplikačných bariér. Z tohto dôvodu sme vynaložili veľké úsilie na experimentálne štúdium fyzikálnych javov v olejových magnetických kvapalinách v elektrickom poli. Prostredníctvom dielektrickej spektroskopie sme skúmali komplexnú odozvu magnetickej kvapaliny na elektrické pole, na základe ktorej sme analyzovali uplatňujúce sa polarizačné a relaxačné mechanizmy v širokom pásme frekvencie elektrického poľa. Usúdili sme, že na rozhraní nanočastíc a oleja dochádza k zachytávaniu voľného priestorového náboja, ktorého nosičom môže byť disociovaná voda, zvyškové ióny, či voľné elektróny emitované z elektród pri vysokých poliach. Podrobným štúdiom relaxácie týchto nábojov na rozhraní nanočastíc a oleja sme získali silný náznak elektrických interakcií magnetických nanočastíc a reverzibilnej tvorby ich zhlukov. Pomocou neutrónového rozptylu na skúmaných vzorkách sme zistili, že tieto nanočastice sa v elektrickom poli spájajú do kvázi cylindrických zhlukov s rozmerom väčším ako 300 nm. Tieto elektrické interakcie sa prejavujú aj na makroskopickej škále, a to najmä na tenších vrstvách magnetickej kvapaliny, na ktorých sme pozorovali zaujímavú tvorbu ihličkovitých štruktúr v závislosti od gradientu pôsobiaceho elektrického poľa. Ďalšie štúdium dielektrickej odozvy magnetickej kvapaliny s vytvorenými zhlukmi nanočastíc odhalilo reverzibilný prechod do stavu so zdanlivo zápornou permitivitou. Tento prechod súvisí so zmenou kapacitnej reaktancie na indukčnú reaktanciu v dôsledku vytvorenia vodivých ciest a toku zvodového prúdu. Tepelné vlastnosti magnetických kva-

palín boli skúmané v spolupráci s univerzitou Lund vo Švédsku, kde sme pozorovali aj nezvyčajnú anizotropiu v tepelnej vodivosti magnetickej kvapaliny pod vplyvom magnetickeho poľa. Vyvíjané a skúmané magneticke kvapaliny boli testované aj v reálnych podmienkach výkonových transformátorov v priemyselnom podniku EVPÚ Nová Dubnica. Výsledky testov poukázali na nižšiu pracovnú teplotu transformátora naplneného magneticou kvapalinou v porovnaní s transformátorovým olejom. Toto vylepšenie súvisí s efektom termomagnetickej konvekcie v magnetickej kvapaline.

Doposiaľ získané výsledky tak obohacujú súčasný stav výskumu olejových magnetických kvapalín a poukazujú na ďalšie možnosti ich využitia v elektrotechnickom priemysle.

Na tomto výskume sa podieľali M. Rajňák, K. Paulovičová, M. Timko, P. Kopčanský v spolupráci s kolegami z Fakulty elektrotechniky a informatiky Technickej univerzity v Košiciach (J. Kurimský, B. Dolník) a z EVPÚ Nová Dubnica (M. Franko, J. Kuchta).

Feronematiká – kvapalnú kryštály dopované magnetickými nanočasticami

Začiatok výskumu v oblasti feronematík je spojený s návštevou Ústavu molekulárnej fyziky Poľskej akadémie vied (ÚMF PAV) v Poznani v roku 1994. Počas tejto návštevy vznikla myšlienka spolupráce v tejto oblasti, keďže Oddelenie dielektrík ÚMF malo v oblasti výskumu kvapalných kryštálov bohaté skúsenosti, a tak začali pravidelné

návštevy pracovníkov OFMJ na tento Ústav, kde boli realizované prvé experimenty v spolupráci so skupinou profesora W. Kuczynskeho. Prvá práca v tejto oblasti bola prezentovaná na medzinárodnej konferencii vo Varšave (International Conference on Magnetism - ICM 94, 13th IUPAP Triennial Conference on Magnetism) a publikovaná v Journal of Magnetism and Magnetic Materials (M. Koneracká, V. Kellnerová, P. Kopčanský, T. Kuczynski). Neskôr sa k spolupráci pridala skupina profesora J. Jadzyna, tiež z ÚMF PAV v Poznani. Táto spolupráca trvá dodnes. V ďalších rokoch sa realizácia väčšiny experimentov presunula do Laboratória vysokých magnetických polí v Grenobli (Francúzsko), kde výskumný tím v zložení P. Kopčanský, M. Timko, M. Koneracká a N. Tomašovičová úspešne získaval projekty na merací čas vo vysokých magnetických poliach (viac ako 20 projektov), vďaka ktorým mohol realizovať množstvo experimentov vo vysokých magnetických poliach.

Postupne bolo vybudované laboratórium na prípravu a štúdium týchto materiálov na Oddelení fyziky magnetických javov. V súčasnosti má výskumný tím, aj vďaka štrukturálnym fondom, vybudované laboratórium, ktoré umožňuje realizovať väčšinu experimentov. V roku 2005 začala veľmi úspešná a plodná spolupráca s Ústavom fyziky tuhých látok a optiky Maďarskej akadémie vied, ktorá trvá dodnes. Za toto obdobie výskumný tím získal niekoľko projektov v rámci medziakademickej výmeny ako aj Agentúry na podporu výskumu a vývoja. V rokoch 2013 – 2016 bol výskumný

tím pod vedením P. Kopčanského ako koordinátora zapojený do projektu M-ERA.NET. Ďalšími spoluriešiteľmi bol už spomínaný Ústav fyziky tuhých látok a optiky Maďarskej akadémie vied a Ústav fyziky Akadémie SINICA na Taiwane. V posledných rokoch sa vďaka dosiahnutým výsledkom rozbehlo niekoľko ďalších spoluprác ako s experimentálnymi, tak aj s teoretickými skupinami. Medzi najvýznamnejšie patrí spolupráca so Spojeným ústavom jadrového výskumu v Dubne (Rusko), DESY Hamburg (Nemecko), Ústavom fyziky Ukrajinskej akadémie vied v Kyjeve, Vojenskou univerzitou technológií vo Varšave (Poľsko), Ústavom technológií v Karlsruhe (Nemecko) a v oblasti teórie s Ústavom mechaniky spojených médií v Perme, uralskej časti Ruskej akadémie vied, Ústavom transportných systémov a technológií v Dnepropetrovske Ukrajinskej akadémie vied, Národnou Chiao Tung Univerzitou v Tainane (Taiwan) atď.

V oblasti výskumu feronematík získal výskumný tím štyri medzinárodne patenty (P. Kopčanský, M. Timko, V. Závišová a N. Tomašovičová). Medzi najvýznamnejšie výsledky v tejto oblasti patria najmä tie, ktoré sa týkajú výskumu vplyvu magnetických nanočastíc na fázové štruktúrne prechody, na Fredericksove kritické polia a magneticke vlastnosti, ktoré sú významné z hľadiska aplikácii týchto materiálov.

Vďaka významným výsledkom dosiahnutým v tejto oblasti, patrí výskumná skupina medzi špičkové a medzinárodne uznávané tímy.

Magneticke kvapaliny pre bioaplikácie

História výskumu v tejto oblasti na Ústave experimentálnej fyziky SAV v Košiciach siaha do roku 1995 a je spojená s medzinárodnou konferenciou o magnetických kvapalinách, ktorá sa konala v roku 1995 v Indii, kde po stretnutí s profesorom C. N. Ramchandom z Univerzity v Sheffielde začala spolupráca v oblasti biokvapalín. Vďaka tejto spolupráci kolektív získal medzinárodný projekt NATO (NATO Science Programme Collaborative Linkage Grant CLG 977500, Brussels, Belgium) s názvom „Application of magnetic fluid in medicine“, v ktorom sa podarilo úspešne naviazať niekoľko klinicky dôležitých proteínov a enzýmov na magneticke nanočastice bez straty ich biologickej aktivity. Tento projekt sa realizoval v spolupráci s partnermi z Anglicka a Indie (C. N. Ramchand, D. Lobo, R. V. Mehta, R. V. Upadhyay). Výsledky tejto spolupráce boli prezentované na medzinárodnej konferencii o magnetických kvapalinách konanej v Temešvári v Rumunsku v roku 1998 a prvá spoločná práca, ktorá zároveň patrí medzi najcitovanejšie, bola publikovaná v roku 1999 v časopise Journal of Magnetism and Magnetic Materials. Ďalšia významná etapa výskumu súvisí so zapojením sa do medzinárodného projektu 5th Framework Programme European Union (5FPEU) s názvom „A new biocompatible nanoparticle delivery system for targeted release of fibrinolytic drugs“. Úlohou výskumného tímu bolo syntetizovať nové polymérne magneticke nanosféry s uzavretým fibrinolytickým liečivom. Výsledky dosiahnuté v medzinárodnom projekte

prispeli k získaniu štátnej objednávky SO51: „Vývoj materiálov metódami minerálnych technológií, mechanochemickými a chemickými postupmi“, kde kolektív úspešne zvládol svoju úlohu, zameranú na enkapsuláciu protizápalového liečiva do biodegradovateľného a biokompatibilného polyméru s cieľom pripraviť novú stabilnú liekovú formu pre cieleň transport liečiv. Cieleň transport liečiv umožňuje zvýšiť koncentráciu liečiva v požadovanej oblasti pôsobením externého magnetickeho poľa dostatočnej intenzity. Dôležitým medzníkom v štúdiu magnetických nanočastíc pre cieleň transport liečiv bolo získanie projektu APVV s Výskumným ústavom liečiv, a. s. (Harmeln rds) v Modre s názvom „Cieleň transport protinádorových liečiv prostredníctvom magneticke značených nanosfér“. Hlavným zámerom projektu bolo pripraviť novú aplikačnú formu protinádorového liečiva paclitaxel (Taxol), ktorá by zvyšovala jeho účinnosť a redukovala vedľajšie účinky. Tento cieľ sa dosiahol zabudovaním liečiva do magneticke značených polymérnych nanosfér.

Vyššie spomínané výsledky boli publikované v mnohých významných, medzinárodne uznávaných časopisoch a kolektívu pracovníkov Ústavu experimentálnej fyziky SAV v zložení M. Antalík, M. Bánó, J. Bágelová, M. Koneracká, P. Kopčanský (vedúci riešiteľského kolektívu), I. Potočová, K. Paulovičová, M. Timko, N. Tomašovičová a V. Závišová bola v roku 2007 udelená Cena SAV za výsledky medzinárodnej vedecko-technickej spolupráce za štúdium cieleňho transportu liečiv pomocou

magnetických nanočastíc, ktoré vznikli v širokej medzinárodnej spolupráci s vedeckými inštitúciami v siedmich krajinách.

V rokoch 2011 – 2014 bol v spolupráci s tímom Ústavu normálnej a patologickej fyziológie SAV riešený projekt APVV nazvaný „Účinnosť aliskirénu viazaného na nanočastice pri experimentálnej hypertenzii“. V projekte sa skúmala možnosť využitia nanonosičov aj pri liečbe hypertenzie a iných kardiovaskulárnych ochorení. Mnohé liekové formy sú mimoriadne citlivé na agresívne prostredie tráviaceho systému, preto je obalenie (enkapsulácia) jedným zo spôsobov, ako obísť tieto deštruktívne vplyvy. Aliskirén je pomerne účinný, vysoko špecifický liek používaný na zníženie krvného tlaku pri hypertenzii, má však limitovanú biodostupnosť kvôli jeho rýchlej degradovateľnosti v tráviacom trakte. Na rozdiel od voľného práškoveho aliskirénu sa enkapsuláciou aliskirénu dosiahol u testovaných potkanov želaný výsledok zníženia tlaku. Daný výsledok ponúka možnosť využitia nanonosičov aj pri liečbe hypertenzie a iných kardiovaskulárnych ochorení s možnosťou cielej ochrany orgánov.



Kryogénne meracie zariadenie s 18 T supravodivým magnetom.

V rokoch 2016 až 2019 vyústila spolupráca oboch spomínaných tímov do ďalšieho projektu APVV, nazvaného „Účinnosť nanoenkapsulovaného simvastatínu na kardiovaskulárny systém pri experimentálnom metabolickom syndróme“. Simvastatín znižuje tvorbu cholesterolu v pečeni a znižuje

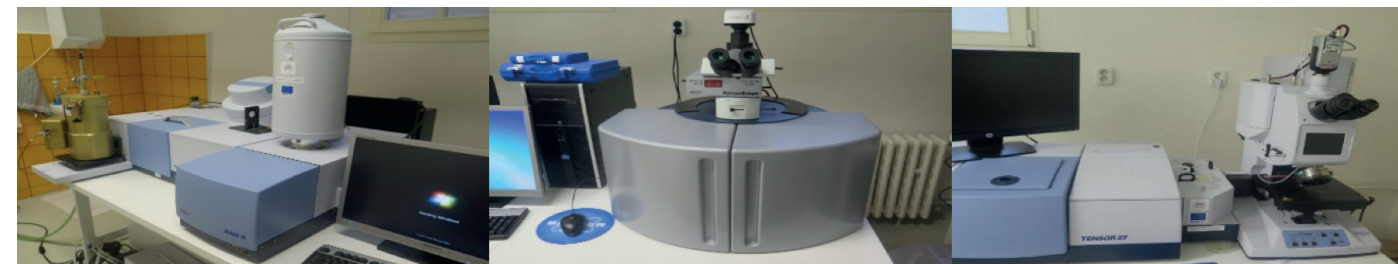
je tak hladinu cholesterolu v krvi, čím sa redukuje riziko výskytu srdcových a cievnych ochorení. Výskumná skupina sa podieľala hlavne na fyzikálno-chemickej charakterizácii liečiva simvastatínu, uzavretého do polymérnych nanosfér. Enkapsuláciou simvastatínu sa dosiahol požadované zníženie hladiny

chá nanoplatforma na detekciu rakoviny“ zameraného na detekciu a zobrazovanie nádorovej hypoxie pomocou protilátok. Keďže takmer všetky pevné nádory sú hypoxické, majú zvýšený metastatický potenciál a mnohé sú navyše rezistentné voči chemo/rádioterapii, kľúčovou úlohou výskumnej skupiny OFMJ bola syntéza magnetických nanočastíc, funkcionalizácia ich povrchu a imobilizácia protilátky, vďaka ktorej sa nanočastice nielen špecificky viazali na nádorové bunky, ale bola dokázaná aj ich internalizácia do nádorových buniek. Výsledky výskumu poskytli sľubný dôkaz zacieľenia nádorových buniek so širokým potenciálom pre vizualizáciu a budúcu liečbu nádorov.

Kolektív sa zaoberal aj prípravou a charakterizáciou magnetických nanočastíc s rôznou povrchovou modifikáciou, ktorých vplyv na tvorbu, prípadne na deštrukciu amyloidných fibríl bol skúmaný v spolupráci s Oddelením biofyziky ÚEF SAV. Pri jubilejnom 60. výročí vzniku SAV si najvýznamnejšie vedecké ocenenie na Slovensku Cenu SAV spoločne odniesli významní košický vedeckí pracovníci Oddelenia biofyziky a Oddelenia fyziky magnetických javov Ústavu experimentálnej fyziky SAV: A. Antošová, Z. Gažová, M. Koneracká, P. Kopčanský, K. Šipošová, V. Závišová za významné výsledky dosiahnuté

v oblasti štúdia magnetických nanočastíc ako terapeutika amyloidných ochorení.

V neposlednom rade má výskumná skupina významnú spoluprácu aj so srbským výskumným tímom z Vinča



Infračervený a Ramanov spektroskop, Ramanov a infračervený mikroskop.

Institute of nuclear sciences, University of Belgrade, ktorý je regionálnym lídrom vo výrobe rádiofarmák. V rámci tejto medzinárodnej spolupráce boli navrhnuté a pripravené funkcionalizované magnetické nanočastice schopné naviazať na seba rádionuklidy. Rádionuklidom označené magnetické nanočastice sú potenciálne rádiofarmaká pre diagnostiku a terapiu.

Vďaka projektom získaným zo štrukturálnych fondov (ŠF) bolo na OFMJ vybudovaných niekoľko nových laboratórií. V roku 2011 bolo zakúpené unikátne kryogénne meracie zariadenie s 18 T supravodivým magnetom. Pracovníci OFMJ pod vedením M. Timka vybudovali laboratórium vysokých magnetických polí, ktoré slúži na meranie elektrických, magnetických a tepelných vlastností materiálov pre slovenských aj zahraničných vedcov.

Ďalším laboratóriom vybudovaným vďaka financiám získaným zo ŠF je laboratórium infračervenej a Ramanovej spektroskopie a mikroskopie pod vedením N. Tomašovičovej. Toto laboratórium prispelo k vzniku ďalších spoluprác. Medzi najvýznamnejšie patrí spolupráca s Lekárskou a Prírodovedeckou fakultou Univerzity Pavla

Jozefa Šafárika v Košiciach. Významné výsledky boli získané v oblasti výskumu ľudských slz, ktoré ukázali možnosť diagnostiky rôznych chorôb zo slznej tekutiny.

Začiatkom roku 2019 sa v Kasárňach/Kulturparku uskutočnila výstava, na ktorej boli výsledky podané umelecky. Vo forme obrazov bolo prezentovaných 27 vzoriek slz zdravých jedincov a pacientov s rôznymi ochoreniami. Výstava zviditeľnila spoluprácu širokej verejnosti a za mediálny ohlas na organizáciu výstavy bola výskumnému kolektívu udelená cena rektora UPJŠ. Začiatkom 21. storočia sa na OFMJ etabloval vedecký smer *Silne korelované elektrónové systémy*. Od roku 2000 sa riešeniu tejto problematiky koordinovane venovali niekoľké vedecké skupiny.

Intermetalické zlúčeniny

Uránové zlúčeniny boli študované v širokej medzinárodnej spolupráci (Česko, Francúzsko, Nemecko, Poľsko, Rakúsko a USA). Venovali sme sa: a) tvorbe tuhých roztokov systémov $U_3Al_2Ge_3$ a $U_3Al_2Si_3$ a ich magnetickým vlastnostiam. Bol navrhnutý model magnetickej štruktúry $U_3Al_2Si_3$, ktorá

je tvorená nekolineárnym usporiadaním momentov U3 atómov; b) štúdiu magnetických štruktúr UNiGa, UIrGe ako aj ich magnetických a elektrických vlastností vrátane vplyvu tlaku napr. na UPdSn (K. Flachbart, S. Gabáni, V. Kavečanský, S. Maťaš, M. Zentková, A. Zentko pod vedením Mariána Mihalika).

Základom pre štúdium zlúčenín na báze vzácných zemín boli kryštály pripravené Czochralského metódou na MFF UK Praha a medzinárodná spolupráca (Česko, Poľsko). Prejav geometrickej frustrácie a kryštáloveho elektrického poľa boli študované pomocou meraní magnetizácie, elektrického odporu a tepelnej kapacity na kryštáli $Ce_5Ni_2Si_3$. Bol určený základný stav a hodnota magnetickej entropie. Štúdium magnetických, transportných, mechanických vlastností a štruktúry intermetalických kovov sa realizovalo na RFe_2Si_2 , RNi_4Al , $PrNi$ a $LaRhSn$ (S. Gabáni, V. Kavečanský, J. Kováč, S. Maťaš, M. Reiffers a M. Zentková pod vedením Mariána Mihalika).

Molekulárne magnety Okrem štúdia magnetických vlastností boli metódami práškovej neutrónovej difrakcie vyriešené detaily kryštálovej štruktúry

vzoriek $R[\text{Fe}(\text{CN})_6] \cdot 4\text{D}_2\text{O}$ ($R = \text{Pr}, \text{Dy}$) vrátane lokalizácie atómov deutéria. Na základe týchto výsledkov bolo možné podrobne popísať štruktúru siete vodíkových väzieb (V. Kavečanský, J. Kováč, M. Lukáčová, S. Maťaš, Marián Mihalik, Z. Mitroóva a A. Zentko pod vedením M. Zentkovej). Tieto výsledky boli dosiahnuté v širokej medzinárodnej spolupráci (Česko, Francúzsko, Nemecko, Poľsko).

Ladenie magnetických vlastností analógov Pruskej modrej (APM) pôsobením tlaku. Malý vplyv tlaku na magnetické vlastnosti bol pozorovaný pre prípad APM s dominantnou feromagnetickou interakciou ($\text{Ni}_3[\text{Cr}(\text{CN})_6]_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$). Naopak, pre ABM s dominantnou antiferomagnetickou interakciou ($\text{Mn}_3[\text{Cr}(\text{CN})_6]_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) bol v dôsledku tlaku indukovaného zvýšeného prekrytia magnetických orbitálov pozorovaný výrazný nárast kritickej teploty magnetického usporiadania (V. Kavečanský, J. Kováč, M. Lukáčová, S. Maťaš, Marián Mihalik, Z. Mitroóva a A. Zentko pod vedením M. Zentkovej). Tieto výsledky boli dosiahnuté v širokej medzinárodnej spolupráci (Česko, Francúzsko, Maďarsko, Poľsko). Spolupráca s FÚ AVČR viedla k implementácii tlakovej komôrky pracujúcej pri tlakoch do 1.2 GPa pre MPMS.

Štúdium magnetických vlastností okta- kyanidov sa realizovalo hlavne v spolupráci s kolegami z Ústavu jadrovej fyziky PAV v Krakove. Významný podiel na tejto spolupráci má M. Zentková a M. Baland (Krakov), ktorá sa rozšírila na celú oblasť molekulárnych magnetov a nových funkčných materiálov.

Študovali sme magnetické vlastnosti pri vysokom tlaku ako aj tlaku okolia, tepelnú kapacitu ako aj relaxácie pomocou NMR (K. Csach, V. Kavečanský, J. Kováč, M. Lukáčová, Z. Mitroóva, Marián Mihalik, M. Sendek, A. Zentko). Spolupráca pretrváva.

Manganity. Zásluhou V. Kavečanského bola nadviazaná spolupráca s prof. G. Gritznerom (Linz), ktorá napriek krátkemu trvaniu mala veľký význam pre implementáciu prípravy a štúdium manganitov na našom ústave. Počas spolupráce boli pripravené keramiky $\text{La}_{0.67}\text{Pb}_{0.33}(\text{Mn}_{1-x}\text{Co}_x)\text{O}_3$ a $\text{La}_{1-x}\text{Ag}_x\text{O}_3$ a boli študované ich magnetické vlastnosti a v neskoršom období aj pod vysokým tlakom (V. Kavečanský, J. Kováč, S. Maťaš, M. Zentková, A. Zentko a výskum celej skupiny viedol Marián Mihalik). Široká medzinárodná spolupráca bola realizovaná s partnermi z Rakúska a Česka.

Boridy zácnych zemín. Skupina elektrónového transportu a tunelovej spektroskopie (I. Baťko, M. Baťková) sa zaoberala experimentálnym štúdiom magnetických a transportných vlastností vybraných silne korelovaných elektrónových systémov, predovšetkým boridov zácnych zemín (SmB_6 , EuB_6 , $\text{EuB}_{6-x}\text{C}_x$, YbB_{12}) vyznačujúcich sa anomálnymi transportnými vlastnosťami súvisiacimi s prechodom kov-izolátor, ťažkofermiónovou supravodivosťou, či kolosálnou magnetorezistenciou. V ostatnom období bol výskum tejto skupiny venovaný najmä skúmaniu stavov nachádzajúcich sa v zakázaných pásoch valenčno-fluktučných (ťažkofermiónových) polo-

vodičov SmB_6 a YbB_{12} , štúdiu anomálií v hustote elektrónových stavov exotického ťažkofermiónového supravodiča CePt_3Si a skúmaniu úlohy fázovej separácie v kolosálno-magnetorezistívnom boride $\text{EuB}_{5.99}\text{C}_{0.01}$, ktoré ukázalo, že pravdepodobnou príčinou veľkej negatívnej magnetorezistencie tohto materiálu je prítomnosť oblastí bohatých na uhlík, ktoré sú v dôsledku nižšej koncentrácie nosičov náboja nekompatibilné s feromagnetickým usporiadaním. V spolupráci s IPM Poznaň, nadviazanej vďaka projektu ŠF „PhysNet“, sa podarilo vyrobiť tenké filmy SmB_6 , čo možno považovať za dôležitý posun pri štúdiu povrchových stavov v SmB_6 , ktorý je považovaný za možný topologický izolátor, avšak jeho základný stav stále nie je dostatočne objasnený. Skupina vypracovala model valenčnými fluktuáciami indukovanej preskokovej vodivosti v SmB_6 , ktorý má principiálne dôsledky na chápanie anomálneho transportu a základného stavu v SmB_6 .

V rámci výskumu táto skupina často spolupracovala s kolegami z Oddelenia fyziky nízkych teplôt (S. Gabáni, G. Pristáš, Z. Pribulová), ako aj s viacerými zahraničnými pracoviskami (MFF UK Praha, FÚ AV ČR Praha, ÚJF Řež u Prahy, Trzebiatowského ústav vo Vroclavi, IMP Poznaň, TU Viedeň, či Institute for Problems of Material Science Kyjev). Štúdium neutrónového rozptylu (SANS) na uhlíkom dopovanom EuB_6 bolo možné vďaka získaniu meracieho času v Helmholtz Zentrum Berlín. Niektoré medzinárodné spolupráce boli realizované v rámci projektov štrukturálnych fondov COST a PhysNet.

K zaujímavým výsledkom skupiny elektrónového transportu a tunelovej spek-



Časť oddelenia v priestoroch Park Angelinum (zľava: A. Zentko, Do Cong Vinh, E. Demkovičová, P. Slančo, T. Tima, M. Timko, P. Slančo).

trokopie (I. Baťko, M. Baťková) patrí aj navrhnutie novej experimentálnej metódy – tunelovej kalorimetrie – umožňujúcej presné určenie tepla generovaného v jednotlivých tunelových elektródach. Výsledky systematického štúdia naznačujú, že generované teplo reprezentuje energiu kvázičastíc pochádzajúcich z neelastických procesov sprevádzajúcich proces elastického tunelovania.

Technologické laboratórium

Vďaka projektom štrukturálnych fondov EXTREM I, EXTREM II, EDUFYCE, PhysNet a PROMATECH bolo v období rokov 2009 – 2015 vybudované Technologické laboratórium, ktoré je

organickou súčasťou OFMJ a centra PROMATECH. K jeho základným vybaveniam patrí optická pec na prípravu monokryštálov metódou zónového tavenia, oblúková pec, muflová pec, rúrová pec, skener na digitalizáciu komôrka pre MPMS do 8 GPa. Kmeňovými pracovníkmi sú vedúci laboratória Marián Mihalik, členovia Matúš Mihalik a M. Zentková a PhD. študenti M. Kovalik a R. Jacko. Medzinárodná spolupráca: Belehrad, Beer Sheva, Budapešť, Edinburgh, Gainsville, Krakov, Linz, Ľublana, Praha, Porto. Výskum skupiny bol orientovaný na: Intermetalické zlúčeniny. Oblukovým tavením sme pripravili vybrané zlúčeniny na báze uránu a céru. Študovali sme

magnetické vlastnosti $\text{CeNi}_{1-x}\text{Co}_x\text{Ge}_2$. Podarilo sa nám pripraviť monokryštál UNi_2Si_2 metódou zónového tavenia. Študovali sme magnetické vlastnosti tejto zlúčeniny. Charakterizovali sme U-Ni-X_2 zliatiny pripravené metódou splat cooling (M. Huráková, V. Kavečanský, Marián Mihalik, Matúš Mihalik, Z. Molčanová a M. Rajňák). Molekulárne magnety. V prípade analógov Pruskej modrej sme sa zamerali na štúdium vplyvu hydrostatického tlaku na magnetické vlastnosti $\text{KMnCr}(\text{CN})_6$ a $\text{KNiCr}(\text{CN})_6$. Vplyv tlaku na $\nu[\text{C}\equiv\text{N}]$ vibračný mód Ramanovho spektra v rozsahu 2100–2200 cm^{-1} je relatívne slabý. Tlak má zanedbateľný vplyv na Curieho teplotu $\text{KNiCr}(\text{CN})_6$, kým táto teplota rastie pre KMn-

Cr(CN)₆ (K. Csach, J. Lazurová, Marián Mihalik, Matúš Mihalik, M. Vavra a M. Zentková). Okázalou demonštráciou komplexného magnetického správania sa materiálu (NH₃OH)₂CoF₄ je posun izotermickej hysteréznej slučky v teplotnom intervale pod 20 K po chladení v priloženom magnetickom poli – jav priloženého poľa (an exchange bias phenomenon). Pozorovaný jav bol prisúdený veľkej výmennej anizotropii, ktorá existuje v dôsledku quasi-2D štruktúry vrstevnatého materiálu (NH₃OH)₂CoF₄ (M. Mihalik a M. Zentková). Štúdiu kryštálovej štruktúry magnetických špongií na báze oktakyaniobátov pod tlakom a štúdiu ich magnetických vlastností. Magnetokalorický jav bol študovaný na Mn-2-imidazole-[Nb(CN)(8)] a Mn-2-pyridazine-[Nb(CN)8], magnetických špongiách, ako aj na M-pyrazole-[Nb(CN)8] (M D Ni, Mn) molekulárnej zlúčenine (M. Mihalik a M. Zentková). Manganity. Medzi najvýznamnejšie výsledky patrí štúdiu vplyvu hydrostatického tlaku na magnetokalorický jav v La_{0,85}Ag_{0,15}MnO₃, kde sme ukázali, že priložený tlak 0.85 GPa zvyšuje zmenu magnetickéj entropie asi o 14 % (M. Antoňák, Marián Mihalik, Matúš Mihalik a M. Zentková). Magnetické nanočastice na báze manganitov. Príprava nanopráškových vzoriek metódou glycín – nitrát. Ide o metódu samovznietenia, kde glycín je palivo a nitrát je oxidant. Štúdiu vplyvu priloženého magnetického poľa na hysteréznú slučku nanopráškov La_{1-x}K_xMnO₃ a La_{1-x}Ag_xMnO₃. Dosiahnuté výsledky sa vysvetľujú pomocou silnej výmennej interakcie na rozhraní medzi obalom nanočastice – vonkajšia

porušená vrstva, a jadrom nanočastice (M. Antoňák, J. Briančin, K. Csach, V. Girman, V. Kavečanský, M. Kovalik, Marián Mihalik, Matúš Mihalik, M. Vavra a M. Zentková).

Multiferroické materiály. Multiferroické materiály na báze manganitov a ortoferitov vzácných zemín boli pripravené metódou zónového tavenia v tvare monokryštálov vhodných na štúdium magnetokryštalickej anizotropie. Študoval sa vplyv substitúcie Jahn-Tellerového (JT) iónu Mn³⁺ iónom Fe³⁺, u ktorého nie je pozorovaný JT jav a prejavy magnetoelektrickej väzby v ortorombických multiferroikách RTO₃ s magneticky indukovanou feroelektricitou (R = Nd, Pr, Tb, Dy; T = Fe, Mn). V prípade TbMn_{1-x}FexO₃ a DyMn_{1-x}FexO₃ substitúcia Fe³⁺ za Mn³⁺ potláča magneticky indukovanú elektrickú polarizáciu. Pomocou práškovej difrakcie neutrónov sme určili magnetickú štruktúru NdMn_{0,8}Fe_{0,2}O₃, ktorá bola potvrdená DFT výpočtami. Magneto-kryštalickej anizotropia bola podrobne študovaná a veľká pozornosť bola venovaná konštrukcii magnetického fázového diagramu v celom obore koncentrácií v prípade NdMn_{1-x}FexO₃, PrMn_{1-x}FexO₃ a TbMn_{1-x}FexO₃ (K. Csach, V. Kavečanský, J. Lazurová, R. Jacko, Marián Mihalik, Matúš Mihalik, M. Vavra a M. Zentková).

Laboratórium atómovej silovej mikroskopie

Vďaka financiám získaným zo ŠF bolo na OFMJ vybudované laboratórium atómovej silovej mikroskopie (I. Baťko, M. Baťková), ktorého základom je

AFM mikroskop Agilent 5500 a spin-coater. Vybudovaním tohto laboratória získalo OFMJ ďalší aspekt pri štúdiu nanomateriálov (magnetické nanočastice, amyloidné fibrily, kvapalnú kryštal, magnetozomy, magnetoferitín, ...) a zároveň sa vytvorila nová platforma na ďalšie spolupráce, napr. s Ústavom materiálového výskumu SAV, University Lille vo Francúzsku, Univerzita Budapešť, či PF UPJŠ, v rámci ktorých sa uskutočňujú predovšetkým MFM merania doménovej štruktúry magnetických materiálov študovaných na týchto inštitúciách. Spolupráca s PF UPJŠ viedla v roku 2016 k získaniu spoločného APVV projektu s názvom „Dizajn štruktúry a funkčných vlastností magneticky mäkkých kompozitných materiálov na báze 3-d prechodných kovov“. Oddelenie má taktiež podiel v Nanolaboratóriu vybudovanom v rámci spoločného projektu PF UPJŠ a ÚEF SAV financovaného zo štrukturálnych fondov EÚ. V laboratóriu, na budovaní ktorého sa z oddelenia podieľali I. Baťko a M. Baťková, je k dispozícii aparatura pre magnetronové naprašovanie tenkých filmov od spoločnosti AJA International a atómový silový mikroskop (typ ICON spoločnosti VEECO, teraz BRUKER), ktorý má implementovaný celý rad módov pre štúdiu topografie, magnetických a elektrických vlastností povrchov. V laboratóriu sa taktiež nachádza zariadenie na optickú litografiu, spin-coater, zariadenie na prípravu ultračistej vody a kontaktovačka na elektrické spájanie prípravených nanoštruktúr s kontaktnými poľami nosičov vzoriek.



Hlavní organizátori medzinárodnej konferencie Magnetic Fluids v r. 2007 v Košiciach.



Tradičné vianočné posedenie OFMJ v roku 2005.



vedúci oddelenia:
Mgr. Pavol Szabó, CSc.

Vedeckí pracovníci:

RNDr. Marcel Človečko, PhD.
doc. RNDr. Karol Flachbart, DrSc.
doc. RNDr. Slavomír Gabáni, PhD.
RNDr. Jozef Kačmarčík, PhD.
RNDr. Matúš Orendáč, PhD.
RNDr. Gabriel Pristáš, PhD.
prof. RNDr. Peter Samuely, DrSc.
RNDr. Peter Skyba, DrSc.
RNDr. Zuzana Vargaestoková, PhD.

Odborní pracovníci:

Ing. Emil Gažo
Ing. Dušan Gábor
Ing. Marcela Medeová
RNDr. Oleksandr Onufrienko, PhD.

Doktorandi:

Ing. Michal Kopčík
Ing. Marek Kuzmiak
RNDr. Miroslav Marcin
RNDr. Ondrej Šofranko

Doterajší vedúci oddelenia:

doc. Š. Jánoš, CSc. (1980 – 1984)
RNDr. K. Flachbart, CSc. (1984 – 1988)
Ing. Š. Molokáč, CSc. (1988 – 1989)
RNDr. O. Hudák, DrSc. (1989 – 1990)
RNDr. M. Reiffers, CSc. (1991 – 1994)
RNDr. P. Skyba, CSc. (1995 – 1999)
prof. P. Samuely, DrSc. (2000 – 2008)
RNDr. P. Skyba, DrSc. (2008 – 2010)
Mgr. P. Szabó, CSc. (2010 – 2013)
prof. P. Samuely, DrSc. (2013 – 2016)

Centrum fyziky nízkých teplôt

Výskum v oblasti fyziky a techniky nízkých teplôt v Košiciach sa začal aktivitami Š. Jánoša a jeho spolupracovníkov L. Kováča a A. Grésera na Katedre experimentálnej fyziky Prírodovedeckej fakulty UPJŠ koncom 60. rokov. Klúčovou udalosťou, ktorá položila základný kameň pre ďalší rozvoj nízkoteplotného výskumu, bolo prvé skvapanie hélia-4 (^4He) v roku 1969. Pomocou skvapalňovača hélia ZH-4 (Š. Bicák, M. Šemšáková) z Feroxu Dečín produkovali 4 litre kvapalného hélia za hodinu.

Vznikom Ústavu experimentálnej fyziky Slovenskej akadémie vied (ÚEF SAV) v Košiciach v roku 1969 sa v rámci jeho oddelenia magnetizmu taktiež začína formovať skupina pracovníkov s orientáciou na fyziku a techniku nízkých teplôt. Boli to poväčšine absolventi PF UPJŠ, ktorí vyrastali pod vedením Š. Jánoša. Zabezpečenie produkcie kvapalného ^4He následne viedlo k svojpomocnej stavbe ďalších experimentálnych zariadení: refrigerátora ^3He a refrigerátora ^3He - ^4He , ktoré dosahovali teploty v rozsahu od

1 kelvina až do 65 milikelvínov. Tieto zariadenia umožnili realizáciu samotného fyzikálneho výskumu, ktorý bol v tom čase zameraný na štúdium transportu elektrického náboja a prenosu tepla v kovoch vzácnych zemín a v zlúčeninách na báze vzácnych zemín pri nízkych teplotách. Rok 1979 bol významným rokom v rozvoji košickej fyziky nízkých teplôt v podobe inštalácie výkonnejšieho skvapalňovača hélia CTi1400 od spoločnosti Cryophysics na pôde ÚEF SAV v Košiciach. Tento skvapalňovač nahradil pôvodný skvapalňovač ZH-4 a umožnil zásobovať kvapalným héliom nielen fyzikálne pracoviská a inštitúcie v Košiciach, ale najmä výrazne stimuloval a umožnil vývoj nízkoteplotnej experimentálnej infraštruktúry.

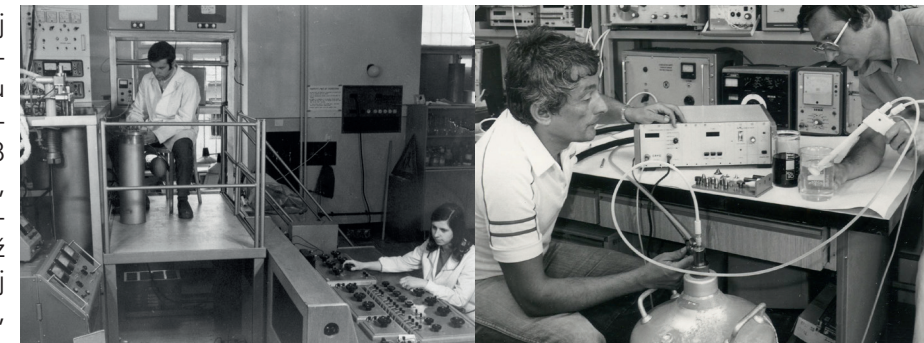
Rozvoj experimentálnej bázy fyziky nízkých teplôt si vynútil potrebu vzniku Oddelenia fyziky nízkých teplôt (OFNT) ÚEF SAV, ktoré sa od 1. 1. 1980 stalo samostatnou vedecko-výskumnou štruktúrnou jednotkou ústavu. Prvým vedúcim OFNT ÚEF SAV sa stal Š. Jánoš. OFNT ÚEF SAV je lokalizované v priestoroch Katedry experimentálnej fyziky

PF UPJŠ, s ktorou má nielen spoločné výskumné laboratóriá, ale aj bohatú, rozsiahlu a dlhodobú vedeckú spoluprácu. Vznik samostatného oddelenia fyziky nízkých teplôt urýchlil zavádzanie nových experimentálnych metodík, rozšírilo sa spektrum skúmaných materiálov a rozvinulo sa aj teoretické štúdium rôznych problémov z oblasti kondenzovaných látok.

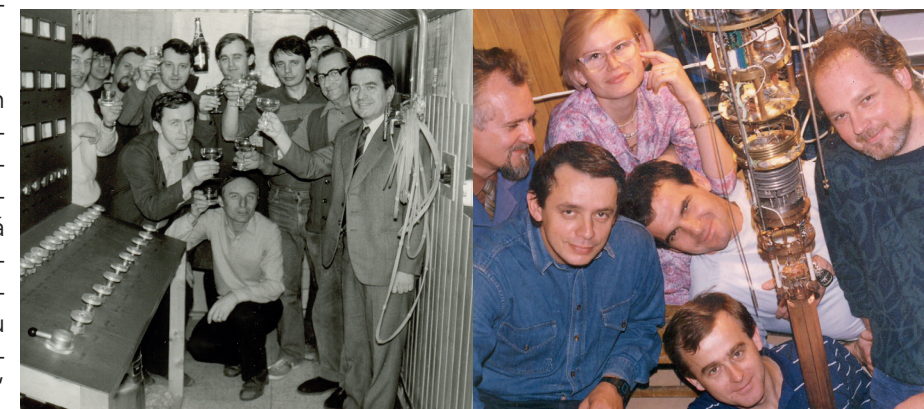
Vedeckí pracovníci novovzniknutého oddelenia sa koncentrovali na výskum transportných, tepelných a magnetických vlastností rôznych systémov, predovšetkým materiálov na báze vzácnych zemín pri nízkych teplotách vrátane systémov so silnou elektrónovou koreláciou, ku ktorým patria supravodiče, vysokoteplotné supravodiče, ťažko-fermiónové systémy a zmiešano-valenčné systémy (K. Flachbart, Š. Molokáč, M. Reiffers, P. Samuely). V roku 1983 bola na štúdium týchto systémov zavedená mimoriadne efektívna metóda mikrokontaktnej a tunelovej spektroskopie (M. Reiffers, P. Samuely), ktorá umožňuje sledovanie elektrón-kvázicasticovej interakcie v kovoch a kovových zlúčeninách a určovanie

niektorých parametrov ich elektrónovej a fonónovej štruktúry. Za využitie mikrokontaktnej spektroskopie pri štúdiu elektrón-kvázicasticovej interakcie vo vybraných tuhých látkach bola v roku 1988 kolektívu pracovníkov OFNT (M. Reiffers, P. Samuely, K. Flachbart, Š. Jánoš) udeľená cena SAV. Na oddelení boli taktiež rozvinuté niektoré aplikácie kryogénnej fyziky a techniky v meracej technike, v zdravotníctve a priemysle (programovateľné prúdové zdroje pre supravodivé magnety, prístroje na deštrukciu defektných tkanív Kryogin a Kryokauter, zmrazovač potrubia a pod.).

V roku 1982 sa začal realizovať jeden z najnáročnejších, avšak aj najvýznamnejších vedecko-experimentálnych projektov OFNT – budovanie aparatury jadrovej adiatickej demagnetizácie, ktorá mala umožniť dosiahnuť teploty v mikrokkelvinovej oblasti teplôt. Úspešné riešenie tohto projektu by viedlo k výraznému experimentálnemu pokroku – skoku, ktorý by súčasne umožnil a otvoril „dvere“ k štúdiu fundamentálnych kvantových procesov a javov v oblasti mikrokkelvinových teplôt. Tento projekt pod vedením



Š. Jánoš a M. Šemšáková v laboratóriu 24 (vľavo). L. Kováč a Š. Jánoš testujú kryochirurgický prístroj vyvinutý v Realizačnom útvare ústavu (vpravo).



Spúšťanie ^3He - ^4He refrigerátora jadrovej chladenia do prevádzky (vľavo). Výskumná skupina skúmajúca supratekutú fázu ^3He (vpravo).



OFNT pred budovou Park Angelinum v polovici 80. rokov 20. storočia.

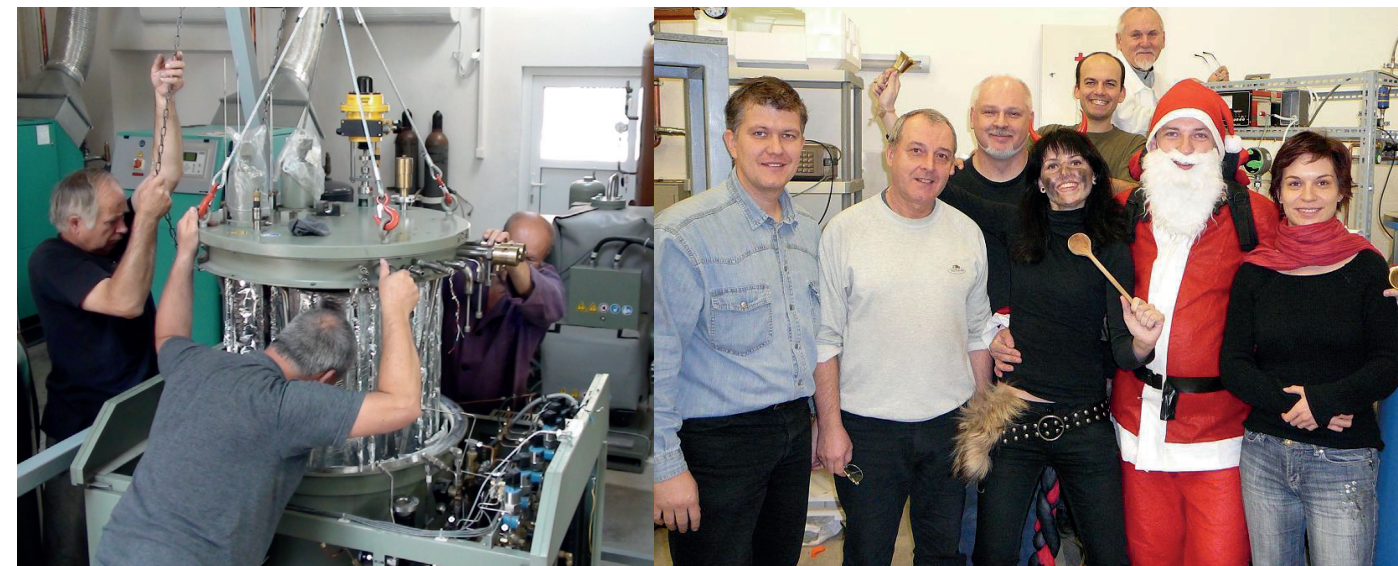
Š. Jánoša začala riešiť dvojica mladých, práve skončených absolventov fyziky na PF UPJŠ v Košiciach v zložení J. Nyéki a P. Skyba, s výdatnou podporou pracovníkov fakulty – A. Fehera, A. Grése- ra, N. Smolku a V. Beneho. V roku 1984 Š. Jánoš odchádza z OFNT ÚEF SAV do Bratislavy (a neskôr na univerzitu do švajčiarskeho Bernu) a záštitu nad týmto projektom preberá A. Feher. Skupina bola v roku 1985 posilnená o E. Gaža a V. Makróczyovú. Niekoľkoročné úsilie tohto tímu bolo odmenené úspechom, keď začiatkom roku 1988 bola v Košiciach dosiahnutá teplota pod jedným milikelvinom, a po prvýkrát boli technikami JMR pozorované supratekuté fázy hélia-3. Týmto sa OFNT ÚEF SAV zaradilo medzi zhruba tucet laboratórií sveta, ktoré boli schopné dosiahnuť submilikelvinové teploty. K tomuto úspechu výrazne dopomohla intenzívna vedecká spolupráca s Kapitovým Ústavom fyzikálnych

problémov v Moskve (A. S. Borovik-Romanov, J. M. Buňkov, V. V. Dmitriev a J. Mucharsky). Následne v roku 1990 bol v spolupráci s pracovníkmi moskovského Kapitovho ústavu navrhnutý, vyrobený a nainštalovaný nový typ tzv. difúzne zváraného jadrového stupňa, pomocou ktorého bolo ochladené supratekuté hélium-3 na teplotu 270 mikrokkelvinov (1996) a neskôr po úprave aparatury sa v roku 2005 podarilo dosiahnuť teplotu 50 mikrokkelvinov. Týmto sa OFNT ÚEF SAV v Košiciach stalo jedným z „najchladnejších miest vo vesmíre“. Zvládnutie metodiky jadrovej adiabatckej demagnetizácie a techník jadrovej magnetickej rezonancie a pod. umožnilo intenzívne štúdium jednak vlastností samotných supratekutých fáz hélia-3, ale aj realizáciu experimentov využívajúcich tieto fázy ako modelový systém pre simuláciu a experimentálne štúdium fyzikálnych procesov a javov predpovedaných koz-

mológiou, fyzikou vysokých energií či astrofyzikou. Zaradenie sa OFNT ÚEF SAV medzi tucet laboratórií fyziky ultranízkych teplôt sveta otvorilo aj dvere pre medzinárodnú vedeckú spoluprácu v rámci západnej Európy a prvým projektom bol projekt PECO s univerzitou v Bayreuthe, Nemecko (F. Pobell).

Od roku 1984 do vzniku Teoretického oddelenia ÚEF SAV v roku 1998 bola súčasťou OFNT aj skupina teoretikov (P. Farkašovský, O. Hudák a M. Kupka), ktorí napomáhali teoretickej interpretácii experimentálnych dát v oblasti silne-korelovaných systémov a supratekutého hélia-3.

Objav vysokoteplotnej supravodivosti (1988) viedol k zvýšeným štátnym investíciám do fyzikálneho výskumu v celom svete vrátane našej republiky. Tieto investície boli použité na rozšírenie ex-



Inštalácia nového skvapalňovača v r. 2006 (vľavo) a nových zariadení v laboratóriu s Mikulášom v r. 2007 (vpravo).

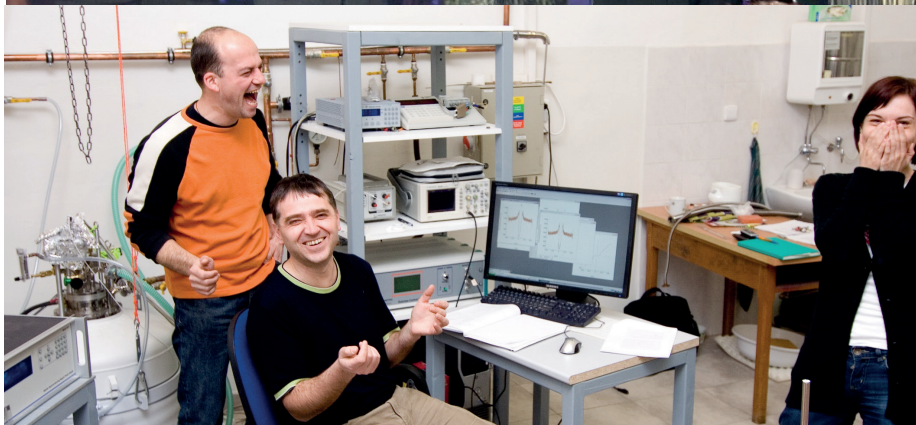
perimentálnej základne OFNT o nový zmiešavací refrigerátor s „top-loading“ systémom od firmy Oxford Instruments (I. Batko, K. Flachbart a V. Pavlík) a infračervený spektrometer Brucker (D. Maccko a N. Tomašovičová). Tieto zariadenia rozšírili experimentálnu základňu OFNT. Od roku 1990 začala aj úzka spolupráca s košickými železiarňami (VSŽ Košice), ktorá sa v neskoršom období pretransformovala na finančnú podporu fyzikálneho výskumu pri nízkych teplotách zo strany nového majiteľa železiarní, spoločnosti US Steel Košice, s. r. o., pričom táto cenná podpora trvá dodnes.

Nové tisícročie prinieslo do života oddelenia nové možnosti. V rokoch 2002 – 2015 sa oddelenie úspešne uchádzalo o projekty Centier excelentnosti (CEX) SAV. Finančné prostriedky získané z týchto projektov boli investované do obnovenia laboratórií a spoločných priestorov

oddelenia. To umožnilo transformáciu OFNT ÚEF SAV na Centrum fyziky nízkych teplôt (CFNT) v Košiciach, spoločného pracoviska ÚEF SAV a PF UPJŠ. Spoločné centrum získalo v roku 2005 aj vládnu dotáciu na obnovenie kryogénnej infraštruktúry v dovtedy nevidanej výške 50 miliónov Sk. Z týchto prostriedkov bol zakúpený nový skvapalňovač hélia CTi model 1410 (Š. Bicák, V. Pavlík a G. Pristáš st.) a meracie systémy PPMS a MPMS Quantum Design pre meranie transportných, termodynamických a magnetických vlastností tuhých látok v širokom intervale teplôt a magnetických polí.

CFNT ÚEF SAV bolo úspešné aj vo výzvach Štrukturálnych fondov EÚ koordinovaných ASFEÚ. V období rokov 2009 – 2014 v rámci troch výziev, pomocou projektov: Extrem I, Extrem II a Promatech bola komplexne inovovaná nízko-

teplotná infraštruktúra, boli zakúpené nové zariadenia, ako UHV STM, skenovací hallovský mikroskop, MPMS-2, „suchý“ zmiešavací refrigerátor Triton-200, nový kryostat refrigerátora jadrového chladenia a bolo vybudované nové laboratórium nano-technológií (v skupine na PF UPJŠ) so špičkovými technologickými zariadeniami. Nové experimentálne možnosti štúdia materiálov pri extrémne nízkych teplotách (do 100 mikrokkelvinov), pri vysokých tlakoch (do 10 GPa), v silných magnetických poliach (do 12 Tesla), s atomárnym rozlíšením a v kombinácii týchto parametrov zaradili košické CFNT do svetovej elity laboratórií fyziky nízkych teplôt. Za vybudovanie tejto unikátnej experimentálnej základne bola kolektívu CFNT ÚEF SAV v roku 2008 udelená Cena SAV za vybudovanie vedeckej infraštruktúry.



Vedecko-technický tím roka 2012
(P. Szabó, J. Kačmarčík, Z. Vargaestoková, P. Samuely).



Návšteva Leidenu v r. 2008 počas konferencie
(zľava: M. Orendáč, A. Orendáčová, I. Baťko, M. Baťková, G. Pristáš, Z. Vargaestoková, S. Gabáni, J. Kačmarčík, P. Szabó, M. Človečko).

Začiatok tretieho tisícročia bol úspešný aj z pohľadu účasti CFNT v medzinárodných, predovšetkým európskych projektoch. Významným projektom z pohľadu experimentálneho rozvoja OFNT bol projekt 6. rámcového programu EÚ Extrém (P. Samuely) v rokoch 2006 až 2009. Kryogénne zariadenia a nové experimentálne metódy vyvinuté v rámci tohto projektu: subkelvinový skenovací tunelový mikroskop (STM) (P. Szabó v spolupráci s UAM Madrid), vysokocitlivá ac-kalorimetria (J. Kačmarčík v spolupráci s CEA Grenoble) a vysokotlakové merania pri milikelvinových teplotách (S. Gabáni v spolupráci s WMI Garching a CEA Grenoble) znamenali kvalitatívnu zmenu v experimentálnej infraštruktúre oddelenia. CFNT participovalo na viacerých projektoch zameraných na medzinárodnú spoluprácu v rámci európskych organizácií ESF a COST. V 7. rámcovom programe EÚ sa zúčastnilo riešenia projektu Microkelvin (P. Skyba), prostredníctvom ktorého sa stalo súčasťou Európskej mikrokelvinovej platformy, združujúcej nízkoteplotné a nanotechnologické laboratória a firmy.

Od roku 2000 sa na oddelení vyformovali tri výskumné skupiny zamerané na jednotlivé fyzikálne témy: 1. Materiály v extrémnych podmienkach (S. Gabáni, G. Pristáš, K. Flachbart) 2. Supravodivosť (J. Kačmarčík, P. Szabó, Z. Vargaestoková, P. Samuely) a 3. Supratekuté fázy hélia-3 a fyzika ultranízkych teplôt (M. Človečko, P. Skyba). Kľúčovým, spoločným zariadením oddelenia je skvapalňovač hélia (Š. Bicák, G. Pristáš st., V. Pavlík, D. Gábor, O. Onufrienko), vedecko-technická podpora výskumných skupín v oblasti kryogénnej a vákuovej techniky (E. Gažo) a



Oslavy 50. výročia prvej kvapky hélia v Košiciach v roku 2019.

administratívna podpora (M. Medeová a M. Šemšáková). Výskumné skupiny CFNT ÚEF SAV majú vlastné aj spoločné vedecké projekty financované domácimi (VEGA, APVV, ŠF EÚ) a európskymi (7. RP EÚ, H2020) grantovými agentúrami. Podieľajú sa na výchove mladej generácie vedcov predovšetkým formou vedenia doktorandských (PhD.) ale aj magisterských a bakalárskych prác v spolupráci s košickými univerzitami najmä s UPJŠ a TUKE Košice. Za obdobie existencie CFNT ÚEF SAV jeho vedeckí pracovníci dosiahli celý rad významných vedeckých výsledkov, ktoré boli publikované v najrenomovanejších fyzikálnych časopisoch ako Nature (3 publikácie), Nature Communications (1), ACS Nano (2), Physical Review Letters (18), Scientific reports (2), Physical Review B (46), Applied Physics Letters (2), atď. Na práce vytvorené v CFNT evidujú svetové databázy tisíce citácií. Napríklad práca o dvojmedzrovej supravodivosti MgB₂ kolektívu P. Szabó, J. Kačmarčík, P. Samuely et al., Physical Review Letters 2001, patrí me-

dzi najcitovanejšie práce, ktoré vznikli na Slovensku a získala aj diplom Web of Science ISI Thomson za najcitovanejšiu prácu v odbore Supravodivosť. Vedci CFNT prezentujú výsledky vo forme pozvaných prednášok na najvýznamnejších svetových konferenciách. CFNT samo usporadúva významné vedecké konferencie a hostí významné vedecké osobnosti.

Fyzika nízkych teplôt v Košiciach má 50-ročnú históriu. Za toto obdobie výskumníci CFNT ÚEF SAV vybudovali unikátnu nízkoteplotnú experimentálnu infraštruktúru, ktorá umožňuje výskum kondenzovaných látok v extrémnych podmienkach: od mikrokelvinových teplôt (100 mikrokelvinov) po izbové teploty (300 Kelvinov), pri nízkych (1 nPa) a vysokých tlakoch (10 GPa), slabých (1 nT) a silných (12 T) magnetických poliach a s priestorovým rozlíšením na úrovni 1 atómu (0,01 nm). Od roku 2019 rieši konzorcium Európskej mikrokelvinovej platformy významný projekt Horizontu

2020 (Ch. Enss/P. Skyba) v oblasti excelentnej vedy zameraný na rozvoj infraštruktúry strategicky dôležitej pre EÚ. V rámci projektu tvorí CFNT spolu s ďalšími 7 mikrokelvinovými laboratóriami virtuálne európske laboratórium otvorené pre všetkých záujemcov experimentovať v tejto oblasti, ktorá je kľúčová pre rozvoj kvantových technológií. Na Slovensku sa CFNT v roku 2017 stalo členom združenia Národnej platformy kvantových technológií, ktorá sa usiluje o zapojenie do projektu EU Quantum Technology flagship.

Za polstoročie svojej existencie sa CFNT ÚEF SAV stalo vedeckým pracoviskom, ktoré sa presadilo v európskom výskumnom priestore, je schopné publikovať v časopisoch Nature index, získavať významné národné a medzinárodné projekty, vychováva nových vedeckých pracovníkov, ktorí sa vynikajúco uplatňujú doma i v zahraničí, poskytuje svoju infraštruktúru vonkajším záujemcom a rozvíja moderné technológie s veľkým potenciálom využitia.



vedúci oddelenia:
RNDr. Kornel Csach, CSc.

Vedeckí pracovníci:

RNDr. Alena Juríková, CSc.
Ing. Jozef Miškuf, CSc.

Odborní pracovníci:

Ivan Jurčo

Doterajší vedúci oddelenia:

prof. V. Karel, DrSc. (1980 – 1985)
Ing. P. Diko, CSc. (1985 – 1991)
RNDr. K. Csach, CSc. (1991 – 1994)
Ing. V. Hajko, CSc. (1995 – 1996)
Ing. V. Ocelík, CSc. (1997 – 1998)

Začiatkom 70. rokov 20. storočia sa pod vedením A. Sólyoma vybuďovalo Laboratórium feromagnetických kovov ako spoločné pracovisko Katedry experimentálnej fyziky PF UPJŠ a Oddelenia magnetizmu ÚEF SAV, ktoré sa venovalo príprave a definícii štruktúry monokryštalických a polykryštalických feromagnetických kovov.

Na báze tohto laboratória a Katedry náuky o kovoch HF VŠT vzniká v roku 1976 spoločný vedecko-výskumný kolektív v oblasti fyziky kovov pod externým vedením V. Karela z Hutníckej fakulty VŠT, ktorý bol aj školiteľom viacerých aspirantov tohto kolektívu. Od prípravy magneticky mäkkých (na báze Fe-Si) a magneticky tvrdých (na báze vzácnych zemín) materiálov sa postupne prechádzalo aj na štúdium vplyvu štruktúry a medzikryštálového povrchu na mechanické a fyzikálne vlastnosti kovových materiálov. Rozsah a výsledky dovtedajších aktivít v oblasti fyziky kovov v rámci Oddelenia magnetizmu na ÚEF umožnili dňom 1. 1. 1980 zriadiť v ústave samostatné Oddelenie fyziky kovov (OFK), ktoré externe viedol V. Karel.



Archívne fotografie z 80. rokov 20. storočia.

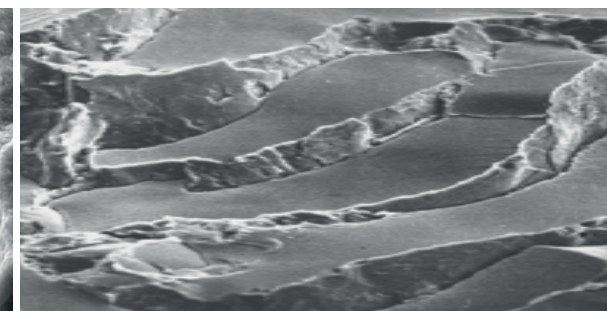
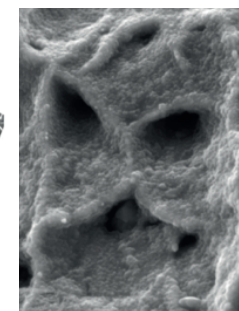
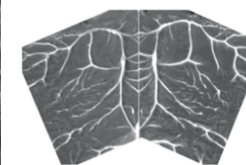
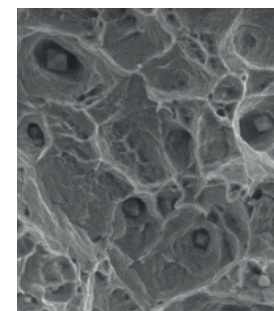


OFK v r. 2004, v r. 2005 s Dr. Bengusom a Dr. Tabachnikovou a v r. 2016.

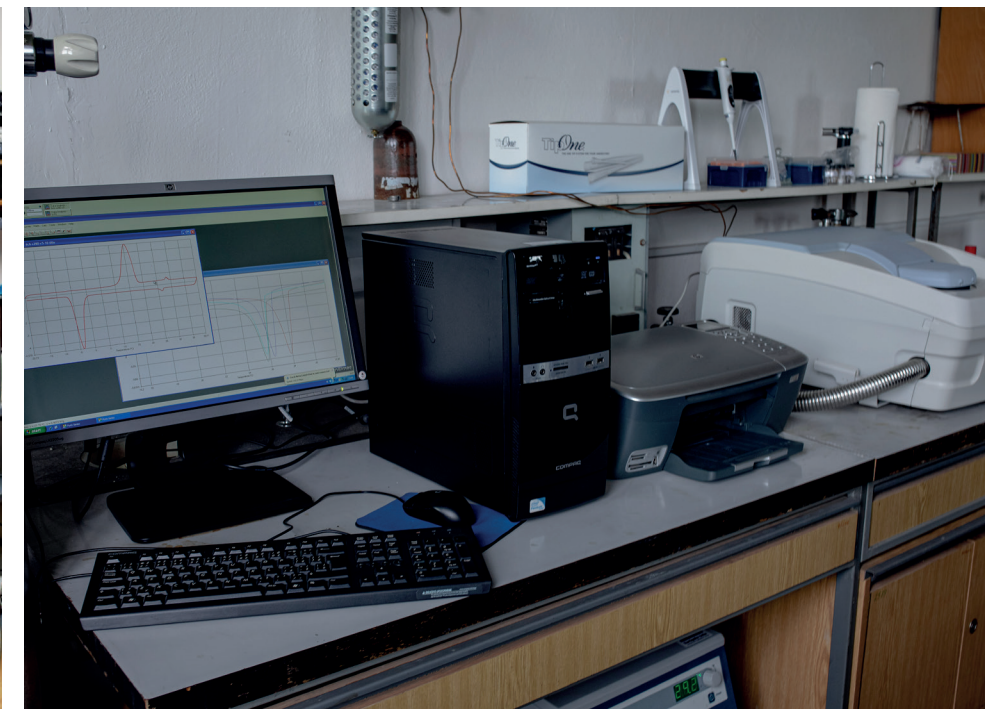
Prvé experimentálne práce oddelenia boli orientované na poznávanie vzájomných väzieb medzi štruktúrou a magnetickými vlastnosťami magneticky mäkkých i magneticky tvrdých materiálov (P. Diko, J. Miškuf, V. Kavečanský).

Osobitná pozornosť sa venovala mikrosegregácii stopových prvkov a povrchovo aktívneho antimónu v binárnych Fe-Si zliatinách a kremíkových oceliach pre elektrotechniku. V Fe-Ni zliatinách sa študovala segregácia Sb a ďalších povr-

chovo aktívnych prvkov vo väzbe na mechanické vlastnosti (A. Sólyom, J. Miškuf, V. Hajko ml., K. Csach, P. Diko). Neskôr sa táto problematika študovala na Oddelení fyziky magnetických javov.



Snímky lomových povrchov získané pomocou rastrovacieho elektrónového mikroskopu.



Rastrovací elektrónový mikroskop VEGA3 LMU, zariadenia termickej analýzy TGDTA SETSYS16 a DSC kalorimeter DSC8000.

Vďaka spolupráci s Fyzikálnym ústavom SAV v Bratislave a s Ústredným fyzikálnym ústavom (KFKI) v Budapešti sa začiatkom 80. rokov na oddelení vyvinula a zhotovila aparatura na prípravu amorfných a mikrokryštalických metastabilných kovových pásov metódou rýchleho ochladenia taveniny (V. Hajko ml.). To vytvorilo možnosť začať širšie koncipovaný výskum kovových skiel – amorfných kovových materiálov, ktoré v porovnaní s klasickými kryštalickými materiálmi podobného chemického zloženia vykazujú viaceré osobitné vlastnosti. Ťažisko záujmu oddelenia spočívalo v štúdiu relaxačných procesov krehnutia a kryštalizácie, t. j. v stanovení podmienok stability týchto materiálov (P. Diko, V. Ocelík). Krátko

po objave vysokoteplotnej supravodivosti sa časť oddelenia intenzívne venovala príprave, štúdiu štruktúry a prechodu do supravodivého stavu vysokoteplotných keramických supravodičov YBaCuO (P. Diko, K. Csach, V. Kavečanský, J. Miškuf, A. Juríková) a tenkých oxidických vrstiev na rýchlochladených Cu-YBaCuO páskach (V. Hajko ml.).

V 90. rokoch sa výskum na Oddelení fyziky kovov orientuje na štúdium mechanických vlastností, plastickej a neelastickej deformácie, procesov porušovania a stability amorfných kovových materiálov pripravených rýchlym ochladením. Metódy fraktografickej

analýzy a kvantitatívnej štatistickej fraktografie sa využívajú pri štúdiu lomových plôch amorfných kovov v tvare tenkých pásov i objemových telies porušovaných v širokom intervale teplôt, rýchlostí deformácie a pri rôznych spôsoboch namáhania (J. Miškuf, K. Csach, V. Ocelík). Mechanickým skúšaním amorfných kovových materiálov v intervale teplôt od 4,2 K vyššie a aplikáciou metód lineárnej lomovej mechaniky sa študujú procesy vzniku a šírenia nestabilnej trhliny v amorfnej kovovej štruktúre. Ďalej sa študuje homogénna plastickej deformácia amorfnej kovovej štruktúry a vlastnosti deformačných defektov sledovaním procesov neelastickej deformácie a tečenia pod vplyvom mechanického napätia

a analýzou týchto procesov numerickými metódami, ktoré predpokladajú existenciu spektra aktivačných energií tepelne aktivovaných procesov (V. Ocelík, A. Juríková, K. Csach).

V ostatnom desaťročí sa oddelenie venuje aj popisu deformácie a porušenia nanokryštalických a vysokoentropických zliatin po intenzívnej plastickej deformácii. Niektoré zákonitosti štruktúrnej relaxácie a teplotných zmien mechanických vlastností kovových skiel sú interpretované na základe predpokladu podobnosti vlastností defektov v kovových sklách s modelovými defektami - intersticiálnymi v kryštálovej mriežke. Na rôznych typoch kovových skiel je študovaný vplyv geometrických podmienok na diskonti-

nuálnu plastickej deformáciu v priebehu nanoindentácie kovových skiel a na konečnú morfológiu deformovanej oblasti (K. Csach, J. Miškuf, M. Demčáková, A. Juríková). Fázové prechody sú študované aj v modelových chalkogenidových sklách, ale aj v rôznych komplexoch s magnetickými nanočasticami (A. Juríková, K. Csach).

Vďaka výraznej podpore štrukturálnych fondov Európskej únie v období 2009 – 2015 boli naše laboratória vybavené modernou technikou. Súčasťou laboratória termickej analýzy je diferenciálna skenovací kalorimetria (DSC8000 Perkin Elmer), simultánna diferenciálna termická a termogravimetrická analýza (Setaram

SETSYS16) a termomechanická analýza (TA Instruments Q400EM a Q800). Laboratórium elektrónovej mikroskopie je vybavené nízkovákuovým rastrovacím elektrónovým mikroskopom VEGA3LMU s prvkovým mikroanalýzátorom Brucker.

Pri riešení uvedených problémov oddelenie aktívne a dlhodobu spolupracuje s Fyzikálnym ústavom nízkych teplôt B. Verkina Ukrajinskej AV (FTINT) v Charкове, so Štátnou polytechnickou univerzitou (GPU) Voronež (Ruská federácia), Univerzitou v Groningene (Holandsko) a Univerzitou v Užhorode (Ukrajina).



vedúca oddelenia:
RNDr. Diana Fedunová, PhD.

Vedeckí pracovníci:

RNDr. Andrea Antošová, PhD.
RNDr. Zuzana Bednáriková, PhD.
doc. RNDr. Zuzana Gažová, CSc.
RNDr. Jana Kubacková, PhD.
RNDr. Jozef Marek, PhD.
MUDr. Andrej Musatov, DrSc.
RNDr. Michal Pudlák, CSc.
RNDr., Ing. Katarína Šipošová, PhD.
doc. Ing. Zoltán Tomori, CSc.
RNDr. Eva Valušová, PhD.

Odborní pracovníci:

Ing. Igor Hrmo
Mgr. Roland Súra

Technickí pracovníci:

Martina Ivančáková
Dagmar Sedláková
Dana Švarcbergerová

Doktorandi:

RNDr. Miroslav Gančár
Mgr. Ivana Garčárová
Mgr. Veronika Kažiková

Mgr. Barbora Spodniaková
RNDr. Vladimír Vaník

Doterajší vedúci oddelenia:

RNDr. M. Fabian, CSc. (1984 – 1990)
RNDr. T. Kožár, CSc. (1991 – 1996)
prof. Ing. M. Antalík, DrSc. (1997 – 2011)
doc. RNDr. Z. Gažová, CSc. (2011 – 2017)
MUDr. A. Musatov, DrSc. (2017 – 2019)

Oddelenie biofyziky

Oddelenie biofyziky (OBF) vzniklo v roku 1984 pod názvom Biofizikálne laboratórium. Základ laboratória tvorilo 7 biofizikov, ktorí predtým pracovali na Neurobiologickom ústave SAV. Pôvodným zámerom vtedajšieho vedenia ústavu bol rozvoj nového smeru, biofyziky, s vizionárskym cieľom postupne vybudovať samostatný Biofizikálny ústav SAV. Tieto odvážne plány ostali len v teoretickej rovine, Oddelenie biofyziky je dodnes integrálnou súčasťou ÚEF SAV. Spočiatku boli pracoviská oddelenia lokalizované v priestoroch PF UPJŠ.

Väčší dynamický rozvoj v riešení vedeckých problémov a v metodickom zázemí oddelenia nastal až po roku 1990, keď OBF získalo vlastné priestory na Bulharskej ulici, kde sídli dodnes. Hlavným zameraním oddelenia bolo experimentálne a teoretické štúdium štruktúrnych a fyzikálno-chemických vlastností rôznych biomakromolekul – proteínov, membrán a polysacharidov. V prvých rokoch sa na OBF rozvíjali tri smery: „Štúdium konformačných prechodov metaloproteínov“

pod vedením M. Fabiana, „Membránové kationové transportné systémy“ vedené M. Antalíkom a „Modelovanie štruktúry a funkcie komponentov membrán“ pod vedením T. Kožára. Medzi riešené úlohy patrilo napr.: i) štúdium štruktúrnych zmien a stability metaloproteínov v závislosti od podmienok prostredia a prítomnosti iných biomakromolekul; ii) štúdium zmien fyzikálnych vlastností lipozómov v prítomnosti lokálnych anestetík s cieľom prispieť k pochopeniu mechanizmov ich účinku pri interakcii s membránami; iii) charakteristika konformačných stavov polysacharidov a glykokonjugátov pre lepšie pochopenie biologickej úlohy týchto biomakromolekul.

Vďaka dobrej spolupráci s Katedrou jadrovej fyziky a biofyziky ako aj Katedrou biochémie PF UPJŠ v Košiciach, OBF získavalo nielen diplomantov ale aj absolventov týchto katedier, ktorí ako pracovníci oddelenia posilnili vedecké tímy. V rámci Československa sa rozvíjala spolupráca s Makromolekulárnym Ústavom ČSAV v Prahe a Biofizikálnym ústavom ČSAV v Brne (J. Bágelová). Nadviazala sa aktívna zahraničná spolupráca s pracoviskami na Katedre biofyziky na Biologickej a fyzikálnej fakulte Lomonosovovej štátnej univerzity v Moskve (M. Fabian), s Ústavom biologickej fyziky bývalej AV ZSSR v Puščine (J. Bágelová), ale aj na Štátnej univerzite v Syracuse, New York, USA (T. Kožár). Na týchto pracoviskách viacerí pracovníci obhájili svoje dizertačné práce (M. Pudlák, J. Sabo, V. Berka). Po roku 1989 sa medzinárodná spolupráca rozšírila na ďalšie, najmä zámorské pracoviská. Pracovníci OBF absolvovali dlhodobé študijné a pracovné pobyty na Rice University, Houston, USA (M. Fabian, M. Antalík), na University of Texas Health Science Center v San Antoniu (A. Musatov) a v Houstone (V. Berka, Z. Berková), University of Texas Medical Branch v Galvestone (M. Antalík), University of Ottawa (M. Kolajová), New Jersey Institute of Technology, Newark, USA (F. Petrák a T. Kožár), ako aj University of California, San Diego (Z. Tomori). Pracovníci OBF mali možnosť pôsobiť aj na prominentných európskych pracoviskách, akými sú napríklad Univerzita v Göteborgu vo Švédsku (M. Fabian), Max-Planck Institute for Medical Research, Heidelberg a German Cancer Research, v Heidelbergu (T. Kožár), ako aj na

Max-Planck-Unit for Structural Molecular Biology v Hamburgu (Z. Gažová). Úspešná spolupráca sa rozvíjala aj s Laboratóriom pre biochémiu Bayreutskej univerzity v Nemecku (M. Antalík, D. Fedunová), Katedrou biochémie Univerzity T. G. Masaryka v Brne (A. Musatov – ašpirantúra) a Biofizikálnym ústavom AV ČR v Brne. Niekoľkoročný výskumný pobyt v modernom kanadskom biotechnologickom prostredí (GlycoDesign, Toronto) sa podarilo realizovať T. Kožárovi, ktorý po návrate na Slovensko aplikoval skúsenosti s využitím výpočtových metód v molekulárnom modelovaní. Zároveň sa podieľal na budovaní výkonného klastra na OBF a národného výpočtového klastra „Slovenská infraštruktúra pre vysokovýkonné počítanie“, ktorého časť je lokalizovaná aj na ÚEF SAV.

Vedecké výsledky

Po vzniku grantovej agentúry VEGA v roku 1996 pracovníci oddelenia okamžite prejavili záujem o získavanie projektov. VEGA projekty pomohli podporiť výskumné trendy OBF. Jednou z nosných tém výskumu bolo štúdium štruktúry, sta-

bility a agregácie hémových proteínov, najmä cytochrómu c (M. Antalík, J. Bágelová, Z. Gažová). Cytochróm c je jedným z najstabilnejších proteínov nachádzajúcich sa u živočíchov. Veľký podiel na jeho výraznej stabilite má prítomnosť hému. Zmena oxidačného stavu hémového železa, čiže prijatie jedného elektrónu, zvyšuje teplotu denaturácie o 20 °C. Štúdium bolo zamerané na určenie vplyvu oxidačného a spinového stavu hémového železa, prítomnosti rôznych ligandov, ako aj pH, teploty, prítomnosti silných kyselín alebo osmolytov na štruktúru a stabilitu cytochrómu c. Získané výsledky prispeli k pochopeniu mechanizmu interakcií hému s proteínovou časťou makromolekuly zodpovedných za konformačnú stabilitu. Ďalším riešeným problémom bolo štúdium stability a konformácie hémových elektrón-transportných proteínov v komplexoch s biomakromolekulami a rôznymi modelovými polyaniónmi. Ako modely záporne nabitých povrchov interakčných partnerov cytochrómu c alebo myoglobínu sa používali prirodzené a syntetické polyanióny (heparín, polyvinylsulfát, polyglutamát a i.). Tieto modelové systémy uľahčovali štúdium konfor-

mačných stavov štruktúrne podobných vzájomne interagujúcich biomakromolekul. Výsledky prispeli k pochopeniu štruktúrnych vlastností študovaných proteínov v redoxných komplexoch. Zaujímavými objektmi štúdia boli aj termostabilné proteíny, ktoré majú funkčnú štruktúru aj v extrémnych podmienkach ako napríklad vysoká teplota. Jednou z riešených tém bolo hľadanie odpovedí na otázky, ktoré štruktúrne faktory sú zodpovedné za ich termostabilitu.

Okrem experimentálnych metód sa na riešenie projektových úloh využívali aj teoretické prístupy. Jeden z teoretických smerov bol zameraný na matematické modelovanie prenosu elektrónov v rôznych makromolekulárných systémoch (M. Pudlák). K takýmto systémom patria napr. fotosyntetické centrá baktérií. V bakteriálnych fotosyntetických centrách je veľmi vysoká účinnosť premeny slnečnej energie na chemickú. Detailné poznanie fyzikálnych procesov v týchto centrách dáva možnosť zostrojiť veľmi výkonné solárne panely. V rámci projektu „Elektrónový prenos v komplexných systémoch“ bol vypracovaný teoretický

model asymetrických fullerénov, ktorý umožňoval popísať elektrónové spektrá fullerénov a ich vlastnosti pod vplyvom magnetického poľa. Popísané vlastnosti fullerénov je možné využiť v elektronike a pri návrhoch nových typov slnečných kolektorov. Výsledky projektu zameraného na štúdium fullerénov boli v rokoch 2007 a 2009 vybrané za najvýznamnejšie výsledky výskumu na ÚEF.

Ďalším teoretickým smerom oddelenia bola tvorba modelov bunkových membrán so zameraním na fázové prechody v lipidových dvojvrstvách s využitím metód termodynamického modelovania a Monte Carlo simulácií (J. Marek, M. Bánó).

K teoretickým postupom je možné zaradiť aj tvorbu algoritmov na analýzu digitálnych obrazov na aplikácie v rôznych oblastiach biomedicínskeho výskumu (Z. Tomori). Špeciálne úsilie bolo venované oblasti spracovania mikroskopických obrazových dát, ako napr. 3D rekonštrukcii zo série 2D rezov, rýchlych hierarchických algoritmov segmentácie, geometrickým charakteristikám objektov a stereologickým metódam. V rámci projektu „Interaktívne algoritmy segmentácie na báze aktívnych kontúr a ich uplatnenie pri meraní fyzikálnych vlastností biomedicínskych objektov“ (Z. Tomori, E. Demjén) boli vyvíjané algoritmy pre biomedicínske aplikácie. Výsledkom bolo viacero softvérových riešení a publikácií zameraných hlavne na obrazy získané rôznymi typmi mikroskopov (svetelný, elektrónový, konfokálny, atómový silový).

Koncom roka 2005 sa vrátil T. Kožár z dlhodobého pracovného pobytu v Kanade. Hneď po návrate začal na OBF rozbiehať

moderné metódy CADD (Computer-Aided Drug Design) a CAND (Computer-Aided Nano Design). Tieto postupy potrebujú výkonnú výpočtovú techniku a adekvátny softvér. Investičné prostriedky sa získali hlavne z dvoch zdrojov - najskôr z APVV projektu, ktorý sa realizoval v spolupráci s Chemickým ústavom PF UPJŠ a neskôr najmä vďaka projektom Štrukturálnych fondov EÚ. Vzniklo nadštandardné výpočtové pracovisko, ktoré poskytlo možnosť realizovať molekulárno-dynamické simulácie biologických makromolekúl a ich komplexov, medzi inými glykokonjugátov, lektínov, rôznych fytofarmák, zlätých nanočastíc či iných komplexov, ktoré by mohli mať biomedicínsky aplikačný potenciál, najmä z anti-rakovinového hľadiska. Boli napr. študované interakcie dendrimérov, ako potenciálnych nanočastíc vhodných na prenos liečiv s liečivom taxolom, ktoré ukázali, že dendrimér čiastočne „zabali“ taxol. Tento proces prebehol pomerne rýchlo v prvej fáze simulácie. Ďalšia časť výskumu bola zameraná na štúdium jednoduchších modelových lektínov ako dôležitých molekúl v diagnostike a v biomedicínskej praxi. Výsledky poukázali na význam interakcií sacharid-proteín, pričom okrem WGA lektínu boli zdokumentované aj rozdiely v interakčnom profile väzby sacharidu na glycophorin A.

V tom istom roku sa z postdoktorandského pobytu vrátila Z. Gažová, ktorá pracovala v laboratóriu prof. Mandelkova v Inštitúte Maxa Plancka - Pracovisko pre štruktúrnú a molekulárnu biológiu v Hamburgu v Nemecku (2002 – 2005), kde bola priamo zapojená do výskumných projektov zaoberajúcich sa štúdiom amyloidných štruktúr a hľadaním inhibitorov agregácie tau proteínu. Prítom-

nosť amyloidných agregátov v orgánoch a tkanivách je sprievodným javom mnohých tzv. ochorení, tzv. amyloidóz (napr. Alzheimerova, Parkinsonova choroba, systémová amyloidóza, a i.), ktoré sú v súčasnosti nevyliciteľné. Inhibícia tvorby amyloidných agregátov je jedným z potenciálnych terapeutických prístupov. Po návrate pokračovala v štúdiu amyloidnej agregácie na OBF a podarilo sa jej vytvoriť veľmi aktívnu výskumnú skupinu známu vo svetovej vedeckej komunite venujúcej sa agregácii proteínov. Výskumná skupina sa venuje riešeniu otázok mechanizmu amyloidnej agregácie proteínov ako aj identifikácii inhibitorov agregácie na báze malých molekúl a nanočastíc. Dôležitou úlohou je hľadanie vzťahu medzi štruktúrnymi vlastnosťami malých molekúl a ich inhibičnou aktivitou ako aj vysvetlenie anti-amyloidnej aktivity rôzne modifikovaných nanočastíc. Tieto zistenia sú dôležité pre ďalší dizajn potenciálnych liečiv. Získané výsledky boli publikované vo viacerých významných vedeckých časopisoch, prezentované na mnohých medzinárodných konferenciách (FEBS, EBSA) a umožnili získanie domácich a zahraničných projektov (APVV, MAD, SK-MOST Taiwan, VEGA).

Infraštruktúra a vývoj prístrojov

Oddelenie v prvých rokoch po založení malo len obmedzené prístrojové a materiálne zabezpečenie. V tomto období venovali pracovníci oddelenia popri riešení vedeckých problémov nemalú pozornosť aj rozvoju prístrojového a metodologického vybavenia laboratórií. Postupne boli zakúpené prístroje - kalorimeter DASM4 (1985), spektrofotometer Shimadzu (1986), PC IBM XT (1987) a spektrofluorimeter Shimadzu (1988).

Nové prístroje a technológie boli navrhované a realizované aj priamo na OBF. Do tejto kategórie možno zaradiť napríklad metódu merania prenosu iónov cez bunkové membrány (M. Bona, T. Kuchár) alebo zariadenie na meranie povrchového napätia pomocou visiakej kvapky (Z. Tomori, Z. Gažová). K najúspešnejším pracovníkom, ktorí sa zamerali na vývoj a konštrukciu prístrojov, patril M. Bánó. Skonstruoval diferenciálny skenovací dilatometer (1992) na štúdium zmien objemu vo vodných disperziách a roztokoch. Ďalším prístrojom bol hustomer (1994) na meranie hustoty malých množstiev pevných látok, roztokov alebo dispergovaných materiálov, napríklad biologických systémov v kvapalnom prostredí. V roku 2002 bol dokončený vývoj unikátneho zariadenia na súčasné meranie viskozity a hustoty kvapalín. Viskozimeter „ViscoDens“ používa na meranie viskozity špeciálny rotor ponorený do vzorky celým objemom bez kontaktu s meracou skúmavkou. Rotácia skleneného rotora, ktorý obsahuje hliníkový valec, je zabezpečená interakciou magnetického poľa rotujúcich permanentných magnetov a vírivých prúdov generovaných v hliníkovom valci rotora. Princíp ponoreného rotora umožňuje meranie bez chýb, ktoré by vznikali pri kontakte rotora s hranicou vzorky a vzduchom. Výhodou tohto prístroja je nízky objem vzorky a presnosť merania viskozity a hustoty ~0,1%. ViscoDens mal komerčný úspech, zariadenie bolo dodané laboratóriu Technickej Univerzity EPFL v Lausanne vo Švajčiarsku. V roku 2008 bol dokončený vývoj prístroja na meranie povrchovej viskozity na rozhraní kvapalina/vzduch. Je založený na princípe plávajúceho cylindrického rotora pohybujúceho sa pôsobením

elektromagnetickej sily a využíva sa na meranie vlastností povrchových filmov vytvorených biomakromolekulami. Tento rotačný viskozimeter bol ocenený ako najvýznamnejší výsledok v oblasti aplikovaného výskumu na ÚEF v roku 2008.

Významný historický míľnik v rozvoji oddelenia predstavuje rok 2009, v ktorom sa OBF zapojilo do výziev štrukturálnych fondov EÚ určených na zlepšenie infraštruktúry. Počas nasledujúcich 5 rokov boli postupne zakúpené kvalitné prístroje a zavedené nové experimentálne metódy. Zvyšovanie kvality vybavenia laboratórií vrcholí rozsiahlou rekonštrukciou všetkých priestorov na OBF v roku 2013.

K novým zariadeniam na štúdium štruktúry, stability a fyzikálno-chemických vlastností biomakromolekúl patrí CD spekropolarimeter, UV-VIS-NIR spektrofotometer, spektrometer na meranie infračervených a Ramanových spektier (FTIR a FT Raman), multifunkčný absorpčný a fluorescenčný platničkový „reader“, „stop-flow“ spektrofotometer, diferenciálny skenujúci kalorimeter a izotermálny titračný kalorimeter, AFM mikroskop, HPLC, povrchová plazmónová rezonancia (SPR), zariadenie na meranie povrchového napätia a kontaktného uhla. Vzniká nové laserové laboratórium vybavené multifunkčným fluorescenčným mikroskopom s optickou pinzetou



Laboratóriá OBF pred (vľavo hore) a po rekonštrukcii s novým prístrojovým vybavením optická pinzeta, laboratórium na prípravu vzoriek, AFM mikroskop, bunkové laboratórium, spektrofotometer a mikroskop na meranie infračervených a Ramanových spektier.

a zariadením na priamu prípravu mikroskopických 3D štruktúr 2-fotónovou polymerizáciou (3D nanotlačiareň). Súčasťou je aj technika „Pump probe“ na meranie veľmi rýchlych dejov. Zároveň je vybudované laboratórium na prácu s bunkovými kultúrami.

Medzinárodná spolupráca

V rámci projektov financovaných zo štrukturálnych fondov (ŠF) EÚ boli poskytnuté prostriedky aj na edukačné aktivity. Projekty ŠF nám umožnili nielen zúčastniť sa rôznych prestížnych konferencií (EBSA, FEBS, IUBMB a pod.), ale zároveň nám poskytli možnosť pozvať špičkových zahraničných vedeckých pracovníkov na krátkodobé pracovné pobyty na OBF a nadviazať s nimi užšiu spoluprácu. Pozvaní kolegovia nám poskytli neoceniteľné skúsenosti a pomohli zaviesť, resp. zdokonaľiť niektoré metódy. Zmodernizovanie prístrojovej infraštruktúry oddelenia vďaka projektom ŠF sa odzrkadlilo aj na kvalite ako aj kvantite publikačných výstupov. Ďalším pozitívnym dopadom boli možnosti zapojenia sa do medzinárodných projektov v rámci výziev MVTS SAS, MAD a APVV. Prvým projektom OBF bol projekt medzi ÚEF SAV a IP Academia Sinica Taiwan s názvom „Computational approaches to study structure, folding and interactions of biopolymers“ (T. Kožár / Ch.-K. Hu). Na tento projekt neskôr nadviazali aj ďalšie spolupráce s National Taiwan University (Z. Gažová/S.S. Wang), National Cheng-Chi University (K. Šipošová/W. J. Ma) alebo s East China University of Science and Technology, v Šanghaji v Číne (Z. Gažová/R. Wang). Podarilo sa nám začleniť aj

do medzinárodného projektu COST (Z. Gažová) s názvom „Neglobulárne proteíny - od sekvencie ku štruktúre, funkcii a aplikácii v molekulárnej patofyziológii (NGP-net)“ Zapojenie sa do európskeho projektu, ktorý združoval vedcov z 28 krajín, dovolilo intenzívny kontakt s významnými pracoviskami, ktoré sa venujú neglobulárnym proteínom. V rámci európskych pracovísk vznikli bilaterálne projekty s National Research Council v Bologni (Z. Gažová/E. Bystrenová), Univerzitou Carola Davilla v Bukurešti (Z. Gažová/M.-M. Mocanu), alebo Oddelením biomatematiky Fyziologického ústavu AVČR v Prahe (Z. Tomori). Nemenej dôležitou bola aj spolupráca s University of San Diego, USA (Z. Tomori).

Ocenenia

Výsledky práce oddelenia boli oceňované nielen v rámci nášho ústavu. V roku 2007 boli kolegovia M. Antalík, M. Bánó a J. Bágelová spolu s kolegami z OFMJ členmi kolektívu, ktorý získal Cenu SAV za výsledky medzinárodnej vedecko-technickej spolupráce a za súbor prác z oblasti štúdia cieleného transportu liečiv pomocou magnetických nanočastíc. V roku 2007 bol M. Pudlák členom kolektívu ktorý dostal cenu SÚJV v Dubne v oblasti teoretickej fyziky za súbor prác popisujúcich elektrónové vlastnosti karbónových zlúčenín rôznych geometrií. Ocenenie Slovenskej biofyzikálnej spoločnosti pre mladého vedeckého pracovníka do 35 rokov získali K. Šipošová (2014) a Z. Bednárková (2018). Posterové prezentácie a prednášky doktorandov a mladých vedeckých pracovníkov tiež boli niekoľkokrát ocenené na domácich a zahraničných konferenciách. K. Šipo-

šová získala cenu Európskej biofyzikálnej spoločnosti za posterový príspevok na „8th EBSA European Biophysics Congress“ v Budapešti v auguste 2011. Z. Bednárková získala Cenu časopisu Biophysical Journal za najlepší posterový príspevok na konferencii “Polymers and self-assembly: from biology to nanomaterials”, pod záštitou Americkéj biofyzikálnej spoločnosti, ktorá sa konala v októbri 2015 v Rio de Janeiro, Brazília. K. Šipošová získala v roku 2017 cenu Danubius Young Scientist Award, ktorú udeľuje Rakúske federálne ministerstvo školstva, vedy a výskumu v spolupráci s Ústavom pre Dunajský región a Centrálnu Európu za mimoriadne úspechy vo vedeckej činnosti vo vzťahu k Dunajskému regiónu. M. Gančár dostal ocenenie za najlepšiu prednášku na „11th international conference Structure and stability of biomacromolecules“ v roku 2019 v Košiciach.

Kolektív pracovníkov z OFMJ a OBF (A. Antošová, K. Šipošová) pod vedením Z. Gažovej získal v roku 2013 Cenu SAV za významné výsledky dosiahnuté v oblasti štúdia magnetických nanočastíc ako terapeutika amyloidných ochorení. Z. Tomori získal v roku 2014 spolu s kolegami z iných oddelení Cenu SAV za popularizáciu vedy za vývoj 3 interaktívnych exponátov pre vedeckú fabriku „Steel Park“. V roku 2019 získal kolektív pod vedením Z. Gažovej v zložení A. Antošová, Z. Bednárková, D. Fedunová a J. Marek Cenu za vedu a techniku udeľovanú Ministerstvom školstva, vedy, výskumu a športu Slovenskej republiky v kategórii „Vedecko-technický tím roka“ za vedecký príspevok v oblasti amyloidnej agregácie proteínov a identifikovaní látok

vhodných na terapiu ochorení spojených s amyloidnou agregáciou proteínov.

Vedecká výchova

Pracovníci OBF sa podieľali na výchove veľkého množstva bakalárov, diplomantov, aspirantov a doktorandov. Za posledných 5 rokov bolo vychovaných pracovníkmi OBF viac ako 10 doktorandov. Študenti boli školení v externej forme štúdia v spolupráci s Katedrou biochémie, Katedrou biofyziky a Katedrou bunkovej biológie Prírodovedeckej fakulty UPJŠ. Dôležitým medzníkom bolo priznanie práva podieľať sa na uskutočňovaní dennej formy štúdia v rámci doktorandského študijného programu Biofyzika v roku 2016. Garantom štúdia sa stal A. Musatov. V súčasnosti školíme 5 doktorandov v internej forme štúdia.

Organizovanie konferencií

V prvých rokoch svojej existencie zorganizovalo oddelenie úspešné podujatia, Letnú školu biofyziky (1986) a „5th Europhysics Summer School in Chemical Physics: Structure and Conformational Dynamics of Biomacromolecules“ (1990). Účastníkmi konferencie boli prednášatelia z Európy ale aj zo zámorských krajín (USA či Japonsko). Aktívnou účasťou sa zapojili mladí vedci z domova i zo zahraničia, ešte aj z tak ďalekých krajín ako Brazília. V roku 1999 bol pri príležitosti 15. výročia založenia oddelenia zorganizovaný 1. ročník konferencie „Štruktúra a stabilita proteínov SSP99“. Konferencia, ktorá začala ako malý lokálny míting, sa v priebehu nasledujúcich 20 rokov rozvinula do úspešnej medzinárodnej konferen-

cie, známej pod názvom „Structure and Stability of Biomacromolecules, SSB“, logy – NGP-net“ zorganizovaný míting ktorej už 11. ročník bol organizovaný v roku 2019. Konferencia sa koná každé dva roky a ponúka interdisciplinárnu platformu, na ktorej sa stretávajú odborníci z rôznych oblastí akými sú molekulová biofyzika, biochémia, biológia a proteínová chémia. Na konferencii sa pravidelne zúčastňuje 60–80 účastníkov. Doteraz sa konferencie zúčastnili vedci z 20 krajín celého sveta. V roku 2017 bol v rámci COST projektu „Non-globular proteins - from sequence to structure, function and application in molecular physiopathology – NGP-net“ zorganizovaný míting pod vedením Z. Gažovej, na ktorom sa zúčastnilo 80 účastníkov z 27 krajín.

Popularizácia

Záujem masmédií o výskum na OBF sa prejavil už začiatkom 90. rokov vďaka spoločnému projektu USA-Slovakia, o ktorom sa informácia objavila v dennej tlači. Neskôr sa oddelenie prezentovalo v rámci košických dní na Alžbetinej ulici. Odvtedy sa výsledky oddelenia prezen-



Účastníci medzinárodnej konferencie „5th Europhysics Summer School in Chemical Physics: Structure and Conformational Dynamics of Biomacromolecules“, 1990.



Účastníci medzinárodnej konferencie „6th International Conference Structure and Stability of Biomacromolecules SSB2005“.

tujú pravidelne na Noci výskumníkov a široká verejnosť prejavuje skutočne veľký záujem o danú akciu s veľmi pozitívnou odozvou. Z. Tomori sa pravidelne zúčastňoval akcie „Piknik naukowy“, čo je najväčšie „outdoorové“ podujatie v strednej Európe, ktoré popularizuje vedu. Okrem toho vyvinul 3 interaktívne exponáty pre vedeckú fabriku „Steel Park“. Poznatky z oblasti amyloidnej agregácie proteínov sú pravidelne popularizované v rámci popularizačných prednášok pre študentov ako aj počas Dňa otvorených dverí Ústavu experimentálnej fyziky SAV, Festivalov vedy a Noci výskumníkov.

Súčasnosť

V poslednom desaťročí prešlo OBF výrazným vývojom. V súčasnosti pôsobia na oddelení 3 výskumné skupiny. Výskumná skupina Z. Gažovej (v zložení A. Antošová, Z. Bednáriková, D. Fedunová, J. Marek, doktorandi - M. Gančár, B. Spodniaková, V. Vaník) sa venuje štúdiu amyloidnej agregácie proteínov spojenej s amyloidnými ochoreniami, ktoré sú v súčasnosti nevyliciteľné. Cieľom je pochopiť vzťah medzi formovaním nenatívnych konformérov proteínov, ich sklonom k tvorbe morfológicky rozdielnych amyloidných agregátov a ich úlohou v patológii rôznych amyloidných ochorení. Na základe skutočnosti, že inhibícia tvorby amyloidných fibríl môže byť potenciálnym terapeutickým prístupom, sa úsilie venuje hľadaniu nových účinných inhibítorov (malé molekuly, krátke peptidy alebo proteíny, nanočastice). Pre vývoj liečiv je nevyhnutné pochopiť vzťah medzi štruktúrou inhibítorov, ich fyzikálno-chemickými vlastnosťami a ich efektom na amyloidnú agregáciu. V prí-



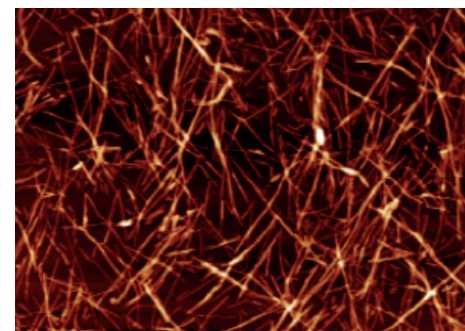
Pracovníci oddelenia na akciách „Noc výskumníkov“ v Optime v Košiciach. Zľava: D. Švarcbergerová, K. Šipošová, Z. Tomori, E. Demjén, T. Kožár, Z. Gažová, Z. Bednáriková, A. Antošová.

pade Alzheimerovej choroby je hľadanie potenciálnych liečiv orientované na tzv. multi-cieľové inhibítory, schopné ovplyvniť viacero cieľových poly/peptidov spojených s týmto ochorením. Výskum je zameraný aj na štúdium potenciálnych nanomateriálov na báze amyloidných fibríl, čo je sprevádzané systematickým štúdiom vplyvu prostredia na tvorbu amyloidných štruktúr a ich morfológiu. Výsledky skupiny patria medzi pravidelne oceňované najlepšie výsledky ÚEF (2010, 2011, 2013, 2015, 2016, 2019).

V roku 2012 sa z dlhodobého pracovného pobytu na University of Texas v San Antoniu, USA vrátil A. Musa-



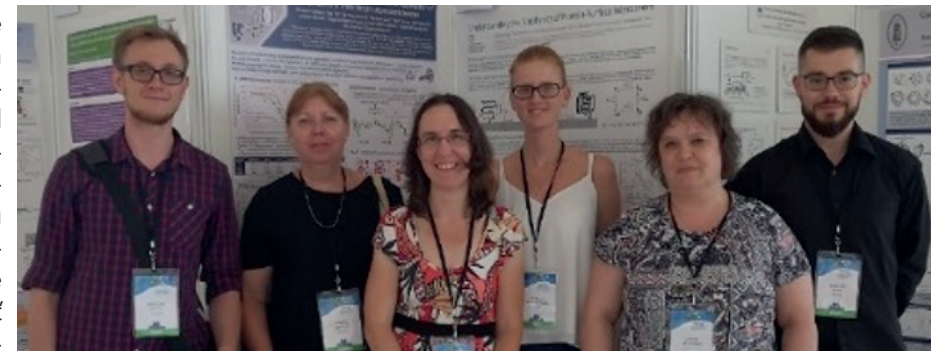
tov. Jeho výskumná skupina (v zložení M. Pudlák, K. Šipošová, E. Valušová, doktorandi - I. Garčárová, R. Súra) sa venuje štúdiu mechanizmov poškodenia jednotlivých zložiek bunky pôsobe-



AFM obrázok fibril lysozýmu.

ním oxidačného stresu. Je všeobecne známe, že nadprodukcia reaktívnych foriem kyslíka vedie k porušeniu normálnej funkcie buniek, ako napríklad zníženie aktivity a poruche vnútrobunkovej komunikácie, ktoré sú sprostredkované interakciami proteínov. Snahou je nielen pochopiť a objasniť pôsobenie oxidačného stresu na jednotlivé bunkové zložky, ale aj identifikovať možné štruktúrne a funkčné dôsledky vplyvu oxidačného stresu. V tomto kontexte sa obzvlášť významnou javí úloha hydrofóbných interakcií. Výskum je zameraný aj na experimentálne a teoretické štúdium interakcií proteínov s fosfolipidmi, fosfolipidovými membránami a modelovými systémami (detergentné micely, lipozómy, bicely a iné). Teoretické štúdium zahŕňa aj matematické modelovanie, ktoré môže významnou mierou napomôcť nielen pri interpretácii experimentálnych výsledkov, ale aj pri výbere účinných chemických zlúčenín pre ďalšiu experimentálnu prácu.

Výskumná skupina Z. Tomoriho (v zložení J. Kubacková, doktorandka V. Kažíková) sa zaoberá mikromanipuláciou s biologickými štruktúrami pomocou optickej pinzety. Výskum je zameraný na transformáciu z mikromanipulácie na mikrorobotiku (nanorobotiku), prechod z kontaktného biomechanického merania na bezkontaktné, kde algoritmy známe z robotiky môžu byť použité na plánovanie trajektórie pohyblivých častíc (napr. vytváranie mikroruky, inteligentné triedenie a automatizované merania). Konkrétnym príkladom aplikácie je meranie viskozity prostredia pomocou pružných mikroštruktúr

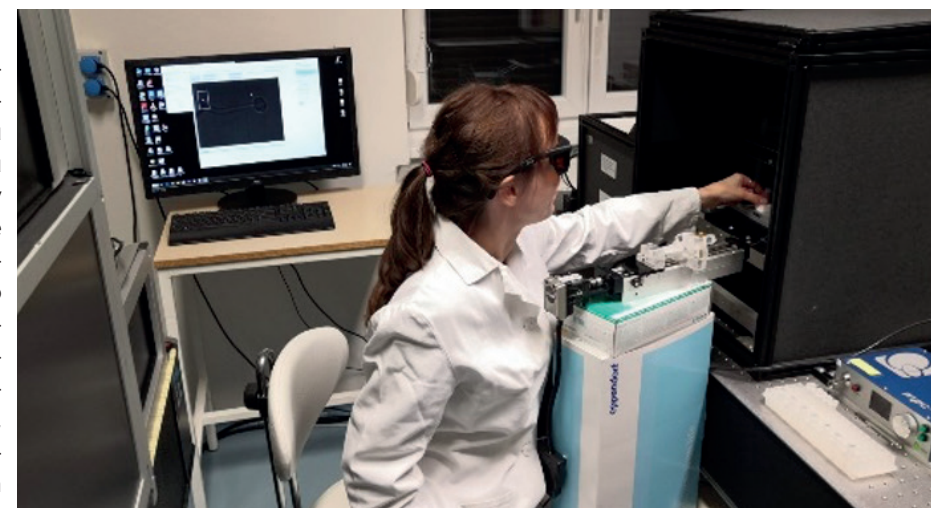


M. Gančár, Z. Gažová, A. Antošová, Z. Bednáriková, D. Fedunová a V. Vaník na EBSA kongrese v Madride, 2019.

vytvorených dvoj-fotónovou polymerizačnou prostredie na OBF dotvára zaciou, ktoré sú opakovane napínané a jú pracovníci I. Hrmo, D. Sedláková, uvoľňované pomocou optickej pinzety. D. Švarcbergerová a M. Ivančáková. Technickú podporu a príjemné pra-

Podakovanie

OBF sa za 36 rokov svojej existencie stalo úspešným a životaschopným útvarom na ÚEF SAV prinášajúcim kvalitné vedecké výsledky, ktoré sú uznávané aj v medzinárodnej vedeckej komunite. Za tento úspech patrí poďakovanie všetkým bývalým a súčasným pracovníkom oddelenia.



J. Kubacková pri vkladani vzorky do optickej pinzety.



vedúci oddelenia:

RNDr. Pavol Farkašovský, DrSc.

Vedeckí pracovníci:

RNDr. Hana Čenčariková, PhD.
prof. RNDr. Michal Hnatič, DrSc.
RNDr. Marián Jurčišin, PhD.
RNDr. Eva Jurčišinová, PhD.
RNDr. Martin Kupka, CSc.
doc. RNDr. Ján Nemčík, CSc.
RNDr. Richard Pinčák, PhD.

Doktorandi:

RNDr. Martin Menkyna
RNDr. Ľubomíra Regeciová

Doterajší vedúci oddelenia:

prof. M. Hnatič, DrSc. (1998 – 2012)
RNDr. J. Nemčík, CSc. (2012 – 2018)

Oddelenie teoretickej fyziky

Jadrom vedeckého zamerania ÚEF SAV už pri jeho vzniku bol a aj v súčasnosti je výskum v oblasti experimentálnej fyziky, čo je odzrkadlené aj v jeho názve. To však nebránilo tomu, aby sa do intenzívne rozvíjajúceho sa fyzikálneho bádania zapojili aj fyzici, ktorí sa zamerali na skúmanie teoretických aspektov fyzikálnych javov.

Kolektív mladých experimentálnych fyzikov podporoval túto snahu a už od druhej polovice sedemdesiatych rokov na ústave začali pracovať teoretickí fyzici. Medzi prvými bol M. Stehlík, ktorý sa zameriaval na výskum kozmického žiarenia na Oddelení kozmickej fyziky. O niečo neskôr, od začiatku osemdesiatych rokov na OFMJ a OFNT postupne pribudli začínajúci mladí teoretickí fyzici P. Kopčanský, O. Hudák, M. Kupka a P. Farkašovský. Bokom nezostalo ani Oddelenie jadrovej a subjadrovej fyziky, kde v roku 1983 začal svoju vedeckú činnosť M. Hnatič a po šiestich rokoch aj J. Nemčík. Začiatkom hektických deväťdesiatych rokov uvedení teoretickí fyzici

už mali na svojom vedeckom konte relevantné fyzikálne výsledky, publikovali v renomovaných vedeckých časopisoch a prirodzeným spôsobom začala vznikáť potreba ich užšieho organizačného a metodického prepojenia. Zrodila sa myšlienka založenia Oddelenia teoretickej fyziky, kde by jeho členovia mohli intenzívnejšie komunikovať prostredníctvom seminárov, ale aj cez osobné diskusie a zároveň lepšie koordinovať svoje vedecké plány, získavanie grantov, pozdvihnúť na vyššiu kvalitatívnu úroveň medzinárodnú spoluprácu vo svojej oblasti. Vytvorila sa iniciatívna skupina teoretikov, ktorá sformulovala list adresovaný Vedeckej rade (VR) ústavu, kde zdôvodnila potrebu založenia OTF, uviedla motivačné argumenty, ciele a rámcovú obsahovú náplň činnosti nového oddelenia, samozrejme, v súlade so základným vedeckým zameraním ústavu uvedeným v jeho organizačnom poriadku. V roku 1995 ho predložila na prerokovanie VR avšak jej vtedajší členovia neboli naklonení myšlienke založenia OTF. Napriek tomu teoretici pokračovali vo svojom úsilí založenia OTF. V ďalšom období už začali pravidelne publikovať

v špičkových medzinárodných časopisoch vrátane Physical Reviews, dosahovali trvalo slušné výsledky uznávané medzinárodnou vedeckou komunitou. Ich výsledky zvyšovali ich vedecké renomé, a toto úsilie ako aj prirodzený proces zblížovania teoretických fyzikov a pribúdanie aspirantov viedli k tomu, že v júni 1998 VR ústavu schválila založenie OTF. Opodstatnenosť takéhoto kroku potvrdila budúcnosť. OTF existuje 22 rokov a patrí trvalo k najlepším oddeleniam ústavu, čo sa týka dosiahnutých scientometrických ukazovateľov, má stabilnú personálnu základňu a pravidelne, hneď od založenia po súčasnosť, vychováva mladú generáciu vedcov. Má právo v rámci doktorandského štúdia školiť doktorandov. Za uvedené obdobie na OTF bolo celkovo obhájených viac ako 10 doktorandov. V súčasnosti má OTF osem členov a dvoch doktorandov. Jeho vedecké aktivity smerujú hlavne do oblasti fyziky kondenzovaných látok, fyziky vysokých energií a výskumu zložitých stochastických systémov klasickej fyziky. Podrobná analýza a dosiahnuté vedecké výsledky teoretického bádania na OTF sú uvedené v ďalšej časti.

Jedným z najväčších bonusov kreovania oddelenia teoretickej fyziky bolo to, že sa vo vzájomnej interakcii jednotlivých členov oddelenia vytvorila živná pôda pre kreovanie nových vedeckých smerov. Medzi najsilnejšie z nich v súčasnosti patrí vedecký smer teoretického štúdia korelovaných spinových a elektrónových systémov, ktorý v osobe garanta prakticky po celé obdobie existencie oddelenia zastrešuje P. Farkašovský a na vedeckej činnosti ktorého participoval celý rad vedeckých pracovníkov (H. Čenčariková, M. Žonda, J. Jurčková, Ľ. Regeciová). V rámci zmieneného vedeckého smeru bola špeciálna pozornosť venovaná popisu kooperatívnych javov v silne korelovaných systémoch pomocou numerických riešení zovšeobecnovaných mriežkových hamiltoniánov Isingovho modelu, Heisenbergovho modelu, modelu Falicova-Kimballa a Hubbardovho modelu, pričom bol dosiahnutý celý rad originálnych výsledkov. Tieto výsledky fundamentálnym spôsobom obohatili naše chápanie fyzikálnych procesov v zložitých multikomponentných systémoch, akými sú napr.

zlúčeniny vzácnych zemín a prechodných kovov, predovšetkým v špecifikácii klúčových mechanizmov, ktoré vedú k stabilizácii itinerantného feromagnetizmu, elektrónovej feroelektricity, nehomogénneho nábojového a spinového usporiadania, valenčných prechodov a prechodov kov-izolátor v silne korelovaných systémoch. Vďaka týmto výsledkom sa vedecký smer teoretického štúdia silne korelovaných systémov etabloval na Ústave experimentálnej fyziky SAV ako jeden zo základných výskumných smerov s veľkou reputáciou na Slovensku ako aj v zahraničí. Získané vedecké výsledky boli publikované v 90 CC publikáciách, pričom vo väčšine prípadov ide o príspevky v najrenomovanejších fyzikálnych časopisoch z danej vednej oblasti (Physical Review B, European Physical Journal B, Journal of Physics: Condensed Matter) a tiež v niekoľkých monografiách (P. Farkašovský, H. Čenčariková: Cooperative Phenomena in Strongly Correlated Systems, Lambert Academic Publishing, 2011, ISBN: 978-3-846 5-0611-0; P. Farkašovský, H. Čenčariková: Kooperatívne javy

v sústavách silne korelovaných fermiónov, SFS, 2011, ISBN 978-80-970625-2-1; P. Farkašovský, H. Čenčariková: Kvantové javy na optických mriežkach v Kryofyzika a nanoelektromika, ÚEF SAV, 2011, ISBN 978-80-968060-9-6). O kvalite dosiahnutých výsledkov svedčí aj pomerne vysoký citačný ohlas (cca 500 citácií) na publikované práce.

Časť výskumu realizovaná na OTF v oblasti korelovaných spinovo-elektrónových systémov sa sústreďuje na štúdium nekonvenčných javov pomocou exaktných postupov aplikovaných na nízkorozmerné mriežkovo-štatistické modely, ktorému sa venuje H. Čenčariková. Hlavný dôraz sa kladie na analýzu fázových prechodov indukovaných rôznymi vonkajšími parametrami ako teplota, elektrické alebo magnetické pole, či chemické dopovanie. Ukazuje sa, že práve význačné zmeny energie na fázových hraniciach, vyvolané súperením efektov pochádzajúcich z dvoch rôznych podsystemov (spinového a elektrónového), sa odzrkadľujú v netriviálnych makroskopických prejavoch spomínaných materiálov.

Z najzaujímavejších výsledkov, ktoré boli pri tomto štúdiu dosiahnuté možno spomenúť popísanie javu známeho ako re-entrnantný magnetický prechod [J. Strečka, H. Čenčariková, M. Lyra, Phys. Lett. A 379 (2015) 2915; H. Čenčariková, J. Strečka, J. Lyra, JMMM 401 (2016) 1106; H. Čenčariková, J. Strečka, A. Gendiar, JMMM 452 (2018) 512; H. Čenčariková, J. Strečka, Phys. Rev. E 98 (2018) 062129; H. Čenčariková, J. Strečka, A. Gendiar, Physica E 115 (2020) 113717], teda prechod, pri ktorom sa môže magnetický systém vrátiť do (takmer) identického magnetického stavu prechodom cez iný (ne)usporiadaný stav. Iným zaujímavým zistením košickej skupiny bolo, že kooperatívne javy v nízkorozmerných spinovo-elektrónových systémoch v dôsledku teplotných fluktuácií a nenulového magnetického poľa vedú k vzniku usporiadanej antiferomagnetickkej fázy v oblastiach s potlačeným spontánnym magnetizmom. Ako dôsledok tohto javu dochádza k posunu perkolačného prahu, kedy počet delokalizovaných častíc klesne približne o 5 %. Súbežne s tým bolo ukázané, že externé magnetické pole môže za istých podmienok v nízkorozmerných spinovo-elektrónových systémoch generovať tzv. magnetické zdrže v magnetizačnej krivke analyzovaného systému, ktorých počet ako aj normalizovaná hodnota môžu byť rôzne [H. Čenčariková, J. Strečka, A. Gendiar, JMMM 452 (2018) 512]. Najaktuálnejšou oblasťou výskumu tejto skupiny je štúdium súčasného fenoménu, známeho ako magnetoelektrický jav, teda vlastnosť materiálu, kedy jeho elektrické (magnetické) vlastnosti môžu byť menené variáciou magnetického (elektrického) poľa [H. Čenčariková, J. Strečka, Phys. Rev.

E 98 (2018) 062129; H. Čenčariková, J. Strečka, A. Gendiar, Physica E 115 (2020) 113717; H. Čenčariková, J. Strečka, Phys. Lett. A 383 (2019) 125957]. V rámci tejto analýzy bola exaktnou procedúrou dokázaná prítomnosť výraznej magnetoelektrickej väzby v okolí spojitého fázového prechodu v relatívne jednoduchom dvojrozmernom spinovo-elektrónovom modeli, kedy spontánna magnetizácia zaniká spojitě, zatiaľ čo elektrická polarizácia vykazuje ľahký typ singularity [H. Čenčariková, J. Strečka, Phys. Rev. E 98 (2018) 062129]. Zároveň bolo ukázané, že intenzita magnetoelektrickej väzby môže meniť svoju amplitúdu v závislosti od uhla aplikovaného elektrického poľa, čo vedie k vzniku zaujímavého rotačného magnetoelektrického javu [H. Čenčariková, J. Strečka, Phys. Lett. A 383 (2019) 125957].

Jednou z nosných problematik, ktorou sa Oddelenie teoretickej fyziky zaoberá (M. Dančo, M. Hnatič, M. Jurčišin, E. Jurčišinová, M. Menkyna, R. Remecný, M. Stehlík) je štúdium univerzálnych vlastností a procesov prebiehajúcich v stochastických a turbulentných prostrediach metódami kvantovej teórie poľa. V tejto súvislosti pozornosť bola (a stále je) sústredená na štúdium štatistických vlastností samotných, úplne rozvinutých turbulentných prostredí, ako aj na štúdium univerzálnych vlastností difúzných procesov v takýchto prostrediach. Ako je známe, rôzne turbulentné prostredia sa vyznačujú existenciou univerzálnych škálovacích zákonitostí spojených s existenciou zodpovedajúcich škálovacích režimov (napríklad tzv. Kolmogorove škálovanie v turbulentnej hydrodynamike). Úlohou teórie je opísať tieto experi-

mentálne pozorované škálovacie režimy dobre definovanými modelmi na báze fundamentálnych mikroskopických zákonitostí platných v kvapalinách a plynch. V rámci teoreticko-poľového prístupu v teórii úplne rozvinutej turbulencie sú možné škálovacie režimy riadené pevnými bodmi určitých špeciálnych diferenciálnych rovníc (tzv. rovníc renormalizačnej grupy). Okrem toho, úlohou teórie je aj vysvetliť na báze fundamentálnych princípov existenciu experimentálne pozorovaných odklonov od predpovedí klasickej fenomenologickej teórie turbulentných prostredí známej pod názvom anomálne škálovanie. V tejto súvislosti boli pracovníkmi oddelenia študované vplyvy rôznych narušení symetrie turbulentných prostredí (stlačiteľnosť, narušenie zrkadlovej symetrie, anizotropia) na platnosť a stabilitu zodpovedajúcich škálovacích režimov ako aj na vlastnosti anomálneho škálovania korelačných funkcií pasívnych prímiesových polí (skalárnych a vektorových) v turbulentných prostrediach so zadanou štatistikou rýchlostného poľa. Napríklad bolo ukázané, v súlade s experimentálnymi pozorovaniami, že samotná vnútorná štruktúra prímiesového poľa netriviálnym spôsobom vplyva na veľkosť anomálneho škálovania rôznych korelačných funkcií prímiesových polí. Okrem toho sa v súčasnosti záujem oddelenia sústreďuje aj na teoretický výskum vplyvu turbulentných prostredí na perkolačné, chemické a anihilačné procesy (M. Hnatič). Výsledky získané v tejto oblasti výskumu boli publikované v renomovaných vedeckých periodikách ako sú Physical Review E, Journal of Physics A, European Physical Journal B a ďalších. M. Stehlík sa tiež dlhodobo zaoberal výskumom transportných pro-

cesov a akcelerácie elektricky nabitých častíc v kozmickom žiarení. Jedným zo zaujímavých výsledkov získaných v rámci medzinárodnej spolupráce M. Stehlíka s pracovníkmi Hlavného astronomického observatória Ukrajinskej akadémie vied v Kyjeve je napríklad teoretické štúdium a pochopenie modulácie intenzity galaktického kozmického žiarenia vo vonkajšej heliosfére založené na údajoch získaných sondami Voyager 1 a 2.

V ostatnom desaťročí sa vedecký výskum na oddelení (M. Jurčišin, E. Jurčišinová) sústreďuje aj na teoretické štúdium fundamentálnych vlastností frustrovaných magnetických systémov v rámci presne riešiteľných spinových modelov klasickej štatistickej mechaniky. V tejto súvislosti bolo ukázané, že na opis a pochopenie základných vlastností frustrovaných magnetických systémov (napríklad existencia diskretného spektra základných stavov, formovanie magnetických zdrží pri nízkych teplotách, existencia vysoko makroskopicky degenerovaných základných stavov alebo existencia anomálneho viac-pikového správania sa mernej tepelnej kapacity pri nízkych teplotách) sú vhodné exaktne riešiteľné modely na zodpovedajúcich rekurzívnych mriežkach, ktoré berú do úvahy základnú geometrickú štruktúru reálnych dvoj a trojrozmerných mriežok zodpovednú za frustráciu. Spomedzi mnohých výsledkov je v tejto súvislosti určite potrebné spomenúť netriviálny výsledok, ktorý hovorí o existencii priameho vzťahu medzi počtom pikov v nízkoteplotnom správaní sa mernej tepelnej kapacity a reziduálno-entropickou hierarchiou susedných základných stavov rôznych rádov. Okrem toho bolo tiež ukázané, že tieto modely

sú veľmi efektívne pre opis a analýzu efektívnosti intenzívne experimentálne študovaných procesov adiabatického (de)magnetizačného chladenia. Vedecké výsledky tohto výskumu boli publikované v renomovaných vedeckých časopisoch ako sú Physical Review E, Physica A, Physics Letters A, Journal of Statistical Mechanics a Journal of Statistical Physics.

Teoretickým štúdiom transportu elektrického náboja v systémoch normálny kov - mikrokontakt - supravodič a normálny kov - izolátor - supravodič sa dlhodobo zaoberá M. Kupka. Medzi oblasti záujmu M. Kupku patrí tiež teoretické štúdium excitácií v systéme tvorenom doménou s homogénne precesujúcou magnetizáciou a doménou so statickou magnetizáciou v supratakutej B-fáze ^3He , ako aj teoretické štúdium elektrochemických procesov na rozhraní medzi aktívnou (nie inertnou) heterogénnou elektródou a elektrolytom. Výsledky práce M. Kupku boli publikované vo významných vedeckých periodikách, takých ako Physical Review Letters a Physical Review B. Začiatky vedeckého smeru zameraného na interpretáciu hlavne jadrových efektov pri produkcii rôznych častíc v procesoch na jadrových terčikoch pri vysokých energiách spadajú ešte do roku 1986 a sú spojené s príchodom J. Nemčíka na oddelenie fyziky vysokých energií. V rámci jeho pôsobenia na danom oddelení dochádza k postupnému rozvoju fenomenológie vo fyzike vysokých energií na ÚEF SAV v Košiciach, hlavne v spojitosti so skúmaním fyzikálnych javov v experimentoch, do ktorých boli zapojení pracovníci oddelenia vysokých energií, neskôr premenovaného na Oddelenie subjadrovej fyziky (OSF). V tom

čase šlo hlavne o spracovanie a analýzu experimentálnych údajov z bublinových komôr umiestnených v SÚJV Dubna a v Ústave fyziky vysokých energií v Serpuchove (Ruská federácia) – participácia na experimente HYPERON. J. Nemčík prispel k interpretácii výsledkov procesu produkcie eta-mezónu v interakciách hadrónov s rôznymi atómovými jadrami.

V 90. rokoch minulého storočia, až do vytvorenia Oddelenia teoretickej fyziky (OTF) na ÚEF v roku 1999, sa J. Nemčík, ako pracovník OSF, podieľal na fenomenologickej analýze výsledkov dosiahnutých na experimente H1 študujúcom zrážky protibežných zväzkov elektrónov, resp. pozitronov s protónmi pri energii 300 GeV. Do analýzy experimentálnych údajov bolo OSF zapojené za základe zmluvy o spolupráci medzi ÚEF SAV a DESY Hamburg v Nemecku, podpísanej už v roku 1987. Od roku 1999 J. Nemčík, ako pracovník OTF, prispieva zásadným spôsobom k rozvoju vedeckého smeru na ÚEF, zameraného na štúdium rôznych efektov pozorovaných v interakciách na jadrových terčikoch. Dané štúdium pokrýva širokú oblasť procesov analyzovaných rôznymi experimentálnymi skupinami na urýchľovačoch DESY, RHIC, FNAL, LHC, ako napr. ZEUS, H1, HERMES, STAR, PHENIX, CDF, D0, ATLAS, ALICE, LHCb, atď. Ide hlavne o teoretickú interpretáciu nasledovných efektov: efekty kvantovej koherencie v hlboko-nepružnom rozpyle na jadrových terčikoch, v difrakčnej koherentnej a nekoherentnej elektroprodukcii vektorových mezónov, v produkcii Drell-Yanovských párov a priamych fotónov, atď.; efekty farebnej priezračnosti v produkcii vektorových mezónov, v produkcii ľah-

kých hadrónov v protón-jadrových interakciách, ako aj v zrážkach ťažkých iónov, v produkcii ťažkých kvarkonií, v produkcii mezonov ťažkých vôní, atď.; efekty kvarkového a gluónového tienenia v rôznych procesoch na jadrových terčikoch; Croninov efekt hlavne v produkcii rôznych hadrónov, leptónových párov a priamych fotónov v protón-jadrových interakciách; prejav efektov spojených s

energetickými stratami partónov vo vákuu, ako aj indukovaných jadrovým médiom na jadrové potlačenie v produkcii ľahkých hadrónov, ťažkých kvarkonií, ako aj mezonov ťažkých vôní na jadrových terčikoch; efekty efektívnych energetických strát partónov v počiatočnom štádiu interakcie ešte pred tvrdou zrážkou spôsobujúce narušenie kvantovo-chromodynamickej faktorizácie; prejav efek-

tov tzv. jadrového rozšírenia v rôznych procesoch umožňujúci získať dôležité informácie o prejavoch a vlastnostiach horúcej a hustej matérie vytvorenej v zrážkach ťažkých iónov, ktoré sú v súčasnosti intenzívne študované experimentami na urýchľovačoch RHIC a LHC. Široké spektrum týchto riešených fyzikálnych tém podporilo aj rozvoj medzinárodnej spolupráce J. Nemčíka so zahraničnými

pracoviskami, ako napr. USM, Valparaiso Chile; MPI Heidelberg, Nemecko; INFN Torino, Taliansko; Univerzita v Lunde, Švédsko; ČVÚT v Prahe, Česká republika atď.

Teoretickému výskumu fotosyntézy, konkrétne štúdiu bakteriálnych reakčných centier, ktoré premieňajú svetelnú energiu na energiu chemickú, sa na našom oddelení intenzívne venovali R. Pinčák

a M. Pudlák. Teoreticky bola opísaná absorpcia fotónu a následne vytvorenie excitónu a jeho transport reakčným centrom. Ich záujem sa tiež sústredil na teoretické štúdium dvojdimenzionálnych systémov ako sú karbonové nanočastice, kde boli opísané elektrónové vlastnosti fullerénov, konusov a tiež nanorúrok. Richard Pinčák sa tiež intenzívne venuje algebraickému opisu štruktúry DNA ako

aj teoretickému štúdiu stochastických procesov na finančných a akciových trhoch. V súčasnom období sa venuje aj moderným kozmologickým modelom vzniku vesmíru ako aj vývoju novej strukturnej teórie s názvom G-teória.



vedúci oddelenia:

RNDr. Marián Sedlák, DrSc.

Vedeckí pracovníci:

Mgr. Dmytro Rak, PhD.

Odborní pracovníci:

Mgr. Michaela Ovadová

Oddelenie experimentálnej chemickej fyziky

Experimentálna chemická fyzika sa začala rozvíjať v ÚEF SAV od roku 1985 príchodom M. Sedláka, spočiatku ako jeden z vedeckých smerov v rámci Oddelenia biofyziky, neskôr (od roku 2008) v rámci Laboratória experimentálnej chemickej fyziky ako organizačného útvaru ÚEF SAV. V roku 2020 bolo LEChF premenované na Oddelenie experimentálnej chemickej fyziky.

Rozvoj experimentálnej chemickej fyziky v ústave je možné charakterizovať doslova ako proces „z bodu nula“, nakoľko v čase vzniku prvých aktivít v tejto oblasti (polovica osemdesiatych rokov), nemal výskum v oblas-

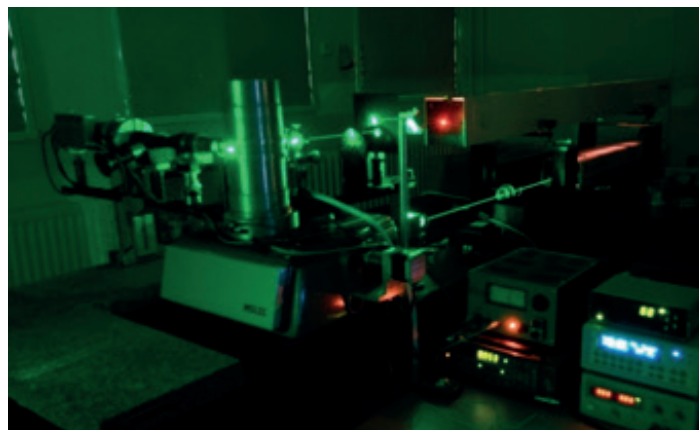
ti experimentálnej chemickej fyziky a príbuzných fyzikálnych smerov prakticky žiadnu tradíciu na ústave ba ani na Slovensku. Orientácia bola spočiatku na makromolekulárnu fyziku a metodicky na metódy statického a dynamického laserového rozptylu. Obzvlášť dynamický rozptyl (fotónová korelačná spektroskopia) predstavovala v tej dobe relatívne novú a progresívnu metódu. Vzhľadom na veľmi obmedzené finančné možnosti v devízovej oblasti vo vtedajšom Československu a limitované zdroje nášho ústavu bolo však úplne nereálne zaobstarať experimentálne vybavenie pre fotónovú korelačnú spektroskopiu „na kľúč“. Preto vznikla myšlienka zakúpiť nevyhnutné

komponenty (detektor s elektronikou a korelátorom) a postaviť/skonštruovať opticko-mechanickú časť vrátane masívnych antivibračných optických stolov svojpomocne. Toto sa úspešne podarilo a následne završilo zakúpením 4W argónového plynového lasera ako kvalitného zdroja monochromatického koherentného svetla s diskretné meniteľnou vlnovou dĺžkou, z prostriedkov projektu „Polyelectrolyte structure and dynamics“ v rámci Slovensko-amerického vedecko-technického programu (1994). Spektrometer na statický a dynamický rozptyl svetla nadobudol parametre porovnateľné s komerčnými riešeniami na kľúč od renomovaných dodávateľov a je

„v činnnej službe“ do dnešnej doby - slúži stále ako základná metodika v LEChF. Nad rámec možností komerčných zariadení bol spektrometer vybavený hardvérom a softvérom na mieru pre zber a spracovanie dát statického rozptylu svetla, na vývoji ktorého sa podieľal predovšetkým Ing. P. Nagy. Paralelne s konštrukciou a vývojom spektrometra, ktorý trval niekoľko rokov než bol reálne použiteľný, sa výskumné aktivity realizovali v rámci externej ašpirantúry M. Sedláka v Ústave makromolekulárnej chémie ČSAV v Prahe (školitelia Dr. Č. Koňák a Dr. P. Štěpánek). Tieto aktivity boli koncentrované na skúmanie statických štruktúrnych vlastností a dynamiky ióno-



Z archívnych fotografií - M. Sedlák: experimentálne začiatky, r. 1987 (vľavo) a prednáška na The Chinese University of Hong Kong, r. 1996 (vpravo).



Dominantnými experimentálnymi technikami v rámci OEChF sú metódy založené na laserových rozptyloch.

vých polymérov (polyelektrolytov) vo vodných roztokoch pomocou statického a dynamického rozptylu svetla. Na tento účel boli použité poly(karboxylové kyseliny), menovite poly(akrylová kyselina) a poly(metakrylová kyselina), u ktorých je možné plynulo meniť stupeň ionizácie, parameter, ktorý sa ukazoval ako kľúčový. Neskôr (počas postdoktorandského pobytu M. Sedláka na University of Southern California, Los Angeles, 1990 – 1991, a následne v rámci grantu od NSF USA, 1993 – 1994) boli realizované experimenty na sodných soliach poly(styrénsulfonátu). Tento polymér má fixovanú plnú ionizáciu, výhodou je ale dostupnosť veľmi dobre definovaných polymérnych štandardov vo veľmi širokom rozmedzí molekulových hmotností s úzkymi distribúciami. Ukázalo sa, že statické a dynamické chovanie iónových polymérov má univerzálne charakteristiky dané fyzikálnymi interakciami, predovšetkým ďalekodosahovými elektrostatickými interakciami a je takmer nezávislé na konkrétnom chemickom zložení polyméru. Podobné črty cho-

vania boli zistené inými výskumnými skupinami aj u iónových polymérov biologického pôvodu (proteíny, nukleové kyseliny, iónové polysacharidy). Výstupy výskumu zameraného na skúmanie chovania polyelektrolytov v roztoku rozptylovými metódami mali dve roviny. Jedna rovina sa týkala získavania informácií o vlastnostiach a správaní samotných polyelektrolytov. Druhá rovina sa týkala rozpracovávaní metodík statického a dynamického rozptylu svetla. Šlo o to, že v danom čase boli tieto rozptyly dobre etablovanými metódami v rutinnej charakterizácii neutrálnych polymérov v akademickom i priemyselnom prostredí. Náš výskum ukázal, že v prípade iónových polymérov vstupuje do hry mnoho interakčných efektov, ktoré je potrebné detailne poznať, aby sa tieto metódy dali zmysluplne použiť na rutinnú charakterizáciu polymérov a aby interpretácia meraní bola korektná. Výsledkom aktivít realizovaných v 90. rokoch boli pozvané prednášky na konferenciách v Kanade, USA, Japonsku, Nemecku, Francúzsku a tiež kapitoly v knižných

publikáciách renomovaných vydavateľstiev [M. Sedlák: Polyelectrolytes in solution, v „Static Light Scattering. Principles and Development“ (W. Brown ed.), Clarendon (Oxford University Press), 1996; M. Sedlák: Structure and dynamics of polyelectrolyte solutions by light scattering, v „Physical Chemistry of Polyelectrolytes“ (T. Radeva ed.), Marcel Dekker, New York, 2001]. Bolo popísaných niekoľko dynamických módov, ktoré sa objavujú v rozptylovom signáli získanom z roztokov polyelektrolytov, od viazanej difúzie malých iónov (protiiónov a koiónov), cez viazanú difúziu polyiónov a protiiónov ovplyvnenú kondenzáciou protiiónov, interakčné módy v zmesiach polyelektrolytov až po typický, veľmi pomalý difúzny mód [sumarizované v prehľadovej publikácii M. Sedlák: What can be seen by static and dynamic light scattering in polyelectrolyte solutions and mixtures?, Langmuir 15 (1999), 4045-4051]. Dominantnou témou výskumu bol vyššie spomínaný veľmi pomalý difúzny mód, ktorý sa objavoval v roztokoch

prakticky všetkých polyelektrolytov (syntetického i biologického pôvodu), ale jeho pôvod a podstata boli úplne nejasné. Bolo zistené, že ide o pomalý pohyb objektov rádovo väčších ako polymérne reťazce, pravdepodobne asociátov (agregátov, klastrov), ale dôvod asociácie silno nabitých reťazcov s nábojmi rovnakého znamienka, ktoré by sa mali naopak odpudzovať bol dilemou [M. Sedlák: The ionic strength dependence of the structure and dynamics of polyelectrolyte solutions as seen by light scattering: The slow mode dilemma, J. Chem. Phys. 105 (1996), 10123-10133]. V literatúre sa objavilo niekoľko teórií a hypotéz, ktoré vysvetľovali možný pôvod takejto asociácie, ďalšie experimentálne práce z nášho laboratória však ukázali, že ide o nerovnovážne javy, s čím žiadna teória nepočítala. K tejto problematike sme sa vrátili neskôr.

Medzitým sme sa snažili o vylepšenie infraštruktúry laboratória, a tak v ére pred príchodom Štrukturálnych fondov EÚ pribudli k spektrometru na statický a dynamický laserový rozptyl ďalšie zariadenia zaobstarané z individuálnych projektových aktivít v súťažnom prostredí. Šlo najmä o počítačovo riadenú centrifúgu zaobstaranú z grantu od Komisie Európskych Spoločenstiev v rámci programu PECO (CIPD-CT94-0116), zariadenie na elektroforetický rozptyl resp. meranie zeta potenciálov (APVV 51-037905), diferenciálny refraktometer (APVV 51-037905), osmometer na princípe tlaku pár (grant 2/8001/22 udelený Predsedníctvom SAV v rámci Programu podpory excelentných projektov {osobností v SAV}), a membránový

osmometer (svojpomocne zrepasovaný kus získaný darom v nefunkčnom stave). Na tomto mieste je potrebné vysloviť podakovanie technickým pracovníkom, laborantkám G. El'kovej a E. Gyöngyösiovej, za množstvo kvalitne odvedenej laboratórnej práce.

Výskumné aktivity v ďalšom období boli smerované na využitie znalostí získaných zo základného výskumu na iónových polyméroch na tvorbu nanočastíc stabilných (dispergovateľných) vo vodnom prostredí, kde základnými stavebnými jednotkami sú reťazce iónových polymérov. V spolupráci s Dr. Č. Koňákom z Ústavu makromolekulárnej chémie AV ČR sa nám podarilo vytvoriť novú originálnu metódu prípravy nanočastíc z homopolymérov jedného typu na základe mechanizmu súhry hydrofóbných, elektrostatických interakcií a vodíkových väzieb, ktorá bola patentovaná [ÚPV SR, patenty č. 287951 a č. 288071, majiteľ patentov ÚEF SAV] a následne publikovaná v dvoch prácach v prestížnom časopise Macromolecules (indexovanom v Nature Index po vzniku tohto indexu). Paralelne s aplikačne orientovaným výskumom sme pokračovali aj v základnom výskume, v téme spontánne sa vyskytujúcich nadmolekulárnych štruktúr vyskytujúcich sa v polymérnych roztokoch. Na základe veľmi slabej závislosti nadmolekulárnych štruktúr na molekulovej hmotnosti polyméru vznikla idea preskúmať aj oligoméry a monoméry. Veľkým prekvapením bolo zistenie, že nadmolekulárne štruktúry sa vyskytujú aj v prípade roztokov monomérov. Následne bol podrobne zmapovaný výskyt nadmolekulárnych štruktúr v celých triedach bežných nízkomolekulárnych látok a kombináciách s rôznymi rozpúšťadlami.

Tieto štruktúry označujeme tiež ako „mezoškálové štruktúry“, teda štruktúry tvoriace sa na škále medzi molekulárnou škálou (rádovo angströmy alebo jednotky nanometrov) a makroskopickou škálou. V mnohých prípadoch bolo možné aj sledovať kinetiku tvorby takýchto štruktúr. Trilógia prác na túto tému bola publikovaná v r. 2006 [M. Sedlák, J. Phys. Chem. B, 110 (9), 4329-4338, 4339-4345, a 13976-13984] a v dnešnej dobe má vyše 230 SCI citácií a vyše 350 citácií podľa Google Scholar. V otázke rozlíšenia pôvodu a presného mechanizmu vzniku mezoškálových štruktúr však výskum pokračoval a pokračuje do dnešných dní. Ukazuje sa, že ide o dva typy mezoškálových štruktúr, dva javy, ktoré môžu paralelne existovať v roztokoch a zmesiach. Prvý typ je charakteristický pre pravé binárne zmesi (jedna rozpustená látka plus rozpúšťadlo), druhý pre multikomponentové zmesi. Zatiaľ čo prvý typ je v súčasnosti predmetom skúmania, druhý typ bol detailne preskúmaný. V reálnom výskume, priemyselnej praxi i každodennom živote aj binárne zmesi sú v skutočnosti multikomponentové zmesi, keďže skutočne čisté chemické látky sa používajú veľmi výnimočne. V takýchto reálnych zmesiach dochádza k javu tzv. mezoškálovej rozpustnosti, čo znamená, že látky molekulárne nerozpustné sa homogénne distribuujú v celom objeme systému vo forme nanočastíc/nanokvapiiek. Sumárny článok o tomto jave bol nedávno publikovaný v časopise J. Phys. Chem. B, kde bol vybraný na obálku časopisu [D. Rak, M. Sedlák: On the Mesoscale Solubility in Liquid Solutions and Mixtures, J. Phys. Chem. B 123, 1365-1374, 2019]. Na výskume v tejto oblasti sa výrazne

podieľal D. Rak, u ktorého tieto výsledky tvorili kosť jeho PhD. práce. Pred publikovaním týchto výsledkov bolo podaných niekoľko patentových prihlášok (3x patentová prihláška na ÚPV SR, medzinárodná PCT prihláška a dve európske patentové prihlášky) týkajúcich sa využitia javu mezoškálovej rozpustnosti (nanosegregácie) na skrínig (jednoduché a lacné monitorovanie) prítomnosti hydrofóbných kontaminantov v chemických látkach a na čistenie látok od hydrofóbných kontaminantov do vysokých stupňov čistoty. Jedna z prihlášok bola už akceptovaná [ÚPV SR, patent č. 288560,

pôvodcovia M. Sedlák, D. Rak, majiteľ patentu ÚEF SAV]. V súvislosti s mezoškálovou rozpustnosťou sme skúmali tiež prípad plynov, teda otázku (ne) možnosti existencie nanobublín, čo je zaujímavý problém základného výskumu i rôznych aplikácií. Výsledky boli publikované v časopise The Journal of Physical Chemistry Letters, indexovanom v Nature Index [D. Rak, M. Ovařová, M. Sedlák J. Phys. Chem. Lett. 10, 4215-4221, 2019].

V priebehu rokov 2009 – 2015 v rámci prvého programovacieho obdobia Štrukturálnych fondov EÚ sa LEChF zapojilo do niekoľkých projektov ve-

dúcich k vylepšeniu infraštruktúry laboratória, menovite pribudol prietokový fotometer laserového rozptylu so separáciou systémom AF4 (frakcionácia tokom v asymetrickom tokovom poli), zariadenie NTA (meranie početnosti a veľkostných distribúcií nanočastíc pomocou ultramikroskopie a videoanalýzy difúzneho pohybu), fluorimeter a FTIR spektrometer. V súčasnosti je oddelenie vybavené na vysokej úrovni v oblasti polymérneho a nanočasticového výskumu, vrátane unikátnej metódy na meranie hustoty nanoobjektov v prípade ich veľmi nízkych a neznámych koncentrácií na

báze inkrementálnej centrifugácie spojenej s rozptylom svetla. V súčasnosti evidujeme okolo 1500 citácií podľa databáz SCI a Scopus a okolo 2000 citácií podľa Google Scholar.

Podakovanie

Za vznik a rozvoj experimentálnej chemickej fyziky na pôde ÚEF SAV patrí osobitné podakovanie: Č. Koňákovi, P. Štěpánkovi, K. Kudelovi a K. Flachbartovi.



Pracovníci OEChF (zľava: M. Sedlák, D. Rak).

Vedeckí pracovníci:

Mgr. Vitaliy Antal, PhD.
RNDr. Jozef Bednarčík, PhD.
Ing. Petra Hajdová, PhD.
RNDr. Viktor Kavečanský, CSc.
Mgr. Veronika Kuchárová, PhD.
doc. RNDr. Ondrej Milkovič, PhD.
Ing. Monika Radušovská, PhD.
Ing. Liudmila Vojtková, PhD.
Mgr. Daniela Volochová, PhD.
Ing. Katarína Zmorayová, PhD.

Doktorandi:

MSc. Limpat Nulandaya



vedúci oddelenia:
Ing. Pavel Diko, DrSc.

Oddelenie materiálovej fyziky

Rozhodnutím riaditeľa Ústavu experimentálnej fyziky Doc. K. Flachbarta boli 1. 1. 2008 vytvorené tri samostatné vedecké útvary: Laboratórium materiálovej fyziky (LMF), Laboratórium nano-materiálov a aplikovaného magnetizmu (LNM) a Laboratórium experimentálnej chemickej fyziky (LEChF). Na čele týchto nových útva-

rov stáli výrazné vedecké osobnosti, mali definovaný vedecký program podporený domácimi a medzinárodnými projektmi a odpovedajúce experimentálne vybavenie. Novovzniknuté LMF viedol P. Diko a jeho členovia boli M. Kaňuchová, K. Zmorayová, M. Šefčíková a P. Kulík a dvaja doktorandi V. Antal (doktorand EÚ v rámci projektu NESPA), D. Vo-

lochová. Vznik LMF bol podmienený najmä vynikajúcimi vedeckými výsledkami dosahovanými v oblasti výskumu masívnych monokryštalických supravodičov.

P. Diko so spolupracovníkmi (J. Miškuf, V. Kavečanský, J. Kováč, V. Ocelík, K. Csach) sa pred objavením vysokoteplotných supravodičov zaoberal vý-

skumom Sm-Co intermetalických zlúčenín a permanentných magnetov na báze týchto zlúčenín (Cena SAV 1980) a neskoršie výskumom deformácie a lomu kovových skiel (Cena SAV 1985) v rámci Oddelenia fyziky kovov, ktoré viedol prof. V. Karel. Krátko po objave vysokoteplotnej supravodivosti v roku 1986 sa časť Oddelenia fyziky kovov, ktoré vtedy už viedol P. Diko,

intenzívne venovala príprave, štúdiu štruktúry a prechodu do supravodivého stavu vysokoteplotných keramických supravodičov (P. Diko, K. Csach, V. Kavečanský, J. Miškuf) a tenkých oxidických vrstiev na rýchlochlodených Cu-YBaCuO páskach (V. Hajko ml., Š. Molokáč). Pomerne rýchlo bola zvládnutá príprava vysokoteplotne supravodivých zlúčenín, čo umožnilo,

aby sa ústav aktívne zapojil do vtedajšieho celoštátneho projektu „Vysokoteplotná supravodivosť“. Projekt bol osobitne finančne dotovaný, čo priaznivo ovplyvnilo budovanie experimentálnej základne pre výskum vo fyzike tuhých látok.

Zapojenie sa do výskumu vysokoteplotných supravodičov časovo spadalo



P. Diko pri práci s polarizačným mikroskopom.

do obdobia transformácie spoločnosti po roku 1989. Vytvorili sa tým podmienky na spoluprácu so západnými univerzitami a výskumnými inštitúciami. Prvé spolupráce boli nadviazané s Johan Kepler Univerzity Linz (P. Diko, hosťujúci profesor, 1993, 1994) a Free University Bruxells (P. Diko, jednoročný pobyt, 1991 – 1992). Počas študijného pobytu na FUB bola nadviazaná spolupráca s University of Orleans, kde pripravovali YBCO masívne monokryštalické supravodiče. Na vzorkách z Orleans a vzorkách z IPHT Jena bola charakterizovaná mikroštruktúra týchto supravodičov technikou vysoko-rozlišovacej polarizačnej mikroskopie a spoločné práce publikované vo Phys. Rev. B a Physica C Superconductivity boli základom pre pochopenie vzťahu supravodivých vlastností a štruktúry týchto supravodičov, ale aj základom širokej medzinárodnej spolupráce realizovanej najmä študijnými pobytmi: P. Diko, študijné pobyty v IPHT Jena 1994, 2001 (DAAD štipendium), TU Viedeň 1994 (projekt Slovensko-Rakúsko), Material Science Department,

Oxford University 1995 (Royal Society trojmesačné štipendium), ISTEK Tokyo 1996 (jednoročné JSPS štipendium), Argonne National Laboratory and University of Chicago 1997 (šestmesačné Fulbrightovo štipendium), ISTEK Tokyo 1999 (JISTEK trojmesačné štipendium), IFW Dresden 2000, 2001, 2002, 2003 (študijné pobyty), ICMAB Barcelona 2001, 2002, 2006, 2007, 2010 (štipendium v rámci projektov), Cambridge University 2001, 2002, 2003 (Royal Society štipendium, projekt), ISTEK Tokyo 2005, 2009 (JSPS štipendium), CRETA – CNRS Grenoble 2005, 2006 (štipendium v rámci projektu), NCKU University Tainan Taiwan 2009 (štipendium v rámci projektu) SIT Tokyo 2010, 2014 (JSPS štipendium), SJTU Shanghai 2010, 2016, 2018, 2019 (štipendium v rámci projektu), CAERI Daejeon J. Korea 2017 (štipendium v rámci projektu ŠF). V. Kavečanský: Institut für Physikalische Chemie, Universität Wien, október 2001, Johannes Kepler University, Linz, guest professor, máj 1994, október, december 2004.

Mladí pracovníci LMF absolvovali dlhodobé a krátkodobé študijné pobyty na spolupracujúcich pracoviskách: I. Sargankova University of Corelana 1995, K. Zmorayová ICMAB Barcelona 2001 (jednoročný študijný pobyt Marie Curie Training Site fellowship), University of Cambridge 2003 (trojmesačný študijný pobyt v rámci EÚ projektu SCENET), M. Šefčíková IPHT Jena 2000 (štipendium v rámci EÚ projektu SCENET), Letná škola Cargesse 2003 (štipendium v rámci EÚ projektu SCENET), V. Antal TU Vienna 2008, 2009 (štipendium v rámci EU pro-

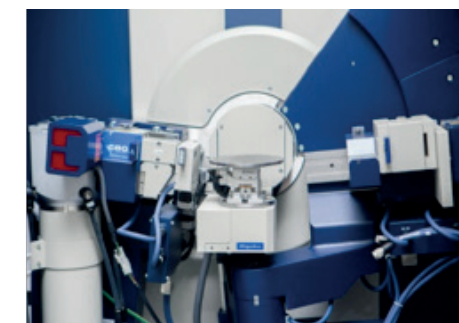
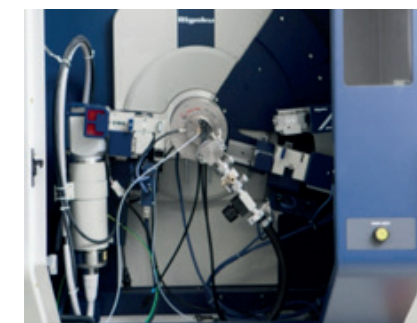
jektu NESPA), CRETA CNRS Grenoble 2010, 2011 (štipendium bilaterálneho projektu), SIT Tokyo 2013 (JSPS štipendium), D. Volochová TU Vienna 2008, 2009, IFW Dresden 2009 (štipendium EU projektu NESPA), L. Vojtková SJTU Shanghai 2015 (štipendium v rámci projektu ŠF), CAERI Dejigeon S. Korea 2015 (štipendium v rámci projektu ŠF), S. Kračunovská ICMAB Barcelona 2004 (štipendium v rámci EÚ projektu Marie Curie Training Site fellowship), IPHT Jena 2004 (štipendium v rámci EÚ projektu SCENET), S. Piovarči SJTU Shanghai 2015 (štipendium v rámci projektu ŠF), CAERI Daejeon S. Korea 2015 (štipendium v rámci projektu ŠF), M. Radušovská University of Cambridge (štipendium v rámci projektu ŠF), V. Antal, D. Volochová, S. Piovarči IFW Dresden, ICAB Barcelona 2008 (krátkodobé tréningy v rámci EÚ projektu NESPA), P. Hajdová SJTU Shanghai 2018, a V. Kuchárová SJTU Shanghai 2019.

V rámci výskumu vysokoteplotných supravodičov bolo LMF mimoriadne úspešné v získavaní medzinárodných a domácich projektov. Realizovalo sa 14 dvojstranných medzinárodných projektov, boli sme súčasťou piatich EÚ projektov (SCENET 1, SCENET 2, EFFORT 1, EFFORT 2, NESPA, ESO). Získali sme 12 VEGA projektov, 5 APVV projektov (P. Diko) a zúčastnili sme sa práce Centra excelentnosti NANOSMART. Koordinovali sme dva projekty štrukturálnych fondov EÚ (NMTE, MS2G, koordinátor: P. Diko) a v rámci dvoch projektov sme koordinovali ich časť (CEX I, CEX II). Finančné prostriedky z týchto projektov umožnili realizovať študijné pobyty na zahraničných pracoviskách, účasť na me-

dzinárrodných konferenciách a boli tiež použité na budovanie unikátneho experimentálneho vybavenia a materiálneho zabezpečenie LMF.

Budovanie infraštruktúry LMF

Investičné finančné prostriedky získalo LMF najmä z projektov štrukturálnych fondov EÚ (viac ako 3 milióny EUR) ale aj zo zahraničných projektov (DFG - SRN, Departmet of Energy - USA). Najviac prostriedkov priniesol projekt NMTE. O tento projekt sme sa mohli uchádzať len preto, že LMF bolo zapojené do EÚ siete (NESPA, P. Diko), čo bolo podmienkou účasti vo výzve. Investičné prostriedky boli použité na postupné budovanie unikátnej infraštruktúry LMF. Sústredili sme sa najmä na prípravu progresívnych materiálov a charakterizáciu ich štruktúry tak, aby sme efektívne doplnili experimentálnu základňu ÚEF SAV ale aj pracovísk v Košiciach, ktoré sú aktívne pri výskume progresívnych materiálov. Najvýznamnejší je systém pre RTG analýzu, ktorý možno zaradiť medzi špičkové experimentálne zariadenia na Slovensku.



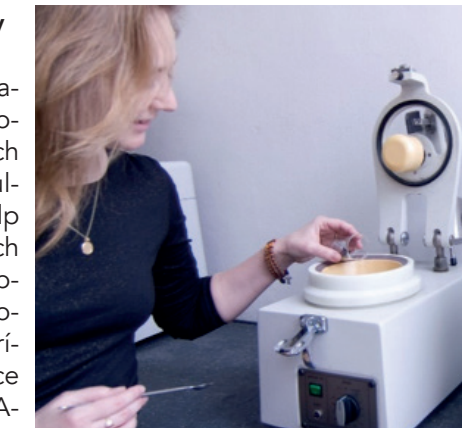
V oblasti štruktúrnej analýzy sme vybudovali RTG systém (V. Kavečanský, P. Diko) tromi difraktometrami RIGAKU, ktoré umožňujú komplexnú RTG difrakčnú analýzu materiálov.

Príprava progresívnych materiálov

Vybudované pracovisko prípravy materiálov zahŕňa mletie, miešanie a sitovanie práškov (Planetárny mlyn Fritsch Pulverisette 6, Trecí mlyn Fritsch Pulverisette miešačka práškov Heidolp REAK 20, vibračné sitovanie Fritsch Analisette 3), lisovanie práškov do tabliet (hydraulický laboratórny lis 25 t Moriko), vysokofrekvenčné tavenie, prípravu hrubých vrstiev, možnosť práce v ochrannej atmosfére (GlowBox JACOMEX), spekanie práškových materiálov a ich tepelné spracovanie v kontrolovanej atmosfére (rúrové pece Adamell Lomarge, LAC, MTI GSL-1600X-80), pece pre rast REBCO kryštálov (komorové pece LAC 1200, pece so všestranným ohrevom Therm-Concept KC16/13/6Z).

Charakterizácia materiálov

Sme vybavený zariadeniami na prípravu preparátov pre optickú a elektrónovú mikroskopiu ale aj RTG analýzu (kotúčová rezačka Boehler Isomet 5000, ultrazvuková rezačka, aparatú-



M. Kaňuchová pri prístroji na miešanie práškov.

ra na zalisovanie Boehler SimplyMet 1000, brúsenie a leštenie vzoriek Boehler AutoMet 250).

Mikroštruktúrna analýza je realizovaná svetelnou polarizačnou a stereo mikroskopiou (NIKON Eclipse LV 100, NIKON SMZ 74 ST), resp. skenovacím elektrónovým mikroskopom FE MIRA 3 TESCAN s autoemisnou katódou, vybaveným mikroanalýzou pomocou energiovo-disperznej spektroskopie (EDS, Oxford Instruments, x-act), vl-

ново-disperznej spektroskopie (WDS, Oxford Instruments Wave) a difrakcie späťne odrazených elektrónov (EBSD, Nordis Max2).

V oblasti štruktúrnej analýzy sme vybudovali RTG systém (V. Kavečanský, P. Diko) tromi difraktometrami RIGAKU, ktoré umožňujú komplexnú RTG difrakčnú analýzu materiálov:

Modul A - RTG difraktometer Ultima IV, typ III, Rigaku. Zariadenie umožňuje štúdium kryštálovej štruktúry polykryštálických látok v teplotnej oblasti (-180 °C - 1200 °C) na vzduchu, v kontrolovanej atmosfére, resp. vo vákuu s využitím ako divergentného, tak aj paralelného zväzku žiarenia resp. malouhlového rozptylu SAXS.

Modul B - RTG difraktometer Ultima IV, typ II, Rigaku. Rtg. práškový difraktometer umožňuje štúdium kryštálovej štruktúry tenkých vrstiev a povrchov v štandardnom a „in-plane“ usporiadaní. Modul C - RTG difraktometer D/MAX Rapid II, Rigaku. Štúdium kryštálovej štruktúry polykryštálických materiálov vo veľkom rozsahu veľkosti kryštálov, mikrodifrakcia. 2D „image plate“ detektor.

Termický analyzátor NETZSCH STA 449 F1 Jupiter napojený na hmotnostný spektrometer NETZSCH QMS 403 C Aëolos umožňuje meranie v režime DTA, DSC a TG v teplotnej oblasti 30 až 1650 °C vo vákuu alebo kontrolovanej atmosfére (Ar, N₂, O₂, vzduch). Laserový difrakčný systém Malvern Mastersizer 2000, model APA 5001 na meranie rozmerovej distribúcie práškov rozmerov 0,02 μm - 2000 μm. Zariadenie na meranie profilu zachyteného magnetického poľa a zariadenie na meranie levitačnej sily REBCO MMS pri teplote kvapalného dusíka.

Pracovníci LMF sa podieľali na výchove mladých vedeckých pracovníkov ako školitelia ale aj pri zabezpečovaní doktorandského štúdia na ÚEF SAV. P. Diko pôsobil ako garant, prednášajúci a školiteľ v študijnom odbore Materiály na ÚEF SAV (2005 – 2019), člen komisií pre obhajoby doktorandských prác na FMMR TUKE (2009 – trvá) a PF UPJŠ Košice (2003 – trvá), školiteľ v študijnom odbore Fyzika kondenzovaných látok a akustika (FKLA) a študijnom odbore Materiálové inžinierstvo. V. Kavečanský bol spolugarantom, prednášajúcim a školiteľom v študijnom odbore Materiály na ÚEF SAV a Fyzika kondenzovaných látok a akustika.

Výchova mladých vedeckých pracovníkov

Doktorandi, ktorí úspešne ukončili doktorandské štúdium:

Ing. Irena Sargánková, PhD., FKLA, školiteľ špecialista: P. Diko.

Ing. Katarína Zmorayová, PhD., FKLA, školiteľ: P. Diko

Ing. Martina Šefčíková, PhD., FKLA, školiteľ: P. Diko

Ing. Silvia Kračunovská, PhD., Materiály, školiteľ: P. Diko

Mgr. Vitaliy Antal, PhD., FKLA, školiteľ: P. Diko.

Mgr. Daniela Volochová, PhD., FKLA, školiteľ: P. Diko.

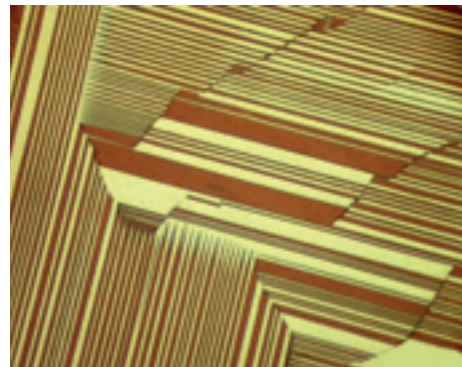
Ing. Liudmila Vojtková, PhD., Materiály, školiteľ: P. Diko

Ing. Monika Radušovská, PhD.,

Materiály, školiteľ: P. Diko
Mgr. Renáta Verbová, PhD.,
Materiály, školiteľ: V. Kavečanský
Ing. Petra Hajdová, PhD.,
Materiály, školiteľ: P. Diko

Vedecké výsledky

Pri riešení projektov boli v oblasti výskumu REBCO masívnych monokryštálických supravodičov (MMS) dosiahnuté významné výsledky dávajúce do súvisu parametre prípravy, mikroštruktúru a supravodivé vlastnosti. Termickou analýzou sme ukázali na vplyv legovania na peritektickú teplotu RE-Ba-Cu-O, fázové rovnováhy systémov a na časovo-teplotný režim rastu REBCO masívnych kryštálov (V. Antal, V. Kavečanský, P. Diko). Optimalizovali sme techniku polarizačnej svetelnej mikroskopie, na štúdium kryštálových defektov v REBCO MMS (P. Diko, K. Zmorayová, M. Radušovská, E. Lavičková). Navrhli sme mechanizmy tvorby piningových centier v podobe nesupravodivých častíc RE₂BaCuO₅ (RE211) fázy a ich zjemnenia lego-

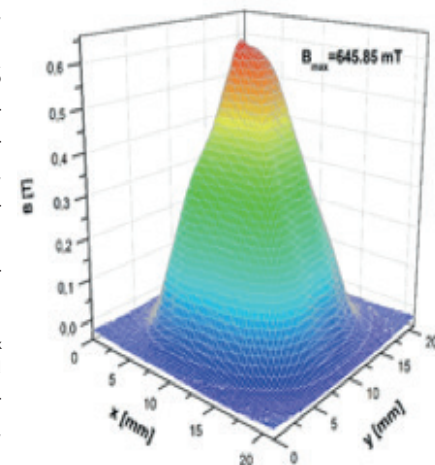


Dvojčatová štruktúra Nd123 monokryštálu zviditeľnená polarizačným mikroskopom.

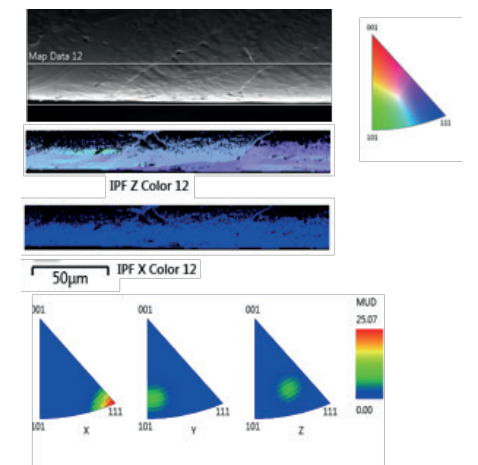
vaním (K. Zmorayová, M. Šefčíková, M. Radušovská, V. Kuchárová, P. Diko). Zvládli sme prípravu REBCO MMS technológiami Top-Seeded Melt-Growth (TSMG) a Top-Seeded Infiltration-Growth (TSIG) (M. Kaňuchová, K. Zmorayová, M. Šefčíková, D. Volochová, M. Radušovská, L. Vojtková). Poukázali sme na vývoj makroskopickej nehomogenity rozloženia RE211 častíc v masívnom REBa₂Cu₃O_{7-x} (RE123) kryštáli ako aj na morfológiu kryštálických fáz v závislosti od parametrov ochladzovania (D. Volochová, K. Zmorayová, M. Radušovská, P. Diko). Navrhli sme mechanizmus oxidácie narastených REBCO MMS, ktorý je kombináciou objemovej difúzie kyslíka v RE123 kryštáli a tvorby oxidačných trhlín v a/b- a/c-rovinách RE123 kryštálu (P. Diko). Popísali sme pole mechanických napätí v okolí RE211 častíc a určili kritický rozmer RE211 častíc pre tvorbu mikrotrhlín v a/b-rovinách RE123 kry-



Na medzinárodnej konferencii PASREG 2019 Praha: P. Diko, V. Antal, P. Hajdová, V. Kuchárová, K. Zmorayová.



REBCO MMS so zvýšenou hodnotou zachyteného magnetického poľa.

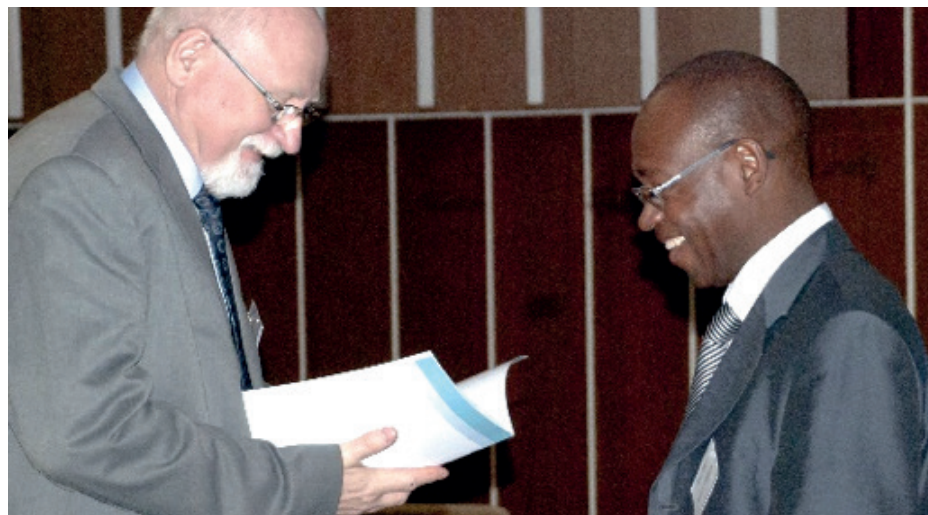


EBSD analýza Ni₂FeGa mikrovlákná.

Preštudovali sme vplyv vybraných substitúcií (Sm, Yb, Gd, Al, Ag, Li, Mn) na tvorbu tzv. chemických piningových centier v REBCO MMS a fenomenologicky určili piningovú silu zo závislosti kritickej prúdovej hustoty na aplikovanom mag-

netickom poľu v tetragonálnom a ortorombickom stave (P. Diko, L. Ceniga). Technikou vysokoteplotnej oxidácie sme potlačili vznik oxidačných a/c-trhlín a zvýšili trojnásobne kritickú prúdovú hustotu YBCO MMS (P. Diko, V. Antal).

netickom poli (D. Volochová, V. Antal, M. Kaňuchová, V. Kavečanský, P. Diko). Pripravili sme legované REBCO MMS so zvýšenou hodnotou zachyteného magnetického poľa R. Verbová, K. Zmorayová, M. Radušovská). Charakterizovali sme korózne procesy YBCO MMS na vzduchu (S. Piovarči, V. Antal, M. Kaňuchová, P. Diko). Pripravili a charakterizovali sme SmBCO a GdBCO MMS (D. Volochová, P. Hajdová, M. Rajňák, V. Antal, P. Diko). Spolupracujeme s firmou CAN Superconductors Kamenice, výrobcom REBCO MMS pri vývoji týchto supravodičov (L. Vojtková, K. Zmorayová, V. Antal, M. Rajňák, P. Diko). Okrem REBCO MMS sme sa v spolupráci so zahraničnými pracoviskami (SIT Tokyo, CRYSTMAT Caen) zaoberali štúdiom mikroštruktúry masívnych supravodičov typu MgB₂ a FeSe (P. Diko, V. Kavečanský, V. Antal). Spolupracujeme s pracoviskami SAV, UPJŠ a TUKE pri RTG difrakčnej analýze (V. Kavečanský, J. Bednarčík, O. Milkovič) a SEM analýze (P. Diko, K. Zmorayová) progresívnych materiálov.



Pavel Diko a Prof. Jacques Noudem (University of Caen) na medzinárodnej konferencii Metallography 2017, Stará Lesná.



V. Antal, M. Šefčíková, P. Diko, K. Zmorayová, D. Volochová, Prof. Inn Gan Chen z NCKU Tainan a K. Venglovská.

Zahraničná spolupráca

Podieľali sme sa na organizácii medzinárodných konferencií Metallography, PASREG.

(Dr. K. Goretta), FZÚ Praha (Dr. M. Jirsa), CRYSTMAT Caen (Prof. J. Noudem, Obr. 8), CNRS Grenoble (Dr. X. Chaud), IPHT Cardwell), Oxford University (Dr. Ch. Jena (Dr. Gawalek), TU Vienna (Prof. H. Growenor), Argonne National Laboratory Weber), IFW Dresden (Dr. G. Krabbes),

ICMAB Barcelona (Prof. X. Obradors), SIT Tokyo (Prof. M. Murakami, Prof. M. Muralidhar), SJTU Shanghai (Prof. X. Yao), NCKU Tainan (Prof. Inn Gan Chen, Obr. 9), KAERI Daejeon (Prof. Chang Jong Kim), CAN Superconductor (J. Plecháček).

Ocenenia vedeckej práce

S. Volochová: prvé miesto v súťaži mladých vedcov na ÚEF a druhé miesto v rámci SAV.
 K. Zmorayová: najlepší poster PASREG Tokyo.
 P. Hajdová: Cena za orálnu prezentáciu PASREG Tokyo 2016, cena za najlepší poster Metallography 2019.
 P. Diko: Executive Board Member on the Editorial Board of the Ceramic Sciences and Engineering, Guest editor Superconductor Science&Technology, Guest editor IEEE Transactions on Applied Superconductivity, Cena Vedeckého grémia PASREG (Processing and Application of Superconducting (RE)BCO Large Grain Materials) Tokyo

2005 za excelentný príspevok k výskumu a aplikácii masívnych REBCO supravodičov. Cena riaditeľa Medzinárodného centra supravodivých technológií (ISTEC) Tokyo (S. Tanaka), rok 1996 za výsledky dosiahnuté pri štúdiu mikroštruktúry tavením texturovaných RE-Ba-Cu-O supravodičov, Strieborná medaila Aurela Stodolu za príspevok k fyzikálnym a chemickým vedám (1997), Mimoriadna odmena SAV za prácu „Kryštálové defekty v REBCO masívnych supravodičoch“ (2005), Cena SAV za súbor vedeckých prác z oblasti štúdia intermetalických zlúčenín Sm-Co (1980), Cena SAV za súbor vedeckých prác z oblasti štúdia deformácie a porušovania kovových skiel (1985), Čestné uznanie od Journalist-Studio Bratislava za výsledky dosiahnuté v rámci európskych sietí (2008), Fulbright Fellowship (1996), JSPS Fellowship (1996, 1999), Royal Society Fellowship (1996, 1997, 2001, 2002), DAAD Fellowship (1998).

V roku 2020 bolo LMF premenované na Oddelenie materiálovej fyziky.



Hajdová a chairman konferencie Metallography 2019 Doc. P. Horňák.



LMF v roku 2018 (zlava: K. Zmorayová, S. Piovarči, D. Volochová, V. Antal, L. Vojtková, R. Verbová, V. Kavečanský, P. Hajdová, M. Radušovská, P. Diko).



vedúci oddelenia:
RNDr. Ivan Škorvánek, CSc.

Vedecí pracovníci:

RNDr. Jozef Kováč, CSc.
RNDr. Jozef Marcin, PhD.
Ing. František Andrejka, PhD.

Doktorandi:

Ing. Branislav Kunca

Oddelenie aplikovaného magnetizmu a nanomateriálov

Oddelenie aplikovaného magnetizmu a nanomateriálov (OAMN) patrí medzi tri vedecké útvary ústavu, ktoré sa stali súčasťou jeho organizačnej štruktúry od 1. 1. 2008. Vedecké aktivity novovzniknutého útvaru naviazali hlavne na dlhodobú tradíciu ÚEF v oblasti výskumu a vývoja amorfných a nanokryštalických magneticky mäkkých materiálov.

Problematika amorfných kovových materiálov sa začala rozvíjať na ÚEF SAV tesne po jeho založení. Prvé vzorky amorfných kovových zliatin získala skupina A. Zentka začiatkom 70. rokov z Bratislavy, kde kolektív z Fyzikálneho Ústavu SAV vedený P. Duhajom zvládol na špičkovej úrovni prípravu tenkých amorfných pásov pomocou rýchleho chladenia taveniny na rotujúcom medenom valci. Publikovanie článku o magnetických vlastnostiach amorfných zliatin na báze PdCoSi (A. Zentko, P. Duhaj, P. Marko, L. Potocký, T. Tima, Phys. Stat. Sol.

A, 1974) bolo začiatkom dlhoročnej spolupráce medzi ÚEF SAV a FÚ SAV, ktorá sa pretavila do série spoločných publikácií o štruktúre a fyzikálnych vlastnostiach amorfných kovových zliatin.

Koncom 70. rokov sa začala rozvíjať spolupráca medzi skupinami L. Potockého z ÚEF SAV a Évy Kisdí-Koszó z KFKI MTA Budapešť. V rámci tejto spolupráce sa otvoril ďalší kanál pre prístup k vzorkám amorfných kovových pásov. Maďarská strana mala záujem najmä o magnetické merania, ktoré mali v Košiciach už v tej dobe pomerne slušnú úroveň. Pre merania magnetických charakteristík magneticky mäkkých materiálov bol v rokoch 1969 – 1972 postavený pracovníkmi ústavu (Potocký, Novák) klasický Bozorthov magnetometer. V rokoch 1978 – 1979 bol skonštruovaný nízkofrekvenčný vibračný magnetometer (J. Kováč, R. Mlýnek), ktorý sa po úpravách a prispôbení pre nízkoteplotné merania ukázal byť veľmi užitočným zariadením pre výskum magnetických vlastností amorfných kovových materiálov.

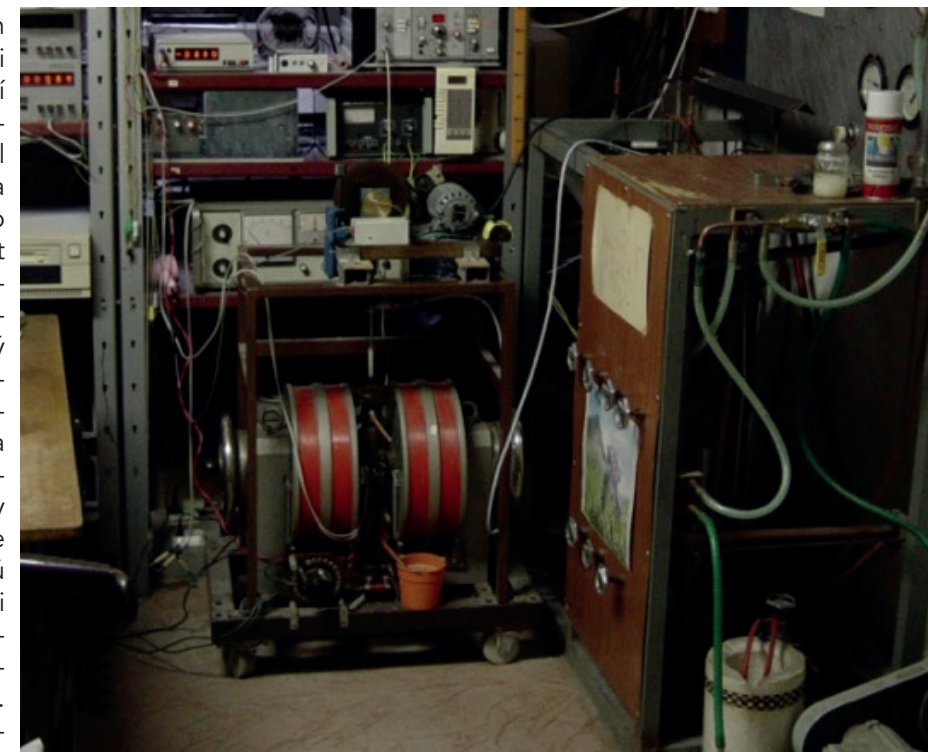
Vedecké aktivity v oblasti štúdia amor-

fných kovových zliatin sa na ÚEF zintenzívnili najmä v 80. rokoch, kedy na túto tému obhájili svoje kandidátske dizertačné práce viacerí pracovníci ústavu (L. Novák, M. Timko, P. Kopčanský, I. Škorvánek, J. Kováč, M. Mihálik). Ich práce boli zamerané najmä na výskum magnetických a elektrických charakteristík a tiež na vyšetovanie vplyvu radiačného poškodenia na štruktúru a vybrané fyzikálne vlastnosti amorfných materiálov.

Po objave magneticky mäkkých zliatin s nanokryštalickou štruktúrou v r. 1989 sa pozornosť značnej časti vedeckých kolektívov pracujúcich v oblasti amorfných feromagnetik presmerovala na túto novú triedu nanoštruktúrnych magnetických materiálov. Skupine P. Duhaja sa už v r. 1990 podarilo pripraviť prvé nanokryštalické zliatiny typu FINEMET, z ktorých časť bola poslaná na magnetickú charakterizáciu do Košíc. Merania hysteréznych slučiek pomocou kvázistatického hysterezigrafu ukázali, že tieto nanokryštalické vzorky majú vynikajúce magneticky mäkké vlastnosti.

Začiatkom 90. rokov sa po zmene po-

litického systému otvorili pre mladých vedeckých pracovníkov ústavu možnosti realizácie dlhodobých pracovných stáží na vedeckých pracoviskách v západnej Európe a USA. I. Škorvánek získal v r. 1990 štipendium nadácie Alexandra von Humboldta, s podporou ktorého absolvoval dvojročný výskumný pobyt na Ústave Materiálového Výskumu, Helmholtz-Zentrum Geesthacht pri Hamburgu. Jeho výskum v SRN bol orientovaný na štúdium magnetických a mechanických charakteristík nanokryštalických zliatin FINEMET na báze FeCuNbSiB a na vyšetovanie vplyvu radiačného poškodenia na tieto charakteristiky. Výsledky experimentov ukázali, že tieto extrémne mäkké magnetické materiály vykazujú vyššiu odolnosť voči ožiareniu vysokými dávkami neutrónov z jadrového reaktora ako podobné amorfné zliatiny. Nevýhodou nanokryštalických FINEMET zliatin oproti amorfným prekurzorom však bola ich zvýšená mechanická krehkosť, čo je limitujúcim faktorom pre niektoré technické aplikácie (I. Škorvánek, R. Gerling, J. Appl. Phys., 1992).



VSM magnetometer patril v období rokov 1979 – 2017 medzi kľúčové zariadenia ÚEF SAV na charakterizáciu magnetických vlastností materiálov. Výsledky získané pomocou tohto zariadenia boli prezentované vo viac ako 200 publikáciách a pracovalo na ňom viac ako 15 diplomantov a doktorandov.

V rokoch 1993 – 1994 absolvoval I. Škorvánek 10-mesačný výskumný pobyt na Massachusetts Institute of Technology (Cambridge, USA) ako štípendista Fulbrightovej nadácie. Jeho výskumné aktivity na MIT boli zamerané na vysokoteplotné magnetické charakteristiky nanokryštalických zliatin typu FINEMET. Získané výsledky ukázali, že nanokryštalické zrná obklopené dostatočne hrubou vrstvou paramagnetickej amorfnej matrice môžu vykazovať superparamagnetické správanie. V prípade vzoriek s vysokou objemovou frakciou nanokryštalických zrn bolo pri teplotách vyšších ako Curieho teplota okolitej matrice pozorované „superferomagnetické“ usporiadanie zrn (I. Škorvánek, R. C. O’Handley, J. Magn. Mater., 1995).

Po návrate na domáce pracovisko začal kolektív pod vedením I. Škorváneka riešiť projekt VEGA s názvom „Štruktúrne, magnetické a mechanické vlastnosti vybraných nanokryštalických a amorfných technicky významných magnetických materiálov“. Riešiteľský tím tvorili J. Kováč, V. Kavečanský, L. Novák a V. Hajko ml. V roku 1996 ho doplnil nový doktorand J. Marcin. Tento projekt vytvoril základ pre vznik novej výskumnej skupiny, ktorá sa začala intenzívne venovať nanokryštalickým magnetickým materiálom.

Sériu dlhodobých zahraničných pobytov zakončil I. Škorvánek v r. 1998 – 1999 na Ústave Experimentálnej Fyziky Technickej Univerzity vo Viedni, kde získal Lise Meitner Fellowship od rakúskeho fondu na podporu vedeckého výskumu FWF. Počas ročného pobytu na tomto

pracovisku sa venoval štúdiu magnetickej mäkkých charakteristík nanokryštalických zliatin typu NANOPERN na báze FeNbB pri nízkych teplotách (I. Škorvánek, P. Duhaj, R. Grossinger (J. Magn. Mater., 2000).

Skúsenosti získané počas dlhodobých zahraničných pobytov a nadviazanie spolupráce s pracoviskami, na ktorých sa tieto pobyty realizovali ovplyvnili významným spôsobom ďalší rozvoj skupiny nanoštruktúrnych magnetických materiálov na ÚEF SAV. To sa prejavilo najmä v jej úspešnosti pri získavaní zahraničných a domácich grantov na začiatku nového milénia. Medzi najdôležitejšie z nich patril projekt podporený prostredníctvom Volkswagen Foundation s názvom „Soft Magnetic Nanocrystalline Materials with Improved Combination of Application Oriented Properties“, ktorý bol riešený v období od januára 2000 do septembra 2003. Náš ústav bol v role koordinátora projektu (zodpovedný riešiteľ I. Škorvánek) a z nemeckej strany na ňom participovala skupina J. Kozlera z Univerzity v Hamburgu a skupina R. Gerlinga z Ústavu Materiálového Výskumu, Helmholtz-Zentrum Geesthacht. Vedecké ciele projektu boli zamerané na vývoj nových magneticky mäkkých nanokryštalických materiálov typu NANOPERN a HITPERM so zlepšenou kombináciou aplikačných vlastností. Benefitom tohto projektu bola možnosť použitia pridelených prostriedkov na nákup drahých prístrojov spadajúcich do kategórie kapitálových výdavkov, čo vtedajšie pravidlá pre slovenské granty neumožňovali. Jeho riešenie vyústilo do publikovania 10 článkov v CC časopisoch

(I. Škorvánek, S. Skwirblies, J. Kozler, Physical Review B, 2001; I. Škorvánek, P. Švec, J. M. Greneche, J. Kováč, J. Marcin, R. Gerling, J. Phys: Cond. Mat., 2002; ...).

Ďalší zahraničný projekt podporený prostredníctvom NATO Programu – „Science for security“ bol zameraný na vývoj nových magneticky mäkkých nanokryštalických zliatin pre použitie pri vysokých pracovných teplotách. Projekt bol riešený v priebehu rokov 2004 – 2007 a jeho spoluriešiteľom bol Ústav fyziky Poľskej akadémie vied vo Varšave. V rámci projektu boli vyvinuté nanokryštalické zliatiny typu HITPERM na báze FeCoZrB a FeCoNbB, pre ktoré bola dosiahnutá stabilita dobrých magneticky mäkkých vlastností až do teplôt prevyšujúcich 500 °C. Navyše, po žiňaní vzoriek v pozdĺžnom magnetickom poli bol získaný materiál s koercitívnym poľom 8 A/m, čo bola v tomto čase rekordne nízka hodnota pre nanokryštalické zliatiny typu HITPERM vo svetovom meradle. Projekt vyústil do publikovania 7 článkov v CC časopisoch. (E. Jedryka, M. Wojcik, P. Švec, I. Škorvánek, Appl. Phys. Lett. 2004; I. Škorvánek, J. Marcin, T. Krenický, J. Kováč, P. Švec, D. Janočkovič, J. Magn. Mater. 2006, ...).

Medzi projekty bilaterálnej spolupráce patril projekt SK-CN 2-3-8 „Structure and properties of magnetic metal nanocapsules“, riešený v rámci S&T Cooperation between Slovakia and China s dobou realizácie január 2002 – december 2004. Partnermi projektu boli ÚEF SAV a Institute of Metal Research, Chinese Academy of Sciences, She-

nyang. Jeho hlavným cieľom bola syntéza a charakterizácia vlastností nových kovových magnetických nanokapsúl pripravených technikou oblúkového výboja v atmosfére rôznych plynov. V rámci tejto spolupráce vzniklo 5 spoločných článkov s veľmi dobrou citačnou odozvou.

Skupina sa ako člen konzorcia COST 523 „Nanostructured Materials“ zapojila počas rokov 2001 – 2004 do multilaterálnej európskej spolupráce v oblasti štúdia širokej triedy materiálov so stavebnými časticami na úrovni jednotiek až stoviek nanometrov. Problematika riešená na ÚEF sa týkala štúdia magnetických, štruktúrnych a funkčných vlastností vybraných magneticky mäkkých nanokryštalických materiálov.

Okrem zahraničných projektov bola skupina zapojená aj do riešenia viacerých domácich grantových projektov. V r. 2000 – 2007 získala 3 projekty VEGA zamerané na magneticky mäkké nanokryštalické materiály. Skupina bola úspešná aj pri získavaní projektov od grantovej agentúry APVT (neskôr premenovanej na APVV). V rámci prvej výzvy novovzniknutej APVT agentúry sa v spolupráci s ÚGT SAV zapojila do riešenia projektu APVT-20-018402 - Syntéza a charakterizácia nanomateriálov pripravených netradičnými metódami z prekursorov na báze kovov a nerastných surovín (doba riešenia august 2002 – júl 2005). V rámci ďalšej APVT výzvy bol v partnerstve s FÚ SAV riešený projekt APVT-51-052702 „Nové multifázové materiály s definovanou štruktúrou a výnimočnými fyzikálnymi vlastnosťami“ (doba riešenia január 2004 – de-

cember 2006). Významným projektom podporeným z domácich zdrojov, na ktorom participoval ÚEF SAV ako jeden z partnerov bola Štátna objednávka výskumu a vývoja: „Materiály so submikrónovou štruktúrou“ časť 04 – „Vývoj materiálov metódami minerálnych biotechnológií, mechanochemickými a chemickými postupmi“. Zodpovedným riešiteľom dvoch čiastkových etáp tohto projektu realizovaného v rokoch 2003 – 2006 bol I. Škorvánek. Konkrétne išlo o 1) Vývoj a charakterizáciu nanočastíc a nanokapsúl na báze prechodových kovov a vzácnych zemín a 2) Vývoj a charakterizáciu nanomateriálov vhodných ako médiá pre magnetickú refrigeráciu.

Z prostriedkov horeuvedených zahraničných a domácich projektov bola v priebehu rokov 2000 až 2007 realizovaná stavba viacerých nových experimentálnych zariadení, medzi ktoré patrili: programovateľné laboratórne pece na tepelné spracovanie vzoriek do max. teploty 1200 °C vo vysokom vákuu resp. v atmosfére rôznych plynov s možnosťou aplikácie externého magnetického poľa (pozdĺžna a priečna geometria) počas žihacieho procesu (T. Krenický), nízko- a vysokopolný VSM magnetometer pre magneticky mäkké materiály umožňujúci presné nastavenie malých magnetických polí v teplotnom rozsahu od 300 K do 1000 K (J. Kováč) a ultracitlivý hysterezigraf na báze fluxgate senzorov umožňujúci meranie hysteréznych slučiek magnetických materiálov s extrémne nízkymi hodnotami coercivity v teplotnom intervale od izbovej teploty do 800 K (J. Marcin). Dôležitou podporou výskumných aktivít v oblasti magnetizmu na ÚEF bolo zakúpenie

komerčného zariadenia SQUID magnetometer od firmy Quantum Design (typ MPMS-XL-5) v roku 2006, ktoré umožnilo ultracitlivé merania magnetických veličín študovaných materiálov v teplotnom rozsahu 2-400 K a v magnetických poliach do 5T.

V roku 2008 sa skupina nanoštruktúrnych magnetických materiálov pretransformovala do novovytvoreného Laboratória Nanomateriálov a Aplikovaného Magnetizmu, ktoré bolo neskôr premenované na Oddelenie Aplikovaného Magnetizmu a Nanomateriálov ÚEF SAV. Nové laboratórium sa v čase jeho vzniku mohlo oprieť o viaceré prebiehajúce domáce a zahraničné projekty, autonómnu prístrojovú bázu a dlhoročné odborné skúsenosti členov skupiny s výskumom a vývojom nanokryštalických a nanočasticových magnetických systémov. Personálne obsadenie tvorili: Ivan Škorvánek, Jozef Kováč, Jozef Marcin, Peter Kulík (50 %) a doktorandka Jana Turčanová.

Výskumné aktivity OAMN zostali prioritne orientované na nanokryštalické kovové zliatiny na báze prechodových kovov v tvare tenkých pásov, ktoré vykazujú mimoriadne dobré magneticky mäkké vlastnosti (vysoká hodnota magnetickej indukcie a permeability v kombinácii s nízkou hodnotou koercitívneho poľa a premagnetizačných strát). To z nich robí atraktívne materiály pre využitie vo viacerých technických aplikáciách ako sú elektrické motory vysokofrekvenčné transformátory, magnetické senzory, rôzne komponenty telekomunikačných a elektronických zariadení, magnetické tienenie a pod.

Neskôr k nim pribudli nové smery výskumu zamerané na nanokompozitné permanentné magnety, magnetokalorické materiály a tepelné spracovanie materiálov v silnom magnetickom poli.

Oddelenie bolo zapojené do riešenia viacerých výskumných projektov v spolupráci s domácimi (2x CEX-SAV, 6x APVV, 5x VEGA) a zahraničnými (COST EPM P17: „Electromagnetic Processing of Materials“, GDRE GAMAS: „GROUP FOR THE APPLIED MAGNETOSCIENCES“, APVV SK-FR, APVV SK-PL, APVV SK-RO, MNT-ERANET II STREAM: „Small energy harvester based on magnetostrictive amorphous and nanocrystalline materials“, SAV-VAST: „Research on preparation and magnetic properties of Co/CoO core-shell nano-particles“, SAV-MAV: „Investigation of new ferromagnetic nanocomposites“, JRP SAS-TUBITAK: „Novel soft magnetic cores tailored for use in space qualified magnetometers and satellite devices“) partnermi.

Vybrané výsledky, ktoré oddelenie získalo pri riešení projektov výskumu a vývoja

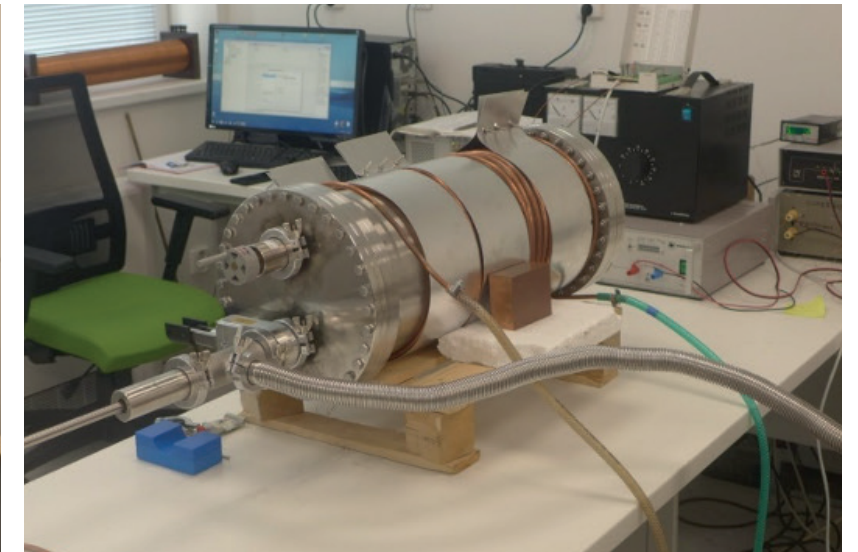
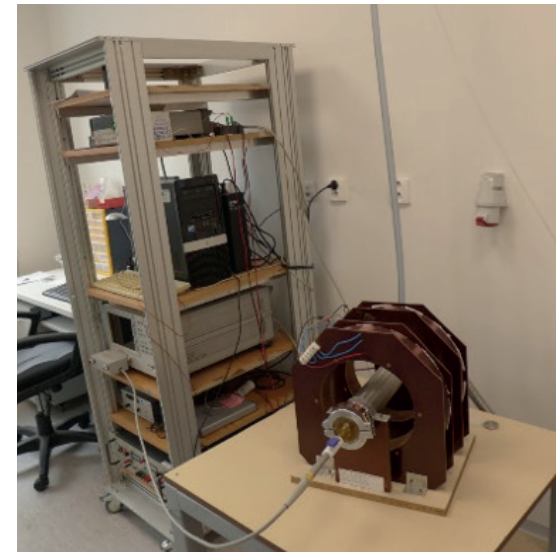
V rámci spolupráce s Leteckou Fakultou TU Košice a firmou EDIS v. d. Košice (projekt APVV-0454-07) bola vyvinutá nová generácia priemyselných senzorných systémov na vyhľadávanie nežiaducich feromagnetických telies na pásových dopravníkoch. Jadro senzornej časti pozostáva z magneticky mäkkých zliatin na báze FeCoBCu so špeciálnymi magnetickými charakteristikami, ktoré boli pripravené použitím techniky tepelného spracovania zliatin vo von-

kajšom magnetickom poli v OAMN na ÚEF SAV. Nová verzia magnetických relaxačných fluxgate senzorov sa vyznačuje tým, že pri zachovaní pôvodnej citlivosti $2\text{V}/100\mu\text{T}$ pokrýva dvojnásobný rozsah meranej magnetickej indukcie v porovnaní s dosiaľ používanými senzormi, ktorých jadro tvorí komerčná zliatina typu VITROVAC. Nové senzory teda môžu spoľahlivo pracovať aj v silnejších magnetických poliach. Prvý takto inovovaný senzorový systém, ktorý vyhľadáva kusové feromagnetiká aj v aglomerovanej železnej rude uviedla firma EDIS v. d. do skúšobnej prevádzky v Trineckých železiarňach. Ďalšie 2 systémy boli koncom roka 2010 použité v novom kolesovom rýpadle KK 1300

pre Severočeské hnedouhoľné doly (J. Marcin, A. Klinda, P. Švec, D. Praslíčka, J. Blažek, J. Kováč, P. Švec st., I. Škorvánek, IEEE Trans. Magn., 2010). Počas riešenia projektu MNT ERA NET II STREAM bol vyvinutý prototyp zariadenia na získavanie energie z vibrácií v okolitom prostredí, ktoré využíva nanokryštalické materiály. Zariadenie pozostávalo z dvoch malých permanentných magnetov pevne spojených s nemagnetickou pružinou, ktoré v dôsledku vonkajších mechanických vibrácií oscilovali v blízkosti cievky s jadrom z magneticky mäkkej nanokryštalickej zliatiny. Cyklické premagnetovanie jadra zloženého z viacerých nanokryštalických kovových pásov zlepených epoxidovou živcou viedlo k vzniku indukovaného napätia v cievke. Účinnosť premeny mechanickej energie vibrácií na elektrickú energiu bola výrazným spôsobom ovplyvňovaná magnetickými vlastnosťami jadra. Požadovaná kombinácia vysokej magnetickej permeabi-

lity a vysokej magnetickej polarizácie bola dosiahnutá optimalizáciou kompozitného zloženia a parametrov termomagnetického spracovania nanokryštalických zliatin v externom magnetickom poli. Najlepšie výsledky boli získané pre jadro pozostávajúce z nanokryštalickej zliatiny $\text{Fe}_{73.5}\text{Si}_{13.5}\text{B}_9\text{Nb}_3\text{Cu}_1$ spracovanej v pozdĺžnom magnetickom poli, pre ktoré bol pri frekvencii vibrácií 50 Hz a zrýchlení 1 g ($9,8\text{ m/s}^2$) dosiahnutý maximálny výstupný výkon zariadenia približne 30mW (H. Chiriac, M. Tibu, N. Lupu, I. Škorvánek, J. Appl. Phys., 2014; I. Škorvánek, J. Marcin, J. Kováč, P. Švec, N. Lupu, H. Chiriac, Mater. Sci. Forum, 2014).

Značná časť výskumných aktivít OAMN (projekty APVV 0492-11, APVV-15-0621, VEGA 2-0192-13, VEGA 2/0173/16) bola orientovaná na využitie externých magnetických polí v procese tepelného spracovania amorfných a nanokryštalických rýchlo chladených zliatin na cielené ovplyvňovanie ich magnetickej charakteristiky pre potenciálne senzorné aplikácie. Hlavná pozornosť nášho výskumu bola zameraná na nanokryštalické zliatiny typu FINEMET a HITPERM, ktoré vykazujú efekt obrovskej magnetoimpedancie (GMI) a teda majú sľubný aplikačný potenciál v ultracitlivých magnetických senzorech. Konkrétne šlo o zliatinové systémy Fe-Nb-Cu-Si-B a Fe-Co-B-(Nb)-Si-Cu v tvare jednovrstvových a dvojvrstvových tenkých pásov, kde sme sa venovali najmä štúdiu efektov tepelného spracovania vo vonkajšom magnetickom poli, resp. využitím techniky Joulovho ohrevu na ich impedančné charakteristiky. V prípade dvojvrstvových pásov



Unikátne aparatúry navrhnuté a postavené na OAMN: ultracitlivý hysterezigraf v magneticky tienenej miestnosti (vľavo hore), tepelné spracovanie vzoriek vo vysokých magnetických poliach (do 14 T) (vpravo hore), zostava na testovanie GMI charakteristik pri zvýšených teplotách (vľavo dole), ultrarýchle žihanie kovových pásov vo vákuu (vpravo-dole).

sme v oblasti nižších frekvencií pozorovali podstatne vyššie hodnoty GMI efektu ako u jednovrstvových pásovk toho istého zloženia. Najvyššia citlivosť GMI efektu na malé magnetické polia (~65 %/Oe pri 3 MHz) bola dosiahnutá pre nanokryštalickú dvojvrstvu Fe-Cu-Nb-Si-B žíhanú v priečnom magnetickom poli. V prípade nanokryštalickej kovovej pásky na báze Fe-Ni-Nb-B sme sa zamerali na netradičnú metódu ovplyvňovania GMI odozvy, ktorá spočíva v nanosení dodatočnej tenkej vrstvy feromagnetického kryštalického kobaltu na jej povrch. Výsledky meraní ukázali, že najmä v oblasti frekvencií okolo 100 MHz sú nízkopolné zmeny GMI efektu po nanosení Co-vrstvy podstatne vyššie oproti pôvodnej vzorke bez Co-povlaku (M. Rivas, J. C. Martinez – Garcia, I. Škorvánek, J. Marcin, P. Svec, P. Goria, Appl. Phys. Lett., 2015; L. Gonzalez-Legarreta, F. Andrejka, J. Marcin, P. Švec, M. Varga, D. Janičkovič, P. Švec st., I. Škorvánek, J. All. Comp. 2016; T. Eggers, D.S. Lam, O. Thiabgoh, J. Marcin, P. Svec, N.T. Huong, I. Skorvanek, M. H. Phan, J. All. Comp. 2018).

Budovanie experimentálnej infraštruktúry OAMN

Vďaka grantovým prostriedkom získaným v rámci riešenia projektov ŠF bola v rokoch 2010 – 2017 na oddelení budovaná moderná experimentálna báza zameraná najmä na charakterizáciu magnetických vlastností materiálov.

Oddelenie bolo zapojené do nasledovných projektov ŠF: Centrum excelentnosti progresívnych materiálov s nano a submikrónovou štruktúrou (2009 –

2011), Budovanie infraštruktúry Centra excelentnosti progresívnych materiálov s nano a submikrónovou štruktúrou (2010 – 2013), Technológia prípravy elektrotechnických ocelí s vysokou permeabilitou určených pre elektromotory s vyššou účinnosťou (2010 – 2012), Nové materiály a technológie pre energetiku (2010 – 2013). Aktívne sa zapojilo tiež do činnosti novovytvoreného výskumného centra progresívnych materiálov a technológií PROMATECH. Finančné prostriedky z týchto projektov umožnili zakúpiť viaceré komerčné meracie aparatúry. Časť prostriedkov bola použitá aj na zaobstaranie drahých prístrojov, ktoré boli neskôr v kombinácii s „home-made“ komponentmi vyrobenými na ústave použité na stavbu unikátnych experimentálnych zariadení.

Meracia infraštruktúra získaná z prostriedkov ŠF zahŕňa:

- VSM magnetometer, typ: Microsense EV9, teplotný rozsah 100–1200 K, polia do 2.2 T,

- Magnetooptický Kerrov mikroskop firmy EVICO Magnetics, vhodný na pozorovanie doménovej štruktúry a meranie

povrchových slučiek pre magneticky mäkké materiály, od AC-hysterezigraf

firmy MagnetPhysik, umožňujúci meranie striedavých magnetických charakteristík vrátane wattových strát pre magneticky mäkké materiály vo frekvenčnom rozsahu 10 - 2000 Hz,

- Zariadenie na meranie magnetoimpedancie alebo komplexnej permeability vo frekvenčnom rozsahu 100 Hz – 110 MHz,

- „Cryo-free“ 14 T magnetický systém s 75 mm teplou dierou, kde špeciálna

piecka umožňuje realizáciu kontrolovaného termomagnetického spracovania

materiálov v silných magnetických poliach v teplotnom intervale 300 – 1200 K (vo vákuu alebo v ochrannej atmosfére),

- Magneticky tienená miestnosť (dodávateľ VACUUMSCHMELTZE, SRN), umožňuje odtienenie vonkajších magnetických polí na extrémne nízke hodnoty. Slúži na realizáciu citlivých magnetických a elektromagnetických experimentov ako i testovanie a kalibráciu ultracitlivých magnetických senzorov.

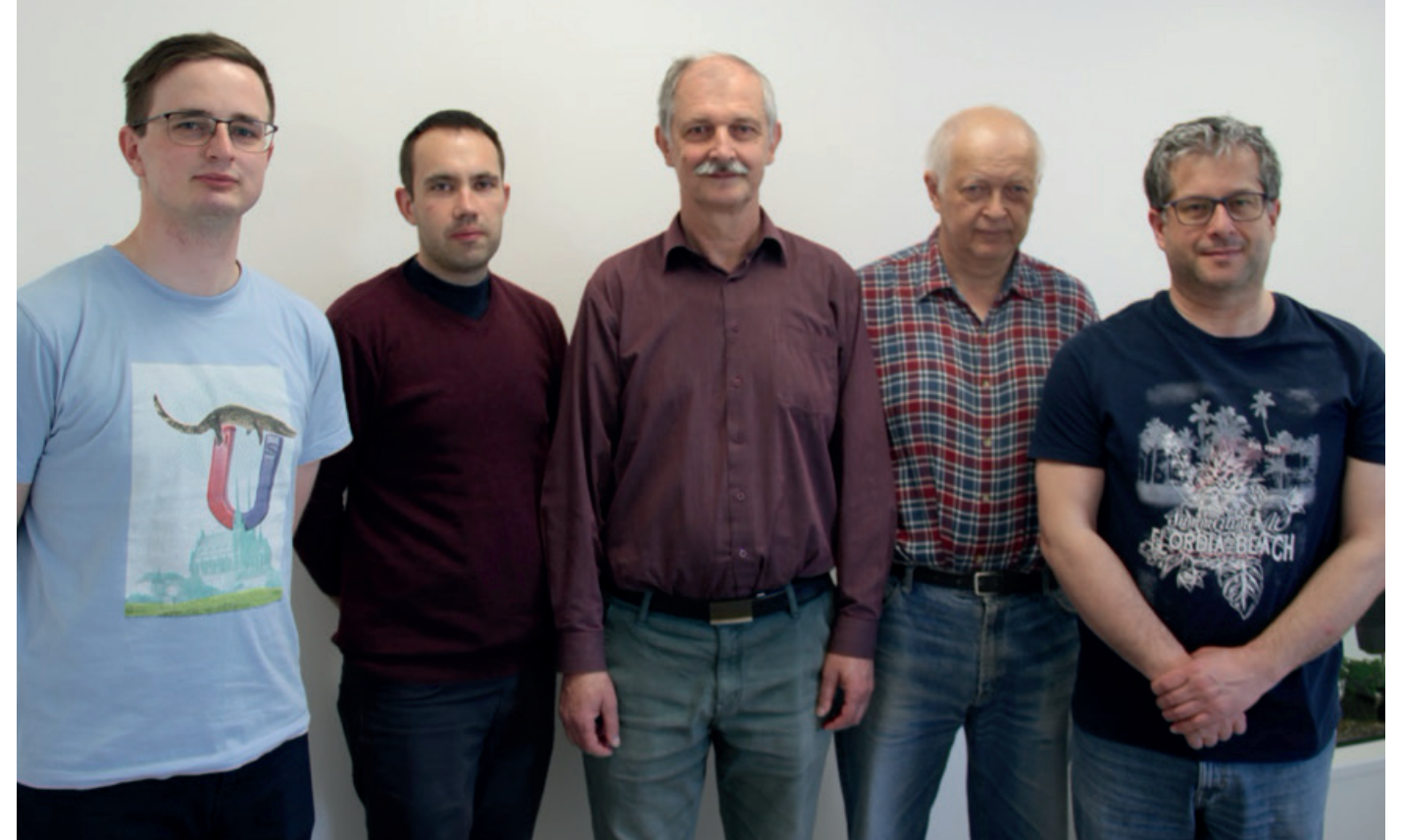
Časť experimentálnej infraštruktúry bola zhotovená doktorandami OAMN v rámci riešenia ich dizertačných prác:

F. Andrejka postavil v rokoch 2017 – 2019 zariadenie na testovanie magnetoimpedančných senzorových charakteristík amorfných a nanokryštalických materiálov v tvare tenkých pásovk alebo mikrodrôtov, ktoré umožňuje realizovať merania pri zvýšených teplotách od izbovej teploty do 300 °C.

V roku 2019 B. Kunca navrhol a postavil žihacie zariadenie pre ultrarýchle tepelné spracovanie tenkých kovových pásovk, ktoré využíva masívne medené bloky predhriate na požadovanú teplotu a umožňuje spracovanie vzoriek za prítomnosti vákuu resp. v ochrannej plynnej atmosfére.

Mladí vedeckí pracovníci na OAMN

Dôležitou súčasťou práce oddelenia je výchova mladej generácie odborníkov v oblasti nanokryštalických materiálov a aplikovaného magnetizmu. Jana Turčanová obhájila doktorandskú prácu



Kolektív OAMN (zľava: B. Kunca, F. Andrejka, I. Škorvánek, J. Kováč, J. Marcin).

cu „Magnetické vlastnosti nanokryštalických magneticky mäkkých zliatin na báze železa, niklu a kobaltu“ v roku 2009 a zostala na OAMN ďalšie 3 roky ako post-doktorandka. Marek Varga pôsobil na oddelení ako post-doktorand v rokoch 2010 – 2015. František Andrejka ukončil doktorandské štúdium v roku 2018. Téma jeho práce bola „Vplyv tepelného spracovania v externom magnetickom poli na mikroštruktúru a magnetické vlastnosti vybraných rýchlochladených zliatin“. V súčasnosti je interným doktorandom

na oddelení Branislav Kunca, ktorý kompletizuje prácu na tému „Magnetické vlastnosti vybraných rýchlochladených kompozitných materiálov s amorfnou a nanokryštalickou štruktúrou“ (plánovaný termín obhajoby je august 2020). Do vedeckých aktivít oddelenia boli zapojení aj viacerí doktorandi resp. post-doktorandi zo zahraničia, ktorí tu absolvovali výskumné pobyty hradené z externých zdrojov: Lorena Gonzalez Legarreta, post-doktorandka zo Španielska (SAIA, 10 mesiacov), Andrzej Musial, doktorand z Poľska (pobyť hradený poľskou stranou, 5 mesiacov), Piotr Gebara, post-doktorand z Poľska (SAIA, 3 mesiace), Laura Lahaye, diplomantka z Francúzska (pobyť hradený regiónom Nouvelle Aquitaine z grantu EU, 3 mesiace), Paula Lampen, doktorandka z USA (Physnet, 1 mesiac), Tatiana Eggers, doktorandka z USA (Physnet, 1 mesiac), Evgenia Mikhailitsyna, doktorandka z Ruska (SAIA, 1 mesiac) a Markus Kuhnt, doktorand z Nemecka (pobyť hradený Universitou Darmstadt, 1 mesiac).



Skutočnosť, že ústav vznikol v lone Prírodovedeckej fakulty UPJŠ v Košiciach a prvých 12 rokov svojej existencie bol lokalizovaný v priestoroch fakulty, veľmi priaznivo ovplyvnila kooperáciu jednotlivých oddelení ústavu s príslušnými katedrami fakulty pri budovaní výskumných laboratórií, pri spoločnom riešení výskumných úloh, pri spracovávaní knižných a časopiseckých publikácií, pri organizovaní vedeckých konferencií a pod. Centrum fyziky nízkych teplôt je aj dnes lokalizované v priestoroch PF UPJŠ, pričom má s Katedrou experimentálnej fyziky ÚFV PF UPJŠ spoločné laboratóriá i spoločné výskumné tímy pracujúce v tejto vednej oblasti. Niet pochýb o tom, že symbióza ústavu s príslušnými katedrami PF UPJŠ je obojstranne veľmi užitočná a uplatňuje sa nielen vo výskume, ale aj v pedagogickom procese pri výchove nových vedeckých pracovníkov v odbore fyziky. Aj spolupráca s príslušnými katedrami Fakulty elektrotechniky a informatiky či Fakulty metalurgie materiálov a recyklácie TU v Košiciach je pre nás veľmi cenná, obohacuje naše možnosti najmä v oblasti kozmickej fyziky a materiálového výskumu. Skutočnosť, že sme lokalizovaní v jednej budove s ÚMV SAV a susedíme s ÚGT SAV, umožňuje vzájomnú pomoc ústavov najmä pri využívaní prístrojovej techniky.

Fyzikálny ústav SAV v Bratislave zriadením svojho detašovaného pracoviska v Košiciach v roku 1964 vytvoril predpoklady pre vznik nášho ústavu a počas celej existencie ústavu mu vychádzal v ústrety, čo umožňuje aj v súčasnosti rozvíjať plodnú spoluprácu najmä vo fyzikálnom výskume kovových materiálov pripravených rýchlym ochladením taveniny. Naša väzba na Astronomický ústav SAV v Starej Lesnej pri výskume v oblasti kozmickej fyziky je umocňovaná aj dlhoročným spoločným úsilím o vybudovanie a prevádzkovanie vysokohorského pracoviska na Lomnickom štíte. Počas 50-ročnej histórie ústavu sa postupne rozvinula široká vedecká spolupráca ústavu s veľkým počtom vedeckých pracovísk v zahraničí. Tradičnú spoluprácu má ústav s vysokoškolskými a akademickými vedeckými pracoviskami v Českej republike, v Ruskej federácii, na Ukrajine, v Poľsku, v Maďarsku, v Nemecku atď. Postupne sa ústav zapojil do kooperácie aj takých významných vedeckých centier ako je CERN v Ženeve, DESY v Hamburgu, JINR v Dubne, CNRS v Grenobli a



pod. Dnes má ústav pracovné kontakty aj s viacerými pracoviskami v USA, Kanade, Japonsku, Španielsku, Fínsku, Číne, Taiwane, Argentíne a inde. S ohľadom na výrazne internacionálny charakter vedy je široká kooperácia vo vede v celosvetovom meradle prirodzenou súčasťou pôsobenia každého vedeckého pracoviska a podľa toho, ako efektívne dokáže pracovisko využívať možnosti takejto kooperácie, možno hodnotiť úroveň pracoviska. Podrobnejšie bola kooperácia vedeckých oddelení ústavu s pracoviskami v zahraničí popísaná na stránkach tejto publikácie.

Vedecko-publikačná činnosť je dôležitým ukazovateľom vedeckých aktivít pracoviska. Realizuje sa spravidla prostredníctvom knižných a časopiseckých publikácií. Pracovníci ÚEF sa podieľali na spracovaní niekoľkých knižných publikácií, z ktorých sú vybrané nasledovné:

- 1) Š. Jánoš: Fyzika nízkych teplôt, Alfa, Bratislava, 1980, 214 str.
- 2) V. Hajko, L. Potocký, A. Zentko: Magnetizačné procesy, Alfa, Bratislava, 1982, 318 str.
- 3) J. Dubinský, K. Kudela: Kozmické žiarenie, Veda, Bratislava, 1984, 162 str.
- 4) V. Hajko a kolektív: Fyzika v experimentoch, Veda, Bratislava, 1988, 427 str.
- 5) V. Hajko and team of authors: Physics in experiments, Veda, Bratislava, 1997, 313 str. (anglická verzia prepracovanej publikácie, uvedenej pod č. 4)
- 6) J. Antoš, D. Bruncko, J. Ferencei, E. Kladiva, M. Seman, P. Stríženec: The Performance of the ATLAS Detector, Editor ATLAS Collaboration, Springer, Heidelberg, 2010, 274 str.
- 7) P. Samuely a kol: Kryofyzika a nanoelektronika, ÚEF SAV, Košice, 2011, 338 str.

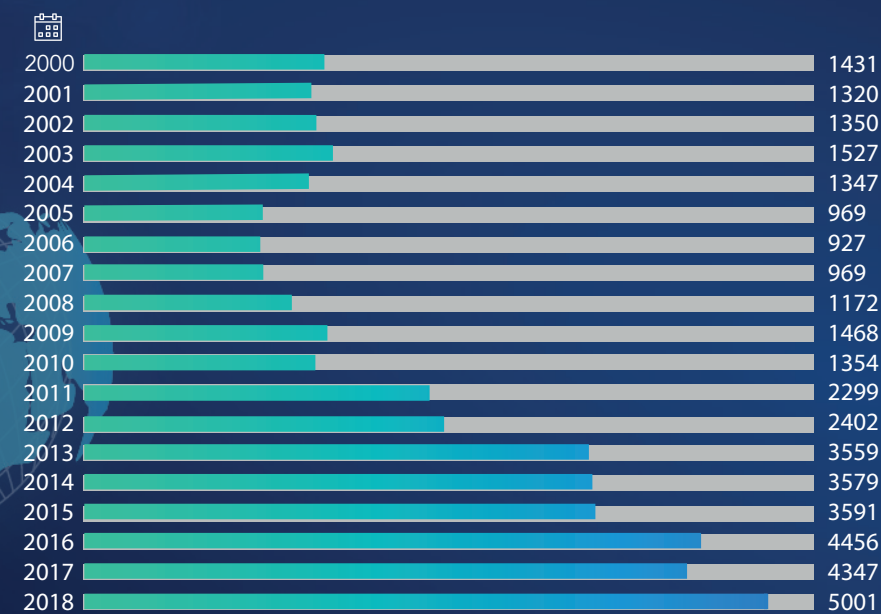
- 8) P. Farkašovský, H. Čenčariková: Cooperative phenomena in strongly correlated systems: numerical studies of collective phenomena in solids, LAP LAMBERT Academic Publishing, Saarbrücken, 2011, 178 str.
- 9) H. Čenčariková: Počítačová fyzika a modelovanie, ÚEF SAV, Košice, 2019, 110 str.

Pracovníci ústavu prispievali do významných monografií vydaných v zahraničí svojimi kapitolami:

- 1) M. Sedlák je autorom troch kapitol v monografiách Static Light Scattering, Clarendon Press Oxford, 1996, Physical Chemistry of Polyelectrolytes, Marcel Dekker New York, 2001 a Macroion Characterization, ACS Books, Washington D.C., 1993
- 2) M. Hnatič a M. Stehlík sú spoluautormi kapitoly v knihe Progress in Turbulence Research, séria Progress in Astronautics and Aeronautics, Vol. 162, editor A.R. Seebass, American Institute of Astronautics and Aeronautics, Washington, 1994
- 3) P. Samuely je autorom kapitoly v monografii Studies of High Temperature Superconductors, Vol. 20, editor A. Narlikar, Nova Science Publishers, New York, 1996

Publikácie

Postupne, ako narastal počet pracovníkov ústavu a zvyšovala sa efektivnosť ich tvorivej práce, rástol aj počet vedeckých článkov, ktoré publikovali vo vedeckých časopisoch. Rozsah tejto činnosti je zrejmý z číselných údajov získaných z databáz Web of Science (WOS) a SCOPUS za posledných 19 rokov.



Citácie

V ústave sa dlhodobo sleduje ohlas na vedecké práce pracovníkov ústavu vo vedeckom svete. Dôležitým ukazovateľom v tomto smere je počet citácií týchto prác, a to najmä v zahraničných časopisoch. Ich relatívne vysoký každoročný počet je zrejmý z údajov za roky 2000 až 2018 získaných z databáz WOS a SCOPUS.

Ústav kladie dôraz na kvalitu publikácií, ktorú možno preukázať publikovaním v špičkových časopisoch kategórie Nature Index. Uvedené sú príklady od roku 2017:

- G. Zhang, T. Samuely, H. Du, Z. Xu, L. Liu, O. Onufriienko, P. W. May, J. Vanacken, P. Szabó, J. Kačmarčík, H. Yuan, P. Samuely, R.E. Dunin-Borkowski, J. Hofkens, V. V. Moshchalkov: Bosonic confinement and coherence in disordered nanodiamond Arrays, ACS Nano 11, 11746 (2017)
- G. Zhang, T. Samuely, Z. Xu, J. K. Jochum, A. Volodin, S. Zhou, J. Vanacken, P. W. May, O. Onufriienko, J. Kačmarčík, J. A. Steele, J. Li, J. Vanacken, J. Vacík, P. Szabó, H. Yuan, M. B. J. Roeffaers, D. Cerbu, P. Samuely, J. Hofkens, V. V. Moshchalkov: Superconducting ferromagnetic nanodiamond, ACS Nano 11, 5358 (2017)
- ALICE (P. Kaliňák, I. Králik, M. Krivda, J. Mušínský, L. Šándor et al.): Enhanced production of multi-strange hadrons in high-multiplicity proton-proton collisions, Nature Physics 13, 535-539 (2017)
- A. H. A. Hassan, R. J. H. Morris, O. A. Mironov, S. Gabáni, A. Dobbie, D. R. Leadley: An origin behind Rashba spin splitting within inverted doped sGe heterostructures, Applied Physics Letters 110, 042405 (2017)
- P. Farkašovský: Formation and condensation of excitonic bound states in the generalized Falicov-Kimball model, Physical Review B 95, 045101 (2017)
- J. Kačmarčík, I. Vinograd, B. Michon, A. Rydh, A. Demuer, R. Zhou, H. Mayaffre, R. Liang, W. N. Hardy, D. A. Bonn, N. Doiron-Leyraud, L. Taillefer, M.-H. Julien, C. Marcenat, T. Klein: Unusual interplay between superconductivity and field-induced charge order in YBa₂Cu₃O_y, Physical Review Letters 121, 167002 (2018)
- P. Hlawenka, K. Siemensmeyer, E. Weschke, A. Varykhalov, J. Sánchez-Barriga, N. Y. Shitsevalova, A. V. Dukhnenko, V. B. Filipov, S. Gabáni, K. Flachbart, O. Rader, E. D. L. Rienks: Samarium hexaboride is a trivial surface conductor, Nature Communications 9, 517 (2018)
- N. Emi, N. Kawamura, M. Mizumaki, T. Koyama, N. Ishimatsu, G. Pristáš, T. Kagayama, K. Shimizu, Y. Osanai, F. Iga, T. Mito: Kondo-like behavior near the magnetic instability in SmB₆: Temperature and pressure dependences of the Sm valence, Physical Review B 97, 161116(R) (2018)
- M. Človečko, E. Gažo, M. Kupka, P. Skyba: Magnonic analog of black and white hole horizons in superfluid 3He-B, Physical Review Letters 123, 161302 (2019)
- M. Človečko, P. Skyba: Quartz tuning fork – A potential low temperature thermometer in high magnetic fields, Applied Physics Letters 115, 193507 (2019)
- D. Rak, M. Ovadová, M. Sedlák: (Non)existence of bulk nanobubbles: The role of ultrasonic cavitation and organic solutes in

water, Journal of Physical Chemistry Letters 10, 4215-4221 (2019)

- B. Michon, C. Girod, S. Badoux, J. Kačmarčík, Q. Ma, M. Dragomir, H. A. Dabkowska, B. D. Gaulin, J.-S. Zhou, S. Pyon, T. Takayama, H. Takagi, S. Verret, N. Doiron-Leyraud, C. Marcenat, L. Taillefer, T. Klein: Thermodynamic signatures of quantum criticality in cuprate superconductors, Nature 567, 218 (2019)
- P. Neilinger, J. Greguš, D. Manca, B. Grančič, M. Kopčík, P. Szabó, P. Samuely, R. Hlubina, M. Grajcar: Observation of quantum corrections to conductivity up to optical frequencies, Physical Review B 100, 241106(R) (2019)
- V. Yu. Verchenko, A. O. Zubtsovskii, Z. Wei, A. A. Tsirlin, M. Marcin, A. V. Sobolev, I. A. Presniakov, E. V. Dikarev, A. V. Shevelkov: Endohedral cluster superconductors in the Mo-Ga-Sn system explored by the joint flux technique, Inorganic Chemistry 58, 15552 (2019)
- M. Bravo-Hernandez, ..., Z. Tomori, ... M. Marsala: Spinal subpial delivery of AAV9 enables widespread gene silencing and blocks motoneuron degeneration in ALS, Nature Medicine 26, 118-130 (2020)
- H. Herrmann, P. Hlawenka, K. Siemensmeyer, E. Weschke, J. Sánchez-Barriga, A. Varykhalov, N. Y. Shitsevalova, A. V. Dukhnenko, V. B. Filipov, S. Gabáni, K. Flachbart, O. Rader, M. Sterrer, E. D. L. Rienks: Contrast reversal in scanning tunneling microscopy and its implications for the topological classification of SmB₆, Advanced Materials, 1906725 (2020)



Vedecké konferencie

Ústav sám alebo v spolupráci s inými inštitúciami organizoval a organizuje vedecké významné podujatia (konferencie, semináre, letné školy), zamerané na konkrétnu vedeckú problematiku. Pre ilustráciu sú uvedené aspoň nasledovné podujatia:

- 9th European Cosmic Ray Symposium (ECRS), Košice 1984
 - European Conference on Magnetism and Magnetic Materials (EMMA), Košice 1993
 - 25th International Symposium on Multiparticle Dynamics, Stará Lesná 1995
 - European Magnetospheric Satellite Network (EM-SNET), Vysoké Tatry 1995
 - Ultralow Temperature Conference, Vysoké Tatry 1996
 - NATO Advanced Research Workshop – Coordinate Study of the Solar Wind – Magnetosphere – Ionosphere Interaction. Interball Observation, Košice 1998
 - International Conference on Point Contact Spectroscopy, Stará Lesná 2002
 - Renormalization Group, Tatranská Štrba 2002
 - ESF COSLAB Network Conference (Cosmology in Laboratory), Smolenice 2005
 - Soft Magnetic Materials (SMM17), Bratislava 2005
 - 11th International Conference on Magnetic Fluids, Košice 2007
 - 21st European Cosmic Ray Symposium (ECRS), Košice 2008
 - Microkelvin, Smolenice 2011
 - Physics in Collision, Štrbské Pleso 2012
 - 9th International Conference NANOFLUID, Stará Lesná 2014
 - ATLAS Hadron Calibration Workshop (HCW), Bratislava 2015
 - 3rd NGP-NET Symposium on Non-Globular Proteins, Košice 2017
 - CryoCourse EMP H2020 „European school of low temperature physics and technique“, Zemplínska šírava and Košice 2019
- Pravidelné medzinárodné konferencie:**
- Czech and Slovak Conference on Magnetism (CSMAG), Košice
 - Hadron Structure, Stará Lesná, Herľany, Modra, Tatranské Matliare, ...
 - Structure and Stability of Biomacromolecules (SSB), Košice
 - Mathematical Modeling and Computational Physics (MMCP), Stará Lesná
 - Small Triangle Meeting on Theoretical Physics (STM), Snina, Spišské Tomašovce, ...
 - Metallography and Fractography, Vysoké Tatry
 - Processing and Applications of Superconducting Bulk Materials (PASREG), Praha

Ústav je externou vzdelávacou inštitúciou pre budúcich magistrov (UPJŠ) a inžinierov (TUKE), ale hlavne pre domácich a zahraničných doktorandov v nasledovných študijných odboroch a programoch doktorandského štúdia s prislúchajúcimi garantmi a rámcovými dohodami (RD):

Študijný odbor Elektrotechnika (garant: K. Flachbart):

- Fyzikálne inžinierstvo (garant: K. Flachbart, RD s FEI TUKE)

Študijný odbor Fyzika (garant: P. Samuely):

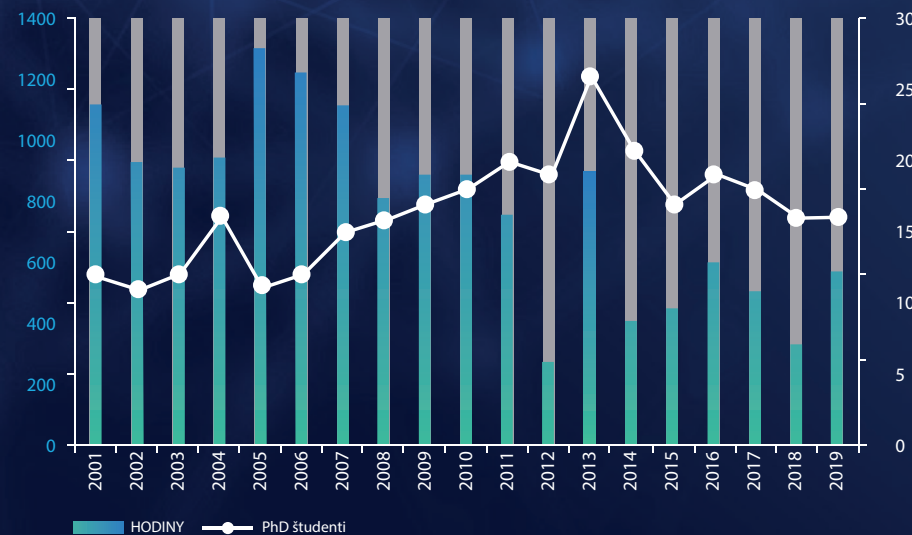
- Fyzika kondenzovaných látok (garant: P. Samuely, RD s PF UPJŠ)

- Všeobecná fyzika a matematická fyzika (garant: P. Farkašovský, RD s PF UPJŠ)
- Biofyzika (garant: A. Musatov, RD s PF UPJŠ)
- Progresívne materiály (garant: I. Škorvánek, RD s PF UPJŠ)

Študijný odbor Strojárstvo (garant: M. Mihalik):

- Materiály (garant: M. Mihalik, RD s FMFR TUKE)

Za posledných 20 rokov vedeckí pracovníci ústavu odučili tisíce hodín formou prednášok a cvičení a vyškolili stovky doktorandov, diplomantov a bakalárov:



Jednou z foriem vzdelávania a výchovy je aj popularizácia fyziky, ktorá sa realizuje prostredníctvom množstva aktivít ako Noc výskumníka, Týždeň vedy a techniky, Víkend s SAV, Vedecký brloh, Space:Lab:Talk, Masterclasses, Ľudská

slza ako umenie atď. Ústav má veľký podiel na vzniku a prevádzke Steel Parku v Košiciach, ktorý denno-denne funguje ako Kreatívna fabrika pre širokú slovenskú ale aj zahraničnú verejnosť od roku 2013. Významné osobnosti ústavu sa pravidelne objavujú v televíznych reláciách (Experiment či Anjeli strážni na STV, Veda na dosah na TA3, správy na STV, Markíze, JOJ atď.).



Časť tímu ľudí z Oceliarne US Steel, UPJŠ, TUKE a ústavov SAV, ktorí pracovali na jednotlivých exponátoch Kreatívnej fabрики Steel Park a pričinili sa o jej vznik.



Ústav experimentálnej fyziky SAV sa pravidelne zúčastňuje najmasovejšej popularizačnej akcie roka „Noc výskumníka“, ktorá sa uskutočňuje v Košiciach od roku 2010 v OC Optima.

Zoznam pracovníkov, ktorí pôsobili resp. pôsobia na ÚEF SAV

A				D				
		Bánó Mikuláš	1969	2007	Csach Kornel	1977	trvá	
		Bánovský František	1995	1999	Cseplo Vincent	1996	1997	
Agafonov Boris	1978	1985	Bargerová Viktória	1984	1986	Čenčariková Hana	2001	trvá
Albrecht Oliver	1969	2010	Baťko Ivan	1986	2019	Černák Jozef	1985	1993
Alexiová Zuzana	2008	2011	Baťková Marianna	1991	trvá	Černík Martin	1987	1989
Allmann D.	2001	2002	Bednarčík Jozef	2019	trvá	Človečko Marcel	2005	trvá
Andrejka František	2014	trvá	Bednáriková Zuzana	2011	trvá	Čuraj Anton	2007	2009
Andrlík Július	1988	1993	Belan Rudolf	1979	1985	Čurlík Ivan	2008	2015
Antal Iryna	2012	trvá	Belková Mária	1985	trvá			
Antal Vitaliy	2007	trvá	Benko Peter	1982	1985			
Antalík Marián	1984	2019	Berka Vladimír	1983	2006			
Antalová Anna	1993	2001	Berková Zuzana	1990	2002	Dančo Michal	2011	2018
Antoňák Marek	2009	2014	Bernátová Iveta	1984	1993	Darányi Tomáš	2003	2009
Antoš Jaroslav	1976	2015	Bicák Štefan	1975	2013	Datko Matej	1972	1975
Antošová Andrea	2009	trvá	Bílek Richard	2008	trvá	Daxnerová Zuzana	1990	1993
			Binko Pavel	2010	2014	Dedinová Katarína	1969	1982
			Bobík Pavol	1997	trvá	Degro Ján	1981	1984
			Bodonský Dušan	1970	1974	Demčáková Mária	2012	2017
Babík Marián	2001	2010	Bombara Marek	2001	2006	Demjén Erna	2001	2016
Bačík Jozef	2013	2015	Bona Martin	1986	1992	Demkovicsová Eva	1977	1981
Bačinský Ivan	1974	1978	Borovský Jozef	2012	2013	Diko Pavel	1971	trvá
Bačkovská Helena	1979	1984	Brasová Marcela	1999	trvá	Dirner Alexander	2010	2013
Bágelová Jaroslava	1984	2015	Brenkus Radovan	1997	2008	Dirnerová Ida	1977	2006
Bagiová Mária	1984	1987	Brosztl Viliam	1969	2011	Dlugošová Zuzana	1981	1992
Baláž Ján	1982	trvá	Bruncko Dušan	1979	trvá	Dorko Jaroslav	1991	1993
Baláž Martin	2011	2013	Bučík Radoslav	1994	2012	Drozda Juraj	2005	2015
Balco Peter	1995	1997	Burík Andrej	2017	2018	Drozda Rudolf	1980	2015
Balejčíková Lucia	2011	2019	Buša Ján	2017	trvá	Dubinský Juraj	1969	1985
Balík Libor	1979	1985				Duplinský J.	2001	2001
Ballová Jolana	1985	1987				Đuriš Tibor	1969	1989
Baloghová Monika	2011	trvá						
Balogová Jana	2007	2009	Capik Marek	2010	2015			
Balogová Mária	1981	1997	Ceniga Ladislav	1994	2000			
Balun Jozef	1984	1987	Ciffrová Anna	2011	2012	Eliášová Viera	1986	1990
Balun Vladimír	1984	1992	Colella Domenico	2015	2018	Eľková Gizela	1996	1999
Bán Jaroslav	1978	2017	Coma Michal	1978	2011			

F				H				
		Gažo Emil	1985	trvá	Horváth Denis	1988	1997	
		Gažová Zuzana	1984	trvá	Horváthová Marta	1985	1992	
Fabian Marián	1984	2006	Geciková Radka	2011	2015	Hrabčák Miroslav	1984	1990
Farkašovský Pavol	1985	trvá	Girovský Ján	2009	2011	Hrabčák Pavol	2010	2014
Fedák Vojtech	1980	1988	Gobl Michal	1988	1992	Hrmo Igor	1995	trvá
Fedáková Eva	1981	2012	Grác Jozef	2003	2006	Hronovská Marianna	2007	2008
Fedor S.	2002	2005	Grega Stanislav	1986	1988	Hudák Jozef	1980	1992
Fedorišin Ján	2011	2020	Grigel Viktor	1991	1994	Hudák Ondrej	1982	1990
Fedunová Diana	1995	trvá	Gyálai Gyula	2002	2011	Hutňan E.	2003	2005
Fedurco Milan	1989	1992	Gyöngyösiová Erika	1995	2009	Hvizdoš Ľudovít	2007	2010
Fehér Tomáš	2015	2016	Gyorgy Ladislav	1971	1974	Chomičová Anna	1969	2010
Fercei Jozef	1982	2015				Chytráček Radovan	1994	2005
Figura Michal	2009	2010						
Filčáková Eva	1969	1986						
Filičko Ján	2013	2018	Hajdová Petra	2015	trvá			
Fink Štefan	2010	trvá	Hajdu Eugen	1969	2010	Ilenčík Jozef	1969	1979
Firoz Kazi	2004	2005	Hajko Vladimír	1982	1989	Ilkovič Vladimír	2013	2018
Flachbart Karol	1976	trvá	Hajko Vladimír, ml.	1978	1997	Ivančáková Martina	2012	trvá
Fričová Oľga	1993	1996	Halač Jozef	1982	1992	Ivanišová Anna	1997	trvá
Furinová Miroslava	2019	trvá	Halža E.	2003	2004			
Futó Andrej	1976	1981	Hamráček Ivan	2008	2012			
			Hanko Ján	2009	2009			
			Harantová Anna	1979	1988	Jacko Jozef	2016	trvá
			Harčarufková Katarína	1985	1987	Jacko Richard	2013	trvá
Gabáni Slavomír	2000	trvá	Harman Imrich	1980	1983	Jalčová Hilda	1984	1992
Gábor Dušan	2018	trvá	Hashim Anežka	2006	2017	Janek Marián	2008	2008
Gabrielová Eva	1979	1979	Hašková Veronika	2013	2017	Janku Vladimír	1981	1986
Gagyi Ladislav	2009	2010	Hatiarová Veronika	2017	2019	Jánoš Štefan	1978	1984
Gajdošová Glória	2013	2015	Helcmanovský Ján	1986	1990	Jánošová Helena	1980	1984
Gál Peter	2013	2013	Herchl František	2002	2008	Jendrichovský Filip	2009	2010
Gál Štefan	1996	2001	Hnatič Michal	1983	trvá	Jeníková Michaela	2015	2019
Gálová Zuzana	1984	1996	Hnatič Slavomír	2009	trvá	Jesenský Ladislav	1975	1978
Gančár Miroslav	2016	trvá	Hnatičová Gabriela	1994	trvá	Juhás Ján	1986	1988
Garčárová Ivana	2019	trvá	Homola Jozef	1989	1990	Jurčišin Marián	1996	trvá
Gargalík Radoslav	2014	2014	Horkavá Ingrid	1988	1990	Jurčišinová Eva	1995	trvá
Gažiová Jana	2010	2013	Hornák Rastislav	2011	2011	Jurčo Ivan	1983	trvá

Jurečková Jana	2013	2016	Kohan Ladislav	1987	2006	Kulík Peter	1977	2013
Juríková Alena	1989	trvá	Kolajová Mária	1984	2006	Kuľka Peter	2019	trvá
Jurko Peter	2002	trvá	Kolcún Jozef	2011	2014	Kulkarni Prasanna	2013	2014
Jusko Anton	1982	2006	Kollár Ladislav	1984	1987	Kuľková Ingrid	1991	trvá
Just Ladislav	1969	2004	Kollár Vladimír	1982	2011	Kumičáková Eva	1969	1974
			Kollárik Marek	2013	trvá	Kunca Branislav	2016	trvá
			Komanický Vladimír	2007	2015	Kupka Martin	1981	trvá
			Kondášová Kamila	2012	2014	Kurča Tibor	1978	2006
			Koneracká Martina	1991	trvá	Kurimská Marcela	2016	trvá
Kačmarčík Jozef	1995	trvá	Kopčanský Peter	1982	trvá	Kuzmiak Marek	2019	trvá
Kačmarčíková Eva	1998	2006	Kopčík Michal	2016	trvá			
Kafka Dušan	1969	1970	Kopf Tomáš	1990	1993			
Kalafus Imrich	1987	1991	Koppel Róbert	2011	2013			
Kalavský Ján	2017	2017	Koprovíčová Mária	1972	1974	Lacko Peter	1978	1990
Kaliňák Peter	2008	trvá	Koreník František	1970	1993	Lacková Veronika	2013	trvá
Kaliský Stanislav	2009	2013	Koribanič Juraj	2007	trvá	Lalkovičová Mária	2017	trvá
Kancírová Mária	2012	2013	Koško Marcel	1986	1990	Lancz Gábor	2007	2011
Kaňuchová Mária	2006	2009	Kováč Jozef	1977	trvá	Langer Ronald	1985	trvá
Kapitančíková Marta	1971	1993	Kováč Ladislav	1981	1990	Lányiová Alena	1985	1993
Kappan Ján	1992	1999	Koval Pavol	2016	trvá	Lapšanská Ludmila	2009	2015
Karel Vojtěch	1977	1988	Kovalik Martin	2018	trvá	Lavičková Elena	2009	2010
Karpets Maksym	2019	trvá	Kožár Tibor	1976	2018	Lazúrová Jana	2011	2015
Kasardová Eva	1982	2005	Kožlejová Eva	1980	1992	Legén Gejza	1984	1993
Kastély František	1987	1990	Králik Ivan	1989	trvá	Legényová Agnesa	1977	1997
Kašpárková Mária	1984	1993	Králik Viktória	2006	2006	Lehocká Sabína	2015	2015
Kavečanský Viktor	1976	trvá	Krasnay Zdenko	1991	1995	Lehotský Vladimír	1983	1992
Kažiková Veronika	2018	2019	Kravčíková Mária	1982	1984	Lencsesová Angela	2010	2013
Kertész Štefan	1989	1992	Krčmárik S.	2002	2002	Lengová Monika	2013	2015
Keša Peter	2013	2017	Kreibiková Ľubica	2012	2012	Lešňanský Michal	1997	2002
Khmara Iryna	2016	trvá	Krenický Tibor	2001	2009	Lipčeiová Miriam	2006	2012
Kilbovskaja Zinaida	2009	2011	Kriváň František	1978	2007	Lisý Vladimír	2010	2015
Kimák Ivan	1979	1994	Krivda Marián	2002	trvá	Litavec Tadeáš	1988	1990
Kimák Ivan	1998	1999	Kruželáková Magda	1990	1996	Lojďová Eva	2010	2012
Kishová Y.	2001	2001	Kubacková Jana	2015	trvá	Lučanská Daša	2017	2019
Kislíková Iveta	1987	1988	Kubányi Zoltán	1969	1978	Lučivjanský Tomáš	2009	2015
Kladiava Eduard	1981	2017	Kubovčíková Martina	2010	trvá	Lukáčová Mária	2006	2008
Klembala Tibor	1997	1997	Kudela Karel	1971	2019	Lupták Miloslav	1984	2002
Klobušníková Helena	1988	1990	Kudláčová Júlia	2008	2010	Luteránová Verona	1986	1992
Kmecová Regína	1985	2012	Kuchár Anton	1984	1986	Lysák Roman	2003	2010
Knapík František	2002	2011	Kuchárová Veronika	2019	trvá			
Kocper Branislav	1993	2001	Kuchárska Helena	1979	2000			
Kočan Pavol	1984	1992	Kukoricás Róbert	1985	1987			
Kočan Viktor	2009	trvá	Kukoricásová Terézia	1972	1984	Macko Daniel	1984	1986
Kočanová Valéria	2009	trvá						

Macko Pavol	1987	1993	Moyzeš Peter	1984	1995	Paulovičová Katarína	1995	trvá
Macková Oľga	1971	1974	Mrúz Štefan	1989	1992	Pavlík Vladimír	1986	2018
Mackovjak Šimon	2016	trvá	Mrva Vladimír	1984	1987	Pavliško Ján	1975	1985
Mačejovská Jarmila	1989	1990	Mulík Vasil	2002	2009	Pechová Zdenka	1989	1990
Majorošová Jozefína	2012	2019	Murgášová Renáta	1991	1993	Petrák František	1984	2000
Makróczyová Viera	1985	1988	Murín Pavol	1980	trvá	Petrovič Vladimír	1980	2011
Malinay Dominik	1984	1987	Musatov Andrey	1985	trvá	Petrovský Jozef	1969	1970
Maraček Richard	1993	2001	Mušinský Ján	2013	trvá	Pinčák Richard	2000	trvá
Marcenat Christophe	2008	2008				Piovarči Samuel	2009	2017
Marcin Jozef	1995	trvá				Pirigyí Pavol	1988	1992
Marcin Miroslav	2016	trvá				Piroš Marián	2019	trvá
Marek Jozef	1986	trvá	Nagy Ervin	2013	2013	Piroško Imrich	2014	trvá
Martončíková Terézia	1992	1993	Nagy Peter	2005	2008	Pirošová Mária	2006	trvá
Maťaš Slavomír	1989	2012	Nagyová Mária	2014	2015	Podhradský Slavomír	1977	1991
Matej Vladimír	1983	1993	Nemčík Ján	1986	trvá	Pokrivňáková Anna	2010	2015
Mati Štefan	1990	1994	Neubeler Ivo	1989	1990	Pólosová Valéria	1975	1981
Matis S.	2002	2004	Neumaier Karl	2006	2007	Pompeová Mária	1984	1999
Matišin Ján	1975	1994	Nigutová Hilda	1991	1992	Poniková Slavomíra	2014	2015
Matišinová Anna	1980	1988	Nikorovič Matej	2014	2018	Popovičová Dagmar	1988	1989
Mátošová Štefánia	2010	2012	Nináč Jaroslav	2019	trvá	Potocký Ladislav	1969	1982
Medeová Marcela	1991	trvá	Novák Ladislav	1974	1998	Potočová Ivana	1997	2008
Medvecká Zuzana	2013	2018	Nulandaya Limpat	2019	trvá	Pravcová Zuzana	2010	2010
Megles Július	1996	2002	Nyéki Ján	1982	2002	Prekop Július	2001	2009
Menkyna Martin	2016	trvá				Pribišová Judita	2012	trvá
Menšík Oldřich	2016	2018				Priputen Pavol	2004	2008
Mihalik Marián	1980	trvá				Pristáš Gabriel st.	1990	2015
Mihálik Matúš	2012	trvá	Ocelík Václav	1982	2008	Pristáš Gabriel ml.	2004	trvá
Mihálik Vasil	1985	1990	Olejár Róbert	1991	1992	Pristáš Radoslav	2003	2003
Michalčíková Mária	1984	1988	Onufriienko Oleksandr	2018	trvá	Prostredná M.	2005	2005
Mikitová Miriam	2006	2010	Orendáč Matúš	2015	trvá	Pudlák Michal	1983	trvá
Mikulášik Radoslav	2017	2017	Ovadová Michaela	2017	trvá	Putiš Marián	2012	trvá
Milkovič Ondrej	2019	trvá						
Miškuf Jozef	1973	trvá						
Mitróová Zuzana	1991	trvá						
Mizov Maxim	2012	2015	Paholič Gabriel	1980	1983	Radušovská Monika	2010	trvá
Mižáková Zlatica	1997	1999	Palko Tomáš	2010	2010	Rajňák Michal	2011	trvá
Mižišin Lukáš	2017	trvá	Palková Eva	2013	2015	Rak Dmytro	2012	trvá
Mlýnek Radomír	1969	1977	Palková Henrieta	2009	2011	Regeciová Ľubomíra	2017	trvá
Molčan Matúš	2010	trvá	Paluch Ľuboš	1988	1990	Reiffers Marián	1979	trvá
Molčanová Zuzana	2013	2017	Paľuchová Viktória	2013	2017	Remecký Richard	2007	trvá
Molnárová Eva	1984	1995	Parnahaj Igor	2012	2014	Rendek Marián	1971	1982
Molokáč Štefan	1978	2002	Parnica Jozef	2011	2014	Repašan Marián	2002	2005
Motyková Katarína	2016	2019	Pastirčák Blahoslav	1983	trvá	Rezenov Maxim	2012	2017

Ridarčíková Valéria	1986	1991	Sopková Filoména	2016	trvá	Šuster Dušan	2007	2010
Ristvejová Ľudmila	1987	2016	Soroková Božena	2006	2018	Švarcberger Jiří	1985	1994
Rojko Jozef	1969	1996	Sováková Iveta	1983	1986	Švarcbergerová Dana	1989	trvá
Roman Jozef	1993	1996	Spodniaková Barbora	2019	trvá	Švidroň Valentín	1992	1993
Roškanin Miroslav	1989	1990	Staničová Jana	1984	1986	Švitlerová Zdenka	1984	1988
Rozík R.	2001	2002	Stehlík Milan	1975	2018			
Rushchak Mykhaylo	2011	2012	Stier Alexander	1988	1994			
Rusnáková Eva	1982	1989	Straka Miloslav	2006	trvá			
Rybanský Milan	2004	2012	Strhářský Igor	1992	trvá	Takáčová Iveta	2010	2014
			Stríženec Pavol	1990	trvá	Thomová Zora	1991	1993
			Sůra Roland	2018	trvá	Tilňák Ján	1981	1983
			Szabó Pavol	1991	trvá	Tima Teodor	1970	1995
			Szalonna Ferdinand	1985	1990	Timko Ján	2010	trvá
			Szaniszlóová Eva	1984	1986	Timko Milan	1977	trvá
			Szillasi Viliam	2017	2017	Timková Mária	1989	2003
			Szunyogová Erika	2001	2003	Timkovič Andrej	1983	1986
			Šafařík Karel	1986	2006	Tobiáš Tomáš	2016	2019
			Šándor Ladislav	1969	2014	Tomasz Filip	2005	2008
			Šandrej Ján	1986	1989	Tomašovičová Natália	1987	trvá
			Šefčíková Martina	2000	2016	Tomčo Ladislav	2011	2015
			Šemšáková Mária	1969	2013	Tomičová Anna	1969	2013
			Šenkovič Michal	2007	2013	Tomori Zoltán	1984	trvá
			Šiket M.	2003	2003	Tóthová D.	2005	2006
			Šimšíková Michaela	2011	2012	Tóthová Jana	2010	2015
			Šipoš Milan	1985	1990	Trošková Magdaléna	1974	1991
			Šipošová Katarína	2010	trvá	Turčanová Jana	2005	2012
			Škorvánek Ivan	1981	trvá			
			Škrinárová Mária	1989	2010			
			Šofranko Ondrej	2017	trvá			
			Šoltés Igor	1985	1995	Uličiansky Stanislav	1975	2014
			Šoltés Jozef	1975	1983	Urban P.	2003	2004
			Špalek Jozef	1969	trvá	Urbán Jozef	1994	trvá
			Špaleková Magdaléna	1969	1978	Urbánová Vlasta	1980	1991
			Šprinc Stanislav	2001	2008			
			Šprincová Adriana	2006	2008			
			Štammová Valéria	1974	2009			
			Štefan Pavol	1987	1994	Vachal'ová Emília	1993	2003
			Štefánik Samuel	1976	trvá	Val'a Martin	2008	trvá
			Štetiarová Jana	1984	trvá	Valenčík Ľubomír	1982	1988
			Štrbák Oliver	2004	2004	Valkár Štefan	1971	1982
			Štrbinová Viera	1987	trvá	Val'ová Lucia	2015	2015
			Štrompová Vlasta	1985	1994	Valušová Eva	2007	trvá
			Šupicová Dana	1992	1996	Valyiková Viera	1994	1996

S

T

Z



Kontakt:

Ústav experimentálnej fyziky SAV
Watsonova 47, 040 01 Košice
Slovenská republika
Telefón: +421 55 792 2201
Fax: +421 55 633 62 92
e-mail: sekr@saske.sk
web: https://wwwnew.saske.sk/uef/

Publikáciu vydal:

© Ústav experimentálnej fyziky SAV Košice

Texty:

© Oddelenia Ústavu experimentálnej fyziky SAV Košice

Redaktor:

Slavomír Gabáni

Fotografie:

Juraj Sasák

archív Ústavu experimentálnej fyziky SAV Košice

Grafická úprava

Juraj Sasák, XLPIXEL MEDIA

www.xlpixel.sk

Jazyková redakcia

Nika Antolová

www.korekcie.sk

Tlač:

Vienala s.r.o., Textilná 4, 040 12 Košice

Rok vydania:

2020



wwwnew.saske.sk/uef/