

TECHNICALL[®]

ČTVRTLETNÍK ČESKÉHO VYSOKÉHO UČENÍ TECHNICKÉHO V PRAZE II 2018



ČVUT

ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE



nové téma...

...nájemní bydlení

nová porota...

Regina Loukotová

Michal Fišer

Adam Halíř

Miroslav Vodák

Jan Vondrák

nová kritéria...

- naplnění potenciálu nájemního bydlení
- bezprostřední zapojení návrhu do kontextu místa
- následný přínos pro společenský život v blízkém i vzdáleném okolí

uzávěrka: 28. 6. 2019

GENERÁLNÍ PARTNER



PARTNEŘI



PARTNERSKÉ ŠKOLY



HLAVNÍ MEDIÁLNÍ PARTNEŘI



11. ROČNÍK ARCHITEKTONICKÉ SOUTĚŽE PRO STUDENTY A MLADÉ ARCHITEKTY DO 33 LET

11. ročník

Young Architect Award

V době, kdy jsme schopni postavit rodinný dům za jedno léto, ten pak ovládat mobilem z druhé strany zeměkoule, se zároveň tzv. dostupné bydlení pro významnou část společnosti čím dál více stává nedostupným. Dokážeme jako architekti politikům jejich rozhodování usnadnit? Může situaci pomoci větší nabídka nájemního bydlení? Dokáže být nájemní bydlení skutečně dostupné?

www.yaa.cz
www.abf.cz

doc. RNDr. VOJTĚCH PETRÁČEK, CSc.
Vojtech.Petracek@cvut.cz



Vážené čtenářky, vážení čtenáři,

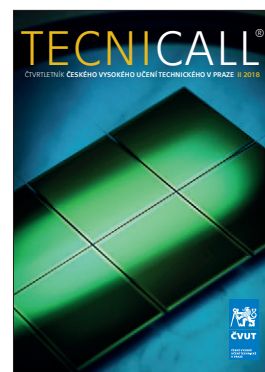
těší mě, že držíte v rukou další vydání našeho časopisu TecniCall. Tématem tohoto čísla je představení Ústavu teoretické a experimentální fyziky ČVUT. Za pozornost stojí rozhovor s ředitelem ÚTEF doc. Ing. Ivanem Šteklm, CSc., či článek o aplikaci detektoru na oběžné dráze. Každá fakulta, ústav, výzkumné pracoviště v současné době „bojuje“ o talentované spolupracovníky. Proto mám velkou radost, že naši studenti získávají ocenění v prestižních soutěžích, jako je Amazon Alexa Prize, Česká

hlava či cena Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy ČR v oblasti vysokého školství, vědy a výzkumu. V letošním roce 2018 převzala tuto cenu z rukou ministra školství pana Roberta Plagy i Alžběta Vachelová z Fakulty stavební ČVUT, která je zakladatelkou akce „Zapiš se někomu do života“. Jedná se o vzácně filantropní projekt, v rámci něhož se studenti mohou registrovat jako dárci kostní dřevě. Dovolte mi, abych zároveň pogratuloval a poděkoval také všem našim ostatním studentům, kteří reprezentují ČVUT a podílejí se na zvyšování dobrého jména a prestiže naší univerzity.

Za velmi důležité, a pro ČVUT na mezinárodní úrovni velmi významně posilující náš kredit, považuji návštěvu paní Orny Berry, která v závěru roku během svého tří denního pobytu v ČR zavítala na ČVUT. Tato dáma v Izraeli působila jako „Chief Scientist“, tedy šéfka státního investičního fondu pro výzkum a vývoj, podílela se také na zrodu mimořádně efektivního start-upového systému. Na konci listopadu v rámci zahraniční mise prezidenta republiky Miloše Zemana do Izraele jsme podepsali dohodu o spolupráci, která je dalším z kroků pro vznik nového česko-izraelského akceleratoru pro podporu vědy a inovací. To dokládá, že jedním z našich klíčových partnerů pro vědecko-výzkumnou spolupráci je právě stát Izrael.

Rok 2018 se blíží ke svému závěru, a proto bych vám chtěl popřát, abyste prožili krásné pohodové Vánoce se svými nejbližšími, a do nového roku přeji hodně zdraví, štěstí a úspěchů.

Vojtěch Petráček,
rektor ČVUT v Praze



TecniCall 2/2018
Časopis pro spolupráci vědy a praxe

Vydavatel:
Rektorát ČVUT
Jugoslávských partyzánů 1580/3,
166 36 Praha 6
IČ: 68407700

www.tecnicall.cz / tecnicall@cvut.cz

Vydání: zima 2018

Periodicita: čtvrtletník
Náklad: 5 000 ks / cena: zdarma
Evidenční číslo: MK ČR E 17564
ISSN 1805-1030

Šéfredaktorka
Mgr. Andrea Vondráková

Editorka
PhDr. Vladimíra Kučerová

Spolupracovníci z ČVUT
Fakulta stavební
Ing. Marie Gallová
marie.gallova@fsv.cvut.cz

Fakulta strojní
PhDr. Ladislav Lašek
ladislav.lasek@fs.cvut.cz

Fakulta elektrotechnická
Ing. Jan Sláma / slamajan@fel.cvut.cz

Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská
Eva Prostějovská
eva.prostejovska@jfifi.cvut.cz

Fakulta architektury
Ing. arch. Jan Jakub Tesař, Ph.D.
tesarjan@fa.cvut.cz

Fakulta dopravní
Ing. Petra Skolilová
skolilova@fd.cvut.cz

Fakulta biomedicínského inženýrství
Ing. Ida Skopalová
skopalova@fbmi.cvut.cz

Fakulta informačních technologií
Bc. Veronika Dvořáková
veronika.dvorakova@fit.cvut.cz

Design
Michaela Kubátová Petrová,
Lenka Klimtová / Nakladatelství ČVUT

Inzerce
Ing. Ilona Prausová
ilona.prausova@cvut.cz

Distribuce
ČVUT v Praze

Fotograf
Bc. Jiří Ryszawy,
Výpočetní a informační centrum ČVUT
jiri.ryszawy@cvut.cz

Tisk
Grafotechna Plus, s. r. o.

Ilustrační foto na titulu:
Bc. Jiří Ryszawy

Toto číslo bylo připraveno
ve spolupráci s Nakladatelstvím ČVUT.
Přetisk článků je možný pouze se
souhlasem redakce a s uvedením
zdroje.

Z obsahu

- | | | | |
|---|----|---|----|
| > Cenu Česká hlava získal Lukáš Neumann z Fakulty elektrotechnické ČVUT | 2 | > Pohled zvenčí Anketa s osobnostmi | 16 |
| > Tým Alquist obhájil druhé místo ve finále soutěže Amazon Alexa Prize | 2 | > Odhalování skrytých detailů | 18 |
| > Nový česko-izraelský akcelerator pro podporu vědy a inovací | 3 | > Do světa vysokých energií Srážky v laboratořích CERN | 22 |
| > Návštěva ve zkušebně motorů | 3 | > Urychlovač Van de Graaff Laditelný zdroj monoenergetických neutronů a lehkých iontů | 24 |
| > Setkání s předními experty z Izraele | 3 | > Tajemná neutrina | 26 |
| > Výzkum mikrosvětla i vesmíru | 4 | > Bez teorie by výzkum a vývoj zůstal slepým | 30 |
| > Jen schopní vidět neviditelné mohou dosáhnout nemožného | 6 | > Invence v praxi Spolupráce s průmyslem | 32 |
| > Zkoumání s pomocí sofistikovaných přístrojů | 8 | > Podpora talentů | 34 |
| > Za fyzikou na oběžnou dráhu Úspěšné detektory Timepix | 12 | > Od nanometrů po desítky mikronů | 40 |



Cenu Česká hlava získal Lukáš Neumann z Fakulty elektrotechnické ČVUT

Dne 25. listopadu byli během slavnostního galavečera v prostorách Vysoké školy ekonomické v Praze vyhlášení vítězové dalšího ročníku soutěže Česká hlava. Dvě ceny v kategoriích technické a přírodní vědy byly uděleny za práce studentů doktorského studia. V první zmíněné uspěl Lukáš Neumann z Fakulty elektrotechnické ČVUT, který jako první vymyslel metodu kombinující strojové učení a nový algoritmus pro vyhledávání písmen nezávisle na jejich orientaci či velikosti. „To, že je to práce výjimečná i z mezinárodního hlediska, dokresluje, že licenci si koupila firma Samsung a máme to v našich mobilech,“ řekl předseda organizačního výboru České hlavy Václav Marek. Lukáš Neumann v současnosti pracuje na Oxfordské univerzitě na výzkumu algoritmů umělé inteligence pro samořiditelná auta. Ceny Česká hlava se letos udělovaly posedmnácté, laureáti získali částku téměř 1,5 milionu korun. Porota je složená ze zástupců Akademie věd ČR, podnikatelů i vysokých škol, neoceňuje citační indexy a jiná pomocná kritéria, ale konkrétní vědecký projekt.

(red)
foto: Česká hlava

Tým Alquist obhájil druhé místo ve finále soutěže Amazon Alexa Prize

Tým Alquist složený ze studentů Fakulty elektrotechnické ČVUT a Fakulty informačních technologií ČVUT opět vybojoval druhé místo ve finále prestižní soutěže Alexa Prize o nejlepší konverzační umělou inteligenci, pořádané americkým gigantem Amazon.

Cílem soutěže je vyvinout pro konverzační technologii Amazon Alexa umělou inteligenci, „social bota“, schopnou plynule s lidmi rozprávět o populárních tématech, jako jsou filmy, sporty nebo hudba. Vývoj bota probíhal téměř rok, od prosince minulého roku až do poloviny listopadu 2018, a během soutěže s ním samotní uživatelé produktů Amazon vedli na stovky tisíc konverzací. Do soutěže se zapojují přední univerzity z celého světa, „čvutí“ tým je již podruhé jediným účastníkem z neanglicky mluvících zemí. Celkově se letos účastnilo 8 týmů vybraných z více než stovky přihlášených institucí a soutěž samotná sestávala z několika kol. V semifinále, které probíhalo od 2. července do 15. srpna, hodnotili anonymně všechny soutěžící boty sami uživatelé Amazon Alexy pomocí škály 1 až 5 hvězdiček. Tým vedený Janem Šedivým z ČVUT CIIRC ve složení Jan Pichl, Petr Marek, Jakub Konrád, Martin Matulík a Petr Lorenc si tak z USA odváží cenu 100 000 dolarů, tedy v přepočtu přes dva miliony korun.

(red)
foto: archiv





Nový česko-izraelský akcelerační pro podporu vědy a inovací

Dne 26. listopadu podepsali v rámci zahraniční mise prezidenta Miloše Zemana do Izraele rektor ČVUT doc. Vojtěch Petráček a prof. Rosa Azhari, prezidentka AtoBe z Azrieli College of Engineering Jerusalem, dohodu o spolupráci, která je prvním krokem pro vznik nové česko-izraelské výzkumné společnosti. Ta by měla být centrem pro pokročilé technologie a výzkumné inovace se sídlem v Praze. ČVUT hodlá využít know-how izraelského startupového akceleračního AtoBe Hebrejské univerzity v Jeruzalémě a znalostního potenciálu české VDT Technology, a.s., pro založení a provozování akceleračního PATRIC. Ve spolupráci s experty z Hebrejské univerzity bude také podpořen rozvoj vědy a pedagogických kompetencí na ČVUT.

(red) foto: archiv

Návštěva ve zkušebně motorů

Premiér České republiky Andrej Babiš spolu s prezidentem GE Aviation Davidem Joycem navštívili 8. října 2018 první dokončenou zkušebnu leteckých motorů na ČVUT. Unikátní spolupráce soukromého a akademického sektoru zaznamenala další významný milník. První z řady supermoderních zkušeben leteckých motorů překročila hranici 200 testovacích hodin ze společně zkoumaného provozu a testování turbobrtulového motoru pro výzkum ČVUT, a to v rekordně krátkém čase – pouhých šest měsíců od prvního spuštění motoru. Spolupráce GE Aviation s ČVUT úspěšně pokračuje naplňováním dalších cílů a zaznamenala nový úspěch. Fakulta strojní ČVUT naplňuje svůj dlouhodobý záměr posílení výzkumných a výukových kompetencí, v jehož rámci buduje ve svém Centru pokročilého leteckého a kosmického výzkumu nejmodernější zkušebny leteckých motorů. Fakulta z provozu zkušebny získala již více než 7 TB dat o skutečném chování motoru, které užije pro vývoj unikátního digitálního motoru – dvojčete postupně opotřebovávaných turbobrtulových motorů pro výzkum jejich individuálního monitorovacího systému provozu a prediktivní údržby. ČVUT pro tyto mezníky získalo od GE Aviation jak významnou znalostní pomoc s budováním a provozem nové letecké zkušebny, tak znalosti pro vyhodnocování experimentálních dat a modelování turbobrtulového motoru.

(red) foto: GE Aviation Czech



Setkání s předními experty z Izraele

Paní Orna Berry je přední izraelská vědkyně, podnikatelka v oblasti high-tech průmyslu, laureátka Ceny univerzity Bena Guriona v Negevu. Je uznávanou expertkou v oblasti podpory podnikání a inovací. Je první ženou, která zastávala pozici šéfky pro vědu, výzkumnou a vývojovou činnost izraelského ministerstva průmyslu, obchodu a práce. Pan Benjamin Soffer je vedoucím T3 – Centra transferu technologií na Izraelském technologickém institutu Technion v Haifě, prestižní izraelské univerzitě a významným partnerem ČVUT v oblasti podpory inovací.

Izraelská strana se zajímala zejména o činnost univerzity, vědecké a výzkumné aktivity, fungování transferu znalostí mezi akademickou sférou a průmyslem a o financování inovačních aktivit. Rektor ČVUT doc. Vojtěch Petráček přivítal hosty a představil ČVUT a jeho součásti. Prof. Zbyněk Škvor, prorektor pro vědu, tvůrčí činnost a doktorské studium, seznámil přítomné s konkrétními aktivitami a úspěchy v oblasti inovací a jejich přenosu do praxe. Dále byla prezentována vize transferu technologií a fungování podpory inovací na ČVUT. Na schůzku navázala prohlídka laboratoří Fakulty elektrotechnické ČVUT, kde hosty provázel děkan prof. Pavel Ripka.

(red) foto: Jiří Mrhal







výzkum

mikrosvěta i vesmíru

Detekční přístroj Timepix je jedním z mezinárodně úspěšných počinů Ústavu technické a experimentální fyziky ČVUT, jenž usiluje o propojení špičkového výzkumu se specializovanou výukou. Představujeme jeho projekty, řešené v podzemí i v kosmu...



Jen schopní vidět neviditelné mohou dosáhnout nemožného

Kvalitní výzkumný program s mezinárodní spoluprací, tak lze ve stručnosti charakterizovat Ústav teoretické a experimentální fyziky ČVUT v Praze. Je tudíž atraktivním pracovištěm pro mladé lidi, a to jak z ČR, tak i ze zahraničí. O úspěšných projektech a zapojení do špičkových týmů po celém světě hovoříme s jeho ředitelem doc. Ing. Ivanem Štekl, CSc.

Vaše pracoviště má v odborné veřejnosti velmi dobrý zvuk, renomé máte nejen jako centrum s koncentrací mnoha úspěšných osobností v oboru, ale i jako autoři detekčního přístroje Timepix, jenž jste vyvinuli a sestrojili právě u vás. Jste tedy s výsledky spokojeni?

Ústav je jedním ze zakládajících členů kolaborace Medipix/Timepix, v rámci které se podařilo vyvinout různé verze vyčítacího čipu pro pixelové detektory. Naši lidé byli a jsou odpovědní za vývoj readout systémů. Zde úzce spolupracujeme s Fakultou elektrotechniky ZČU a naší spin-off firmou Advacam. Podle dlouhodobých hodnocení tvoříme 4 až 5 procent výsledků naší univerzity, kdy například jeden z našich patentů byl vybrán do nejvyšší kategorie výsledků v ČR. Jsem spokojen, ale uvědomuji si, že není možné se tím uspokojit. V celé republice roste konkurence, musíme se srovnávat s renomovanými zahraničními pracovišti. Mám obecně pocit, že výzkumná pracoviště v ČR prohrávají souboj o nejtalenovanější lidi.

Jste zapojeni do projektů v CERNu, jste členy renomovaných mezinárodních týmů. Chystáte nějaký další průlomový přístroj, jenž by zabodoval obdobně jako Timepix?

CERN je pro nás samozřejmě důležitý právě pro srovnání se zahraničními renomovanými týmy. Stále důležitější jsou pro nás i aktivity spojené s ESA, podzemními laboratořemi a v široké oblasti zobrazování od biologie, přes medicínu až po materiálový výzkum. Je těžké plánovat průlomový objev, ale v poslední době

naši pracovníci požádali o dva patenty – vylepšení pozitronové emisní tomografie a čistou místnost s vysoce potlačeným obsahem radonu, což by mohlo hrát velkou roli v medicíně a v dlouhodobém ukládání biologického materiálu. S úspěchem naši mladí teoretici Filip Blaschke a Petr Beneš opublikovali článek o magnetickém monopolu, který byl dobře přijat celou komunitou.

Výzkumné aktivity vašich pracovníků, které představujeme v tomto vydání TecniCallu, jsou velmi zajímavé i pro laickou veřejnost, týkají se zkoumání mikrosvěta i vzdáleného vesmíru. Která poznání plynoucí z vašich bádání vás nejvíce překvapila?

Mě osobně nejvíce překvapily dva momenty v oblastech, kde nejsem odborník. První je spojen s dlouhodobým využitím pixelových detektorů v kosmu, kdy jsou schopny přežít v otevřeném vesmíru. To otevírá možnost postupného přenesení částicové fyziky do kosmu. Druhý je spojen se zobrazováním detailů biologických a lékařských vzorků pomocí pixelových detektorů, kde jsou kolegové schopni získávat 3D modely vnitřních struktur různých objektů. Je to o to cennější, že jde o spolupráci ÚTEF a FBMI ČVUT a 3. LF UK.

A která zkoumání jsou vám osobně bližší? Objevování detailů pozemského života, nebo experimenty na oběžné dráze?

Nejbližší jsou mi zkoumání v podzemních laboratořích, která jsou zaměřena na oblast neutrinové fyziky a detekce temné hmoty ve vesmíru. Samozřejmě společně

s vývojem potřebných technologií efektivního potlačení radioaktivity a její detekce. Pro tyto podmínky používám trochu nadneseně termín radiační vakuum.

Kolektiv vašeho ústavu je unikátní nejen tím, že je velmi mladý, ale i tím, že velká část pracovníků jsou cizinci, a to od doktorandů až po seniorské vědce. Čím jste pro ně natolik zajímaví, že si je, i přes ne tak atraktivní platy ve srovnání se zavedenými zahraničními pracovišti, můžete vybírat v mezinárodních konkurencích?

Rozdělme to na dvě skupiny – mladší a střední generaci a seniorské vědce. U první skupiny je to způsobené kvalitou výzkumného zaměření, kdy tito kolegové oceňují možnost kvalifikačního růstu. Tito zahraniční pracovníci k nám přicházejí na základě mezinárodních výběrových řízení, ze spolupracujících vědeckých institucí a také na základě vlastní žádosti, kdy si nás sami našli. U seniorů vychází většinou iniciativa z naší strany, kdy zahraničním kolegům, se kterými dlouhodobě úspěšně spolupracujeme, nabídneme aktivní zapojení do činnosti ústavu.

Neodpustím si však poznámku k výběrovým řízením. Vždy se nám přihlásí kolem patnácti zájemců, z nichž je přibližně třetina nevhodná. Vybíráme si z pěti, šesti kandidátů, se kterými naši pracovníci tráví čas jednáním, a nakonec nabídneme pozici třem až čtyřem z nich. Bohužel se nám nedaří získat ty první v pořadí, kteří dávají přednost jiným pracovištím ve vyspělém světě. Stále ještě má ČR co dohánět ve srovnání

nání s nejvyspělejšími zeměmi. Významným zdrojem mladých pracovníků je pro nás i praxe, kdy naši zaměstnanci jsou školiteli doktorandů ze zahraničních univerzit a systém doktorátů pod dvojím vedením. V poslední době u nás pravidelně působí 4 až 6 studentů IAESTE ročně, kteří si nás vybrali právě pro přitažlivost našeho zaměření a zajímavost programů.

Jste výsostně vědecké pracoviště, zabývající se teoretickou a experimentální fyzikou, které má také úzké vazby na praxi, spolupracujete s mnoha firmami, kde testujete výrobky a uvádíte poznatky vědy do praxe. Ve kterých oborech se vám tato spolupráce daří nejvíc? A kde vidíte potenciál pro rozšíření těchto oboustranně výhodných kontraktů?

V první řadě se jedná o vysoce technologické firmy v oblasti detektorových technologií. Zde bych rád uvedl firmu ADVACAM, která se z malé spin-off firmy ústavu vypracovala na společnost působící v ČR i ve Finsku s více než dvaceti zaměstnanci a obratem několik desítek milionů korun a se silným výzkumem. Dále úzce spolupracujeme s firmami NUVIA a CRYTUR, což jsou významní výrobci detektorů a potřebných zařízení. V neposlední řadě bych rád připomněl firmu JABLOTRON, která ve spolupráci s námi uvedla do výroby výukové zařízení na bázi pixelového detektoru. Naš pracovník Vladimír Vícha připravil pro studenty skriptum s padesáti úlohami vydané v roce 2017 nakladatelstvím ČVUT. Další oblastí jsou technologické firmy typu ATEKO, které působí v oblasti čištění plynů – odstranění radonu, výrobci čistých prostor či technologická uskupení. Nezanedbatelná je také spolupráce s německou firmou XIE a francouzskou vývojovou základnou CEA, která nám přináší i významnou zpětnou vazbu a další výzvy. Potenciál pro rozšíření kontraktů souvisí s kvalitními výstupy výzkumu ústavu, které snesou mezinárodní konkurenci a které je možné uplatnit na trhu. Firmy, které živí prodej jejich výrobků, s námi jinak spolupracovat nebu-



dou. V dané souvislosti oceňuji podporu, které se této spolupráci dostává od TAČR, Ministerstva průmyslu a obchodu a Ministerstva dopravy.

Působí u vás i vědci z fakult ČVUT či jiných výzkumných pracovišť ať už z ČVUT, nebo odjinud?

Ano, především jako externí spolupracovníci. Naše činnosti jsou založeny na spolupráci s jinými institucemi. Máme dvě výzkumné infrastruktury – urychlovač Van de Graaff a podzemní laboratoř LSM ve Francii, kde zabezpečujeme či pomáháme zabezpečit provoz pro externí uživatele. Cenná meziprofesní a meziuniverzitní spolupráce probíhá v rámci OP VVV. Excelentní výzkum, kde spolupracujeme i s ústavu Akademie věd, a v rámci Centra kompetence TAČR, kde participují výzkumné instituce a firmy.

Máte vůbec coby ředitel vědecko-výzkumného pracoviště prostor i pro vlastní výzkum? Zabýváte se ještě detekcí temné hmoty a dalšími experimenty?

Samozřejmě nemám. Jsem nyní hlavně úředník a organizátor. Zbývá mi také čím dál méně času věnovat se pracovníkům a jejich kariérnímu růstu. Zůstává to tedy na nich, aby využívali všech podmínek a možností, které jim ústav nabízí. Podrobně ale sleduji vývoj ve své oblasti výzkumu a jsem schopen formulovat a připravit grantové žádosti, pomáhám také studentům s jejich disertacemi. Také jsem si nenechal vzít organizaci letních škol, například Pontecorvo neutrino summer school, mezinárodních konferencí MEDEX

a kolaboračních setkání jako je SuperNEMO či COBRA. Rád bych v součinnosti s vedením ČVUT vyřešil finální lokalizaci ústavu, která by dala dlouhodobou perspektivu jeho rozvoji. Také bych rád inicioval přípravu a uvedení do praxe rozsahem omezený doktorský program ve spolupráci ústavu a dalších součástí ČVUT, což by mladým pracovníkům ústavu nabídlo perspektivu akademického růstu.

Který objev, zužme to jen na fyziku, považujete za nejdůležitější pro současnou vědu?

Poměrně nedávno byly experimentálně potvrzeny oscilace neutrin, z čehož vyplývá, že neutrina jsou hmotné částice. Přesto většina vlastností neutrin je stále neznámá. Jejich odhalení je potřebné pro další vývoj astrofyziky, částicové a jaderné fyziky či kosmologie. A právě toto pokládám za nejdůležitější pro současnou fyziku.

A máte svůj sen, že by se nějaký průlomový objev narodil s přispěním vašich kolegů z ústavu? Máte v některém z projektů, jichž se vaši lidé účastní, náznaky, že by se to mohlo podařit?

Snění je důležitá část života vědeckých pracovníků v oblasti fundamentálního výzkumu. Pokud tuto schopnost pracovník ztrácí, je pro něj těžké dosáhnout průlomového úspěchu. Angličané mají přísloví „only those who can see the invisible can achieve the impossible“, tedy že jenom ti, kteří jsou schopni vidět neviditelné, mohou dosáhnout nemožného. Ve vědě to platí dvojnásob. Pokud by se podařilo najít temnou hmotu ve vesmíru, odhalit existenci magnetického monopolu, hmotnost neutrina, odhalit nové částice ve vesmíru či posunout hranici poznání v biologii či medicíně díky pokroku v zobrazovacích technologiích, pak bych tomu byl velmi rád. Náznaky prozatím nejsou, ale třeba se dočkám. Nakonec by mě nemrzelo, pokud by to bylo v úplně jiném oboru, kde působí naši pracovníci či ostatní kolegové z ČVUT.

Vladimír Kučerová
foto: Jiří Ryszawy

Zkoumání s pomocí sofistikovaných přístrojů

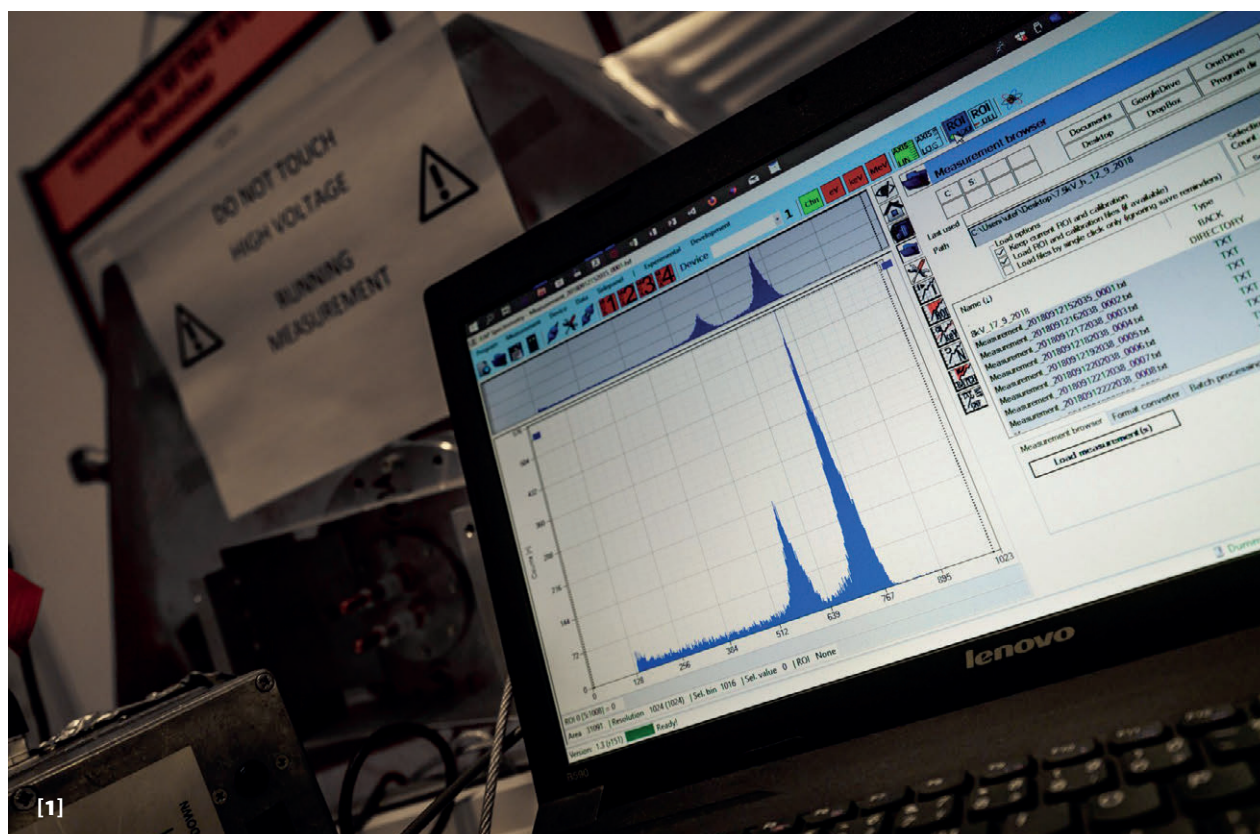
Ústav technické a experimentální fyziky ČVUT byl založen v roce 2002 jako experimentální základna ČVUT pro výzkum v částicové a jaderné fyzice. Jeho program vychází mimo jiné i z nosných vědeckých projektů, řešených pracovníky ČVUT v mezinárodních ústavech, v nichž je Česká republika členskou zemí (Evropská organizace pro jaderný výzkum – CERN či Spojený ústav jaderných výzkumů – SÚJV Dubna, Evropská kosmická agentura – ESA).

V instrumentálním a aplikačním směru se ústav od samého začátku zaměřuje na vývoj měřicích metod a technik pro potřeby nových technologií v oblasti mikrosvěta. Zároveň se snažíme přispívat k přenosu fyzikálních metod do inženýrské výuky studentů ČVUT a ostatních vysokých škol. Z tohoto přehledu našich praktických aktivit ihned po založení ústavu vyplynula potřeba precizních detekčních aparatur, jelikož experimentální zkoumání mikroobjektů není možné provádět bez sofistikovaných přístrojů. Proto bylo v průběhu prvních let existence ústavu rozhodnuto věnovat velkou pozornost budování detekčních a analytických přístrojů.

Centrální detektorová a analytická laboratoř je umístěna na několika místech ústavu. Postupně byly vybudovány potřebné laboratoře,

které jsou neustále modernizovány: materiálová, technologická s čistými prostory pro testování a vývoj detekčních struktur, radiochemická, spektroskopická, elektronická a detektorová, radonová, jež nyní tvoří Centrální detektorovou a analytickou laboratoř (CDAL). V souladu s povolením Státního úřadu pro jadernou bezpečnost byla větší část laboratoří vymezena jako sledované a kontrolované pásmo pro práci se zdroji ionizujícího záření.

Většina zařízení, která tvoří Centrální detektorovou a analytickou laboratoř, byla zkonstruována pracovníky ústavu či byla získána jako starší námi vylepšené přístroje. Z větších experimentálních zařízení je možné uvést např. dva zdroje rentgenového záření pro nano-radiografii a nano-tomografii, spek-



Ústav byl zřízen v roce 2002 jako vědecko-pedagogické pracoviště ČVUT v Praze se zaměřením na fyziku mikrosvětla a její aplikace. V průběhu existence doznal značného rozvoje, a to jak po stránce vědecké (podíl jeho RIV bodů na celkovém výkonu ČVUT činí 4,6 procenta), tak i personální (84 pracovníků, z toho 23 ze zahraničí). V současné době je ÚTEF plně stabilizovaným centrem, které přitahuje mladé badatele se zájmem o výzkum ve fyzice.

troskopickou koincidenční aparaturu se dvěma germaniovými detektory, testovací aparaturu pro speciální detekční struktury s řízením teploty až do 10 K, aparatury pro měření difuze a emanace radonu či měření velmi nízkých koncentrací radonu, pec s přesným řízením teploty, zařízení pro tzv. wire-bondování, precizní rychlé digitální osciloskopy, antiradonové filtrační zařízení, testovací mamograf a kalibrační aparatury pro pixelové a stripové detektory.

Běžnou praxí ústavu je intenzivní spolupráce s partnery, a to jak uvnitř ČVUT, tak i mimo naši univerzitu. Je možné představit některé příklady plodné spolupráce i ve spojení s pracovišti CDAL. Díky spolupráci s Fakultou dopravní ústav využívá třináct místností na této fakultě na Albertově s užžitnou plochou

250 m², z nichž dvě místnosti jsou vyděleny pro společnou laboratoř elektronové mikroskopie, která je vybavena dvěma skenovacími elektronovými mikroskopy.

Součástí CDAL je také radonová detektorová laboratoř, která má dvě části. Jedna je umístěna v ÚTEF a je určena pro měření difuze radonu a jeho emanace, druhá je mimo ústav. V rámci několika projektů vybudoval ÚTEF společně se Státním ústavem radiační ochrany (SÚRO) v pražských prostorách SÚRO speciální laboratoř pro studium technologií ultracitlivého měření a odstraňování radonu ze vzduchu (na úroveň koncentrace 10 000krát nižší, než je ve venkovním vzduchu).

Poslední laboratoř, kterou nedávno ústav zprovoznil, je laboratoř v protiatomovém bunkru

Bezovka v podzemí Parukářky na Žižkově. Tyto prostory, částečně stíněné před kosmickou radiací, byly ústavu pronajaty magistrátem hl. m. Prahy pro potřeby testování vyvíjených detekčních technologií.

CDAL a všechny přístroje jsou intenzivně využívány pracovníky ústavu, externími spolupracovníky a studenty, a to nejen z ČVUT, ale i dalších vysokých škol z České republiky i ze zahraničí, včetně stážistů IAESTE. Snažíme se o neustálý rozvoj laboratoře, kdy sice narážíme na omezené investiční prostředky ústavu a limity vyplývající z nedostatku prostor, ale zatím se je daří překonávat především konstruováním vlastních zařízení a intenzivní spoluprací s partnery.

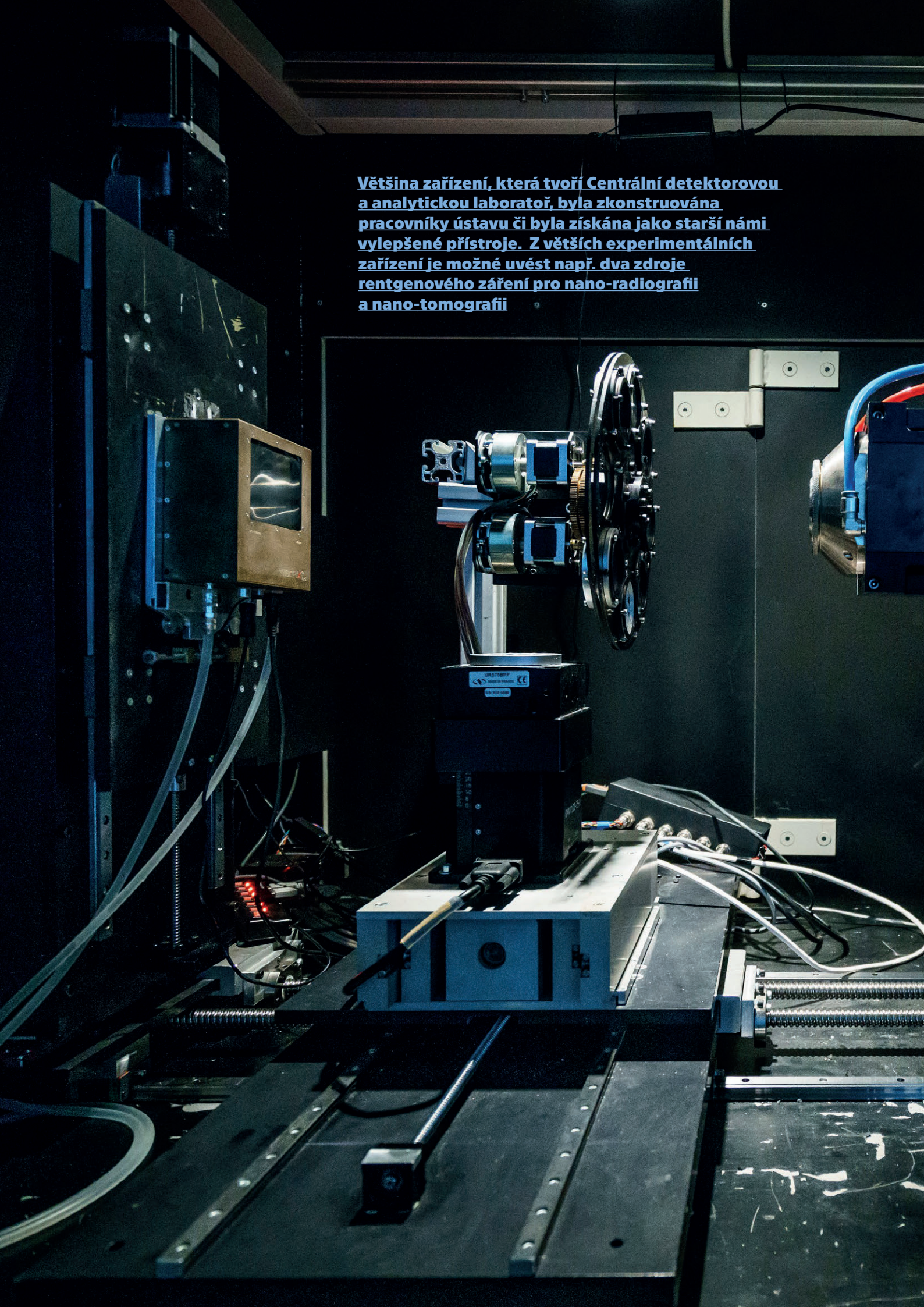
autor: Ivan Štekl

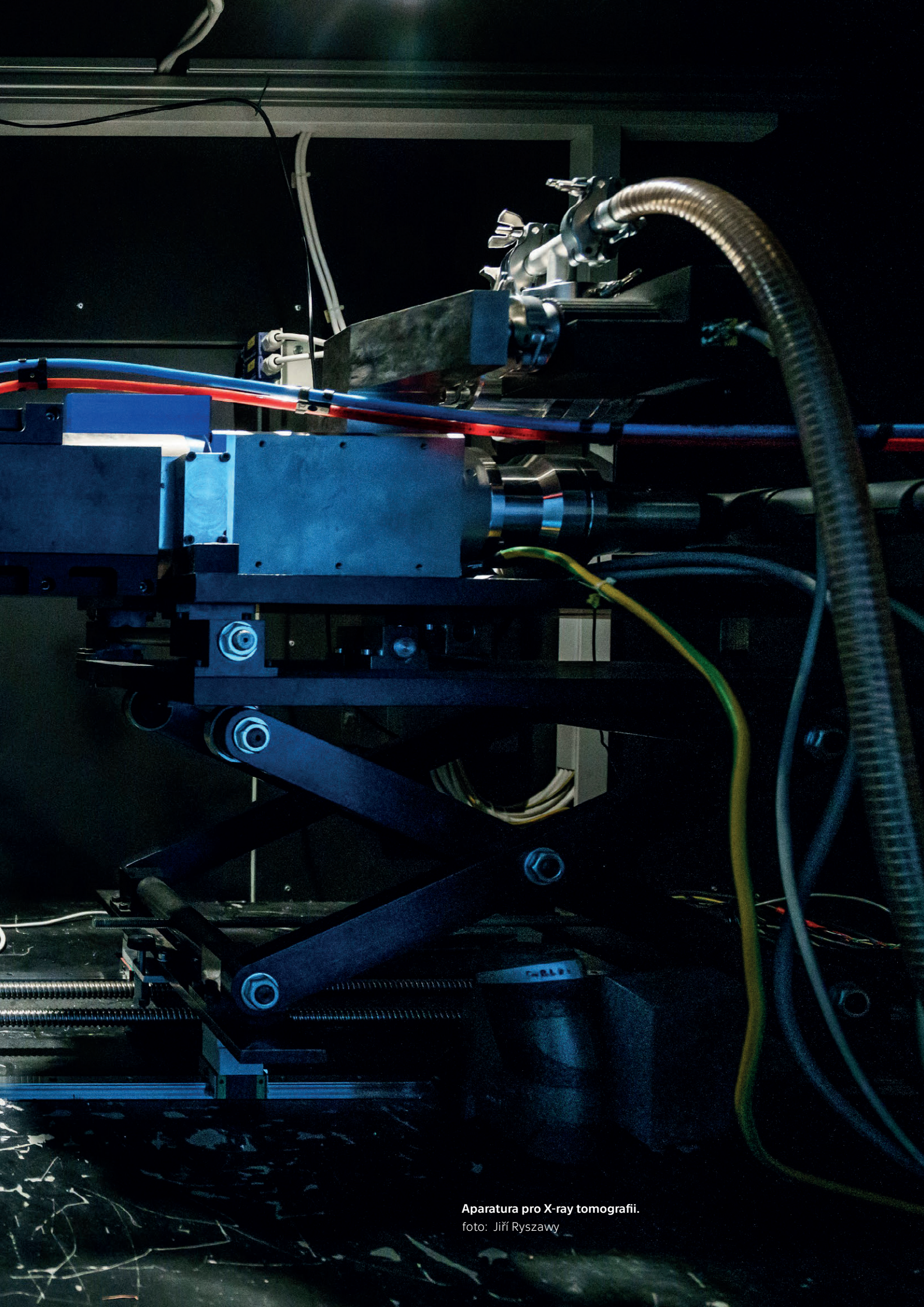
foto: Jiří Ryszawy a archiv ÚTEF



- [1] Ukázka měření v radonové laboratoři
- [2] Experimentální prototyp ultracitlivého radonového detektoru s objemem 300 litrů
- [3] Pracoviště s elektronovými mikroskopy společně využívané pracovníky ÚTEF a FD ČVUT
- [4] Přenosný radonový detektor vyráběný v ÚTEF ČVUT
- [5] Spektroskopická koincidenční aparatura
- [6] Nízkoteplotní aparatura do 10 K

Většina zařízení, která tvoří Centrální detektorovou a analytickou laboratoř, byla zkonstruována pracovníky ústavu či byla získána jako starší námi vylepšené přístroje. Z větších experimentálních zařízení je možné uvést např. dva zdroje rentgenového záření pro nano-radiografii a nano-tomografii





Aparatura pro X-ray tomografii.
foto: Jiří Ryszawy

Za fyzikou na oběžnou dráhu

Úspěšné detektory Timepix

Abychom efektivně potlačili rizika pro astronauty během dlouhodobých pobytů ve vesmíru, je nutné sledovat jejich vystavení se radiačnímu záření téměř v reálném čase. Údaje z průběžného online sledování vesmírného radiačního prostředí na palubě družic se používají pro hodnocení vlivů kosmického záření na součástky a přístroje. Tato měření mohou sloužit také pro studium časově proměnných jevů, jako jsou geomagnetické bouře a sluneční erupce.

Sluneční vítr k nám unáší proud nabitých částic, před kterým nás chrání magnetické pole Země. To odklání vysokoenergetické částice od naší atmosféry a část z nich je zachycena ve Van Allenových radiačních pásech, které kvůli tvaru magnetických siločar vstupují do atmosféry v oblasti pólů a způsobují polární záře. Jelikož se osa magnetického pole a rotační osa neprotínají ve středu Země, zasahuje Van Allenův pás hluboko do atmosféry také v oblasti zvané Jihoatlantická anomálie. Tyto částice jsou nebezpečné pro astronauty i techniku na oběžné dráze, které oblastmi se zvýšenou radiací prolétají. Intenzita a místa výskytu radiace se navíc neustále mění kvůli slunečním erupcím, geomagnetickým bouřím, atp. Podrobná online charakteristika radiačního prostředí na oběžné dráze Země je proto cenná pro výzkum částicové fyziky, studie kosmického počasí a zabezpečení zdraví astronautů i posádek letadel. Ústav technické a experimentální fyziky ČVUT vyvinul a vyrobil několik zařízení s detektorem Timepix, které úspěšně měří radiační prostředí na oběžné dráze. Timepixy se na monitorování kosmického záření výborně hodí díky malým rozměrům, nízkým energetickým nárokům a své radiační odolnosti.

Mezinárodní vesmírná stanice ISS

Posádky Mezinárodní vesmírné stanice (ISS) jsou nepřetržitě vystaveny radiaci z vysokoenergetických částic ze Slunce a z kosmu. Obežná dráha stanice sice nedosahuje až k nebezpečným polárním oblastem a plášť stanice poskytuje jisté stí-

nění, přesto jsou obdržené dávky o několik řádů vyšší než na povrchu Země. Proto je nutné radiaci uvnitř stanice neustále sledovat. Starší monitorovací technologie používaly pasivní dozimetrické techniky (např. film) a související logistiku vyžadující návrat na Zem a pozemní analýzu, která poskytovala informace o radiační dávce dny až týdny po skončení mise. Pro efektivní potlačení zdravotního rizika pro posádku ISS téměř v reálném čase ÚTEF vyvinul ve spolupráci s University of Houston a NASA miniaturní monitory záření. Každé zařízení má jeden čip Timepix a speciální integrované USB rozhraní pro vyčítání dat. Celé zařízení má rozměry USB flashdisku a je připojeno přes USB port k řídicímu počítači, kde běží software, který řídí sběr dat, upravuje expoziční čas podle množství částic, analyzuje jejich stopy, vyhodnocuje jejich předanou energii a vizualizuje v jednoduchém grafickém rozhraní odhadovanou dávku záření.

Tyto detektory, oficiálně označené agenturou NASA jako Monitory radiačního prostředí (REM – Radiation Environment Monitor), byly rozmístěny na palubě ISS na konci roku 2012. Od té doby pracuje šest jednotek REM na podpůrných počítačích stanice (SSC – Station Support Computers) a denně posílají data na Zem. Související software na SSC se stará jak o automatizovaný sběr a přenos dat, tak i o algoritmy k úpravě parametrů expozice. Jakmile je REM zapojen do SSC, posádka musí jen spustit software, který pak zobrazuje okamžitou a celkovou dávku záření, data jsou navíc ukládána a posílána na Zem

pro podrobnou analýzu. Detektory Timepix na ISS shromažďují data, která popisují vlastnosti radiačního pole a jeho změny v čase a poskytují přesná měření o energiích a počtu částic přítomných v kosmické stanici. Tato měření například názorně ukazují zvýšenou koncentraci částic v oblasti Jihoatlantické anomálie, kde je radiace deset až stokrát vyšší než na zbytku oběžné dráhy ISS.

SATRAM

The Space Application of Timepix based Radiation Monitor (SATRAM) je monitor radiace na palubě satelitu Evropské kosmické agentury (ESA) Proba-V, který byl vynesena na nízkou oběžnou dráhu do výšky 820 km v roce 2013. SATRAM je vybaven jedním detektorem Timepix a byl vyvinut v ÚTEF ve spolupráci se společností CSRC Brno (nyní BD Sensors). Jednalo se o první použití Timepixu v otevřeném vesmíru, čímž získal od agentury ESA nejvyšší klasifikaci TLR 9, tedy zařízení osvědčené ve vesmíru. Tento detektor poskytuje širokopásmové měření radiačního okolí družice ve vysokém rozlišení a určuje složení (typy částic) a spektrální charakterizaci (předaná energie) smíšeného radiačního pole. Ze stopy, kterou nabitá částice na detektoru zanechá, jsme schopni určit typ částice, energii předanou při průletu a směr, odkud přiletěla. Už více než pět let monitoruje SATRAM vesmírné radiační pole v okolí družice podél její oběžné dráhy s frekvencí několika snímků za minutu s různou dobou expozice. Jelikož má Proba-V polární oběžnou dráhu, zmapuje SATRAM radiační pole ve výšce 820 km kolem celé



Astronaut Chris Cassidy pracující v blízkosti jednoho z detektorů Timepix zapojeného do notebooku na ISS. [foto: NASA]

zeměkoule každých několik dní. Výsledky jsou zobrazeny ve formě prostorově a časově korelovaných map dávek a toku částic. Lze tak například pozorovat rozdíly mezi klidovým obdobím a geomagnetickou bouří.

VZLUSAT-1

Po programu MAGION (5 družic mezi lety 1978 až 1996) je VZLUSAT-1 první český funkční satelit. Jedná se o minisatelit formátu CubeSat, který slouží jako demonstrátor technologií zúčastněných českých firem, výzkumných institucí a univerzit (www.vzlusat1.cz). Stavebním blokem CubeSatů je krychle o rozměru 10 x 10 x 10 cm a hmotnosti max 1,33 kg, ale je možné postavit satelit z několika spojených krychlí. Vzhledem k možnosti zakoupení většiny potřebných dílů, relativně malým nákladům na vývoj a vynešení na oběžnou dráhu, daly CubeSaty možnost provozovat vlastní satelit i subjektům bez podpory velkých kosmických agentur. Jedním z hlavních experimentů na palubě VZLUSAT-1 je miniaturizovaný rentgenový dalekohled, skládající se z rentgenové optiky typu račí oko a detektoru Timepix. Ten byl

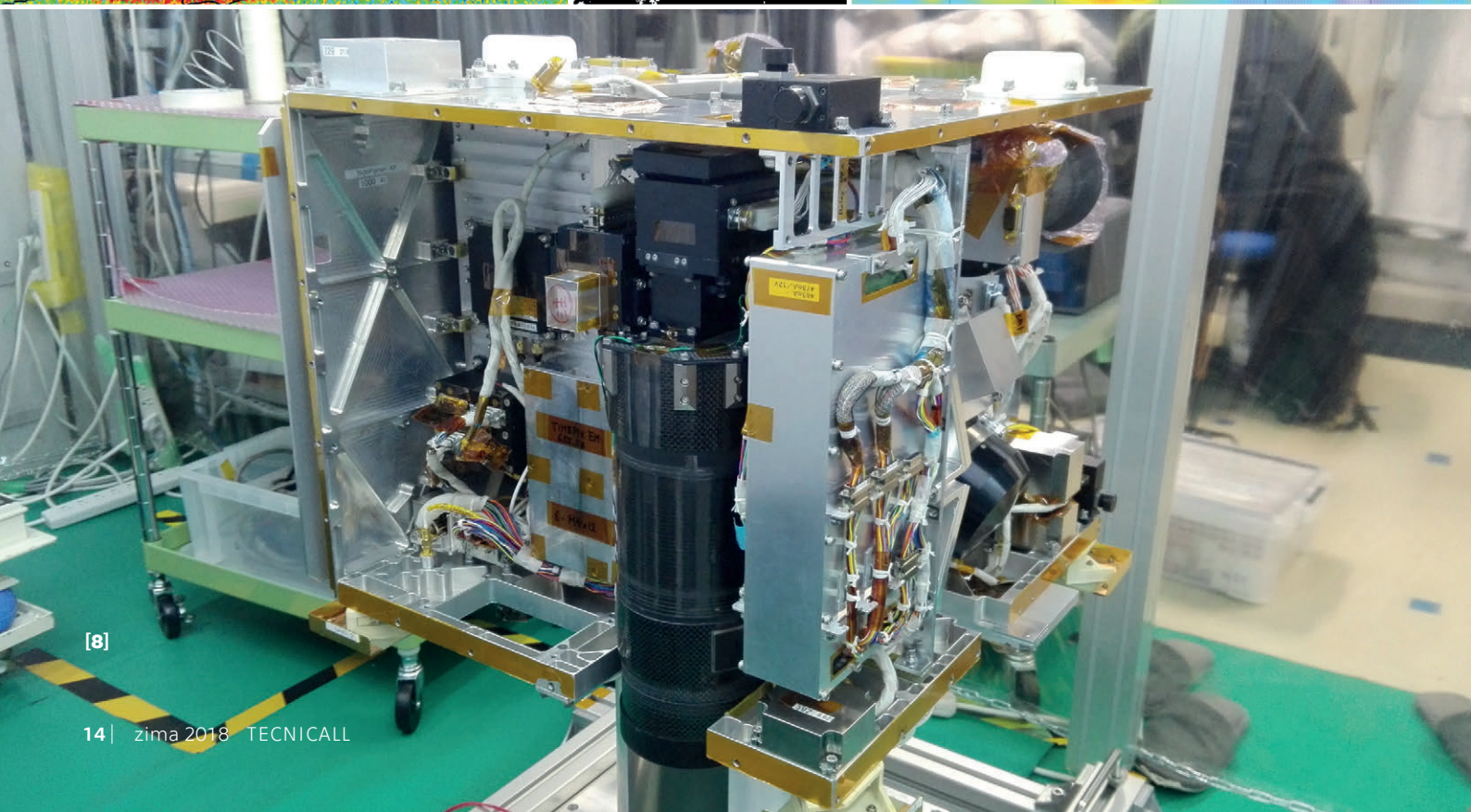
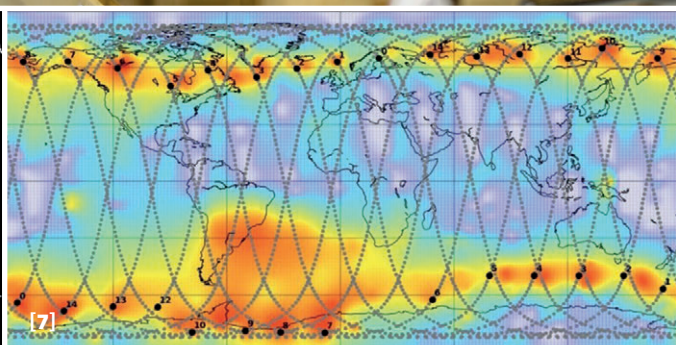
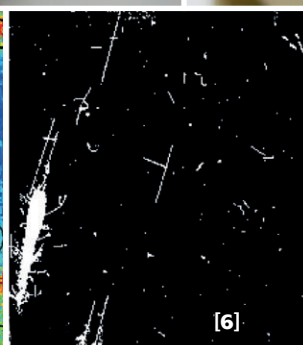
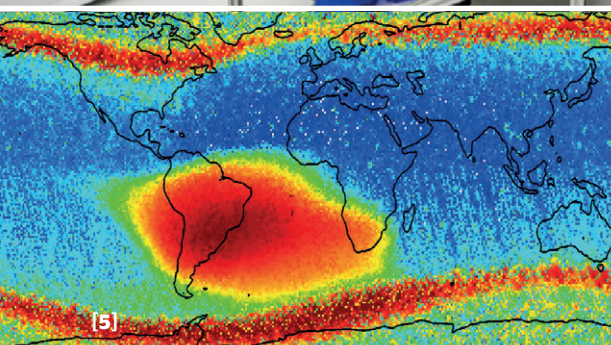
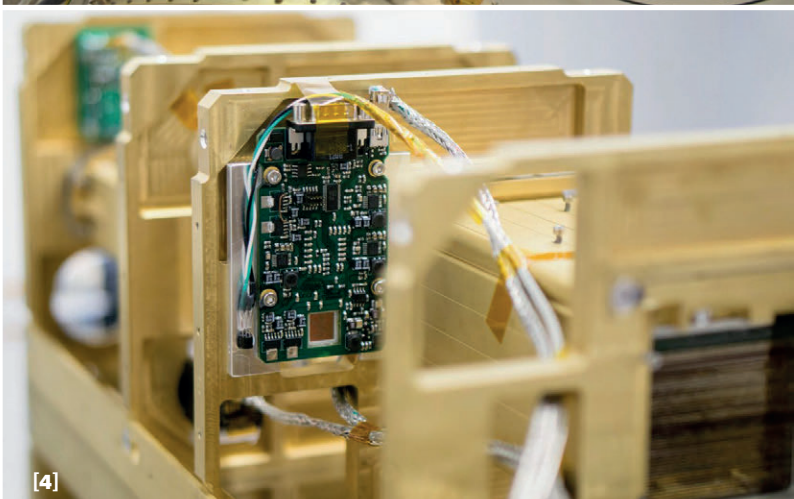
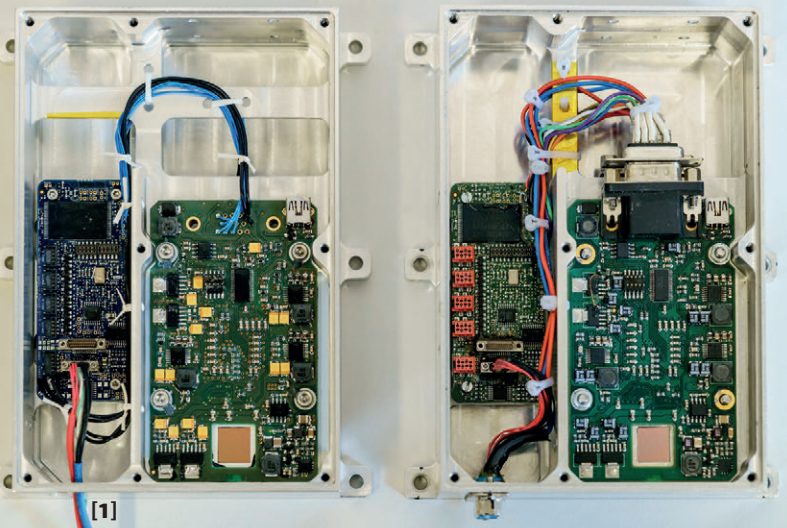
vybrán kvůli své citlivosti na tvrdé rentgenové záření a schopnosti detekce kosmických rentgenových paprsků s minimální hladinou šumu, což umožňuje měření ve vesmíru bez nutnosti aktivního chlazení. Detektor používá modifikované rozhraní USB podobné těm na ISS kvůli nízké spotřebě energie a ověřené dlouhodobé funkčnosti v kosmu. Bylo nutné přidat hliníkovou desičku pro pasivní chlazení, protože ve vakuu se detektor chladí mnohem hůře než v atmosféře vesmírné stanice. Úkolem rentgenového dalekohledu bylo testování novátorské optiky typu račí oko při pozorování silných zdrojů rentgenového záření (zejména Slunce), satelit totiž nemá pokročilou stabilizaci, která by mu umožnila během pohybu na oběžné dráze zůstat natočen na jeden vzdálený objekt a pořizovat dlouhé expozice. VZLUSAT-1 byl úspěšně vynesena indickou raketou na oběžnou dráhu do výšky zhruba 500 km v polovině roku 2017. Aby se při vypuštění družice ušetřilo místo, byla optika schována uvnitř těla satelitu, který tak měl na startu velikost dvou jednotek CubeSat, a až na oběžné dráze se měla pomocí pružiny vysunout ven.

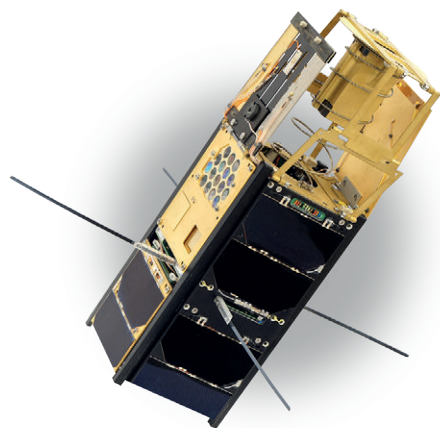
Zdá se však, že se modul s optikou nevysunul správně, takže se nedaří obraz zaostřit na čip detektoru. Timepix proto nyní slouží jako radiační monitor podobný SATRAMu a sleduje radiační prostředí kolem celé planety. Vzhledem k mnohem menšímu objemu dat, která je možné ze VZLUSATu-1 stahovat, se měření provádí s menší frekvencí a radiační mapy mají nižší rozlišení. I tak jsou na nich jasně zřetelné oblasti s vyšší koncentrací částic kolem pólů a v oblasti Jihoatlantické anomálie.

REX

Zatím poslední uskutečněnou vesmírnou misí, na které se ÚTEF podílel, byla sondážní raketa NASA. Sondážní rakety často využívají nadbytečné vojenské motory k tomu, aby na parabolickou dráhu do výšky několika set kilometrů vynesly na několik minut do vesmíru přístroje, které potřebují měřit nad atmosférou (např. rentgenové detektory). Tento projekt byl spoluprací mezi Penn State University v USA, která měla na palubě rakety rentgenový spektrograf, a českou stranou, podílející se na rentgenovém dalekohledu pro VZLUSAT-1. Ta

Detektory Timepix na ISS shromažďují data, která popisují vlastnosti radiačního pole a jeho změny v čase a poskytují přesná měření o energiích a počtu částic přítomných v kosmické stanici. Tato měření například názorně ukazují zvýšenou koncentraci částic v oblasti Jihoatlantické anomálie, kde je radiace deset až stokrát vyšší než na zbytku oběžné dráhy ISS.





Český minisatelit VZLUSAT-1 s vysunutou optikou a rádiovými anténami [foto: Výzkumný a zkušební letecký ústav]

[1] Modul radiačního detektoru pro japonský satelit RISESat. Vpravo inženýrský modul určený k testům, vlevo letový modul z výrazně radiačně odolnějších součástek [foto: Jiří Ryszawy]

[2] Modul SATRAM (žlutý kvádr) na spodní straně ESA satelitu Proba-V [foto: ESA]

[3] Vědecké přístroje na palubě sondážní rakety NASA. Žlutý kvádr ve spodní části je raketový experiment REX se dvěma rentgenovými teleskopy [foto: Výzkumný a zkušební letecký ústav]

[4] Detail prototypu detektoru pro RISESat jako součásti rentgenového teleskopu pro raketový experiment REX [foto: FEL]

[5] Radiační mapa sestavená z dat z modulu SATRAM během 40 dní pozorování. Červeně jsou vyznačena místa ze zvýšenou intenzitou radiace – polární oblasti a Jihoatlantická anomálie [autor: ÚTEF]

[6] Ukázka snímku zachyceného Timepixem na oběžné dráze. Jednotlivé tečky představují většinou fotony, větší tečky alfa částice, zakroucené dráhy jsou elektrony, rovné tenké linky miony a silné rovné čáry jsou těžké ionizující částice jako např. protony [foto: ÚTEF]

[7] Radiační mapa sestavená z dat z detektoru Timepix na palubě českého satelitu VZLUSAT-1. Kvůli nízkému výkonu rádiového vysílače je přenos dat omezený, přesto jsou vidět oblasti s vysokou intenzitou záření (červeně). Tečkovaná čára ukazuje trajektorii satelitu na polární orbitě [autor: Tomáš Báča, FEL]

[8] Japonský satelit RISESat bez bočních krycích panelů v laboratoři na Univerzitě v Tohoku. Vlevo od černého tubusu jednoho z teleskopů je vidět hliníkový obal našeho modulu s detektory Timepix. [foto: ÚTEF]

vyvinula a postavila dva rentgenové dalekohledy, které byly umístěny do nevyužitého prostoru rakety. Cílem českého projektu REX (Raketový EXperiment) bylo opět testování rentgenové optiky typu račí oko. První dalekohled používá identický optický modul, jako rentgenový dalekohled na VZLUSATu-1. Druhý dalekohled využívá (ve srovnání s CubeSatem) mnohem větší nosnosti a rozměrů rakety a obsahuje dva větší optické moduly, které jsou vůči sobě pootočené o 90° a poskytují tak 2D obraz. Větší moduly mají delší ohniskovou vzdálenost, téměř 1,5 metru, a tím i velké zvětšení na úkor menšího zorného pole. Každý dalekohled je osazen jedním detektorem Timepix. Jednalo se o prototypy z vývoje modulů pro japonskou družici. Ty byly použity proto, že byly určeny a stavěny pro vesmír, zároveň jsme nemuseli riskovat nové drahé detektory. Raketa totiž přistává do oceánu a hrozí tak zničení přístrojů slanou vodou.

Použití rakety má přitom tu výhodu, že se dokáže během pozorovací doby stabilizovat směrem do jednoho bodu a je tak možné díky delším expozicím sledovat i vzdálené objekty. Observačním cílem týmu z univerzity Penn State byl pozůstatek supernovy Vela. My jsme naše dalekohledy zaměřili na pulsar Vela, neutronovou hvězdu se silným magnetickým polem, zhruba o hmotnosti Slunce a průměru asi 20 km, rotující jedenáctkrát za sekundu. Raketa byla úspěšně vystřelena ze střelnice na atolu Kwajalein na Marshallových ostrovech v dubnu 2018. Po vylovení z oceánu byly zjištěny díry v jejím plášti, takže do prostoru detektorů se nejspíše dostala voda. Počítače s naměřenými daty byly umístěny uvnitř hermetického boxu, který zůstal neporušen. Ten se nyní musí otevřít a data převést zpět do ČR, abychom mohli analyzovat výsledky.

RISESAT

Ve spolupráci s Univerzitou Tohoku v Japonsku a švédskou společností AAC Microtec ústav navrhl a vyvinul modul se dvěma detektory Timepix nad sebou pro budoucí japonský satelit RISESat. Satelit má rozměry 50 x 50 x 50 cm a hmotnost asi 50 kg. Úkolem modulu je opět sledování a měření radiačního pro-

středí v okolí satelitu na oběžné dráze. Detektory jsou umístěny nad sebou se senzorovými vrstvami proti sobě a s odstupem zhruba 6 mm. Výhodou umístění dvou detektorů těsně nad sebou je možnost přesnějšího určení trajektorie částic i jejich energie, protože měříme lineární přenos energie v dvojnásobné tloušťce materiálu. Inženýrský modul úspěšně prošel vibračními a nárazovými zkouškami. Na jeho základě byl s pomocí české firmy BD Sensors postaven letový modul, který byl na přelomu letošního října a listopadu integrován v Japonsku do satelitu. Start rakety Japonské kosmické agentury (JAXA) je předběžně naplánován na prosinec 2018.

MIRAM

Na základě našich zkušeností a bezchybného výkonu detektorů Timepix přímo ve vesmíru obdržel ÚTEF spolu se svou spin-off společností Advacam projekt od ESA s cílem navrhnout, vyvinout a otestovat čtyři prototypy Miniaturizovaných Radiačních Monitorů (MIRAM). Tato zařízení jsou určena pro geostacionární telekomunikační satelity. Cílem těchto zařízení, založených na detektorech Timepix, bude sledovat dávky kosmického záření, jímž budou satelity vystaveny. MIRAM byl vybrán, protože je o řád menší a lehčí ve srovnání s předchozími monitory záření, navíc má malou spotřebu energie a nízké náklady.

Připravují se další mise s našimi detektory

V posledních letech bylo úspěšně použito ve vesmíru několik zařízení s detektorem Timepix, vyvinutých v našem ústavu. Několik dalších misí se připravuje v blízké budoucnosti, to vše dokazuje skvělý výkon tohoto zařízení. V současnosti jsou využívána třemi velkými kosmickými agenturami z celého světa (NASA, ESA, JAXA), což ukazuje potenciál detektorů na bázi Timepixu stát se standardní součástí mnoha budoucích komerčních a vědeckých satelitů, popřípadě být i na palubě meziplanetárních letů. V roce 2014 umístila NASA dva Timepixy na palubu testovacího letu meziplanetární lodi Orion, vyvíjené pro lety na Měsíc a na Mars.

autor: Robert Filgas

Observačním cílem týmu z univerzity Penn State byl pozůstatek supernovy Vela. My jsme naše dalekohledy zaměřili na pulsar Vela, neutronovou hvězdu se silným magnetickým polem, zhruba hmotnosti Slunce a průměru asi 20 km, rotující jedenáctkrát za sekundu. Raketa byla úspěšně vystřelena ze střelnice na atolu Kwajalein na Marshallových ostrovech v dubnu 2018.

Pohled zvenčí

Anketa s osobnostmi

Ústav technické a experimentální fyziky je na ČVUT unikátní i tím, že zde pracuje (krátkodobě či více let) mnoho cizinců, kteří zde tvoří úspěšnou mezinárodní vědeckou komunitu. Několika z nich jsme se zeptali, jaké jsou jejich zkušenosti z působení v ÚTEF, na čem zde pracovali a jaký je jejich názor nejen na výzkum v tomto vysokoškolském ústavu, ale i na celou českou vědu?



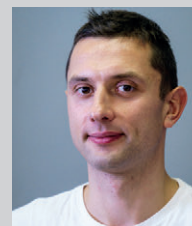
Erik Heijne (Nizozemí):

Od roku 1973 působím jako vědec v evropské laboratoři CERN v Ženevě a oficiálně jsem v roce 2010 odešel do důchodu. Přesto nyní dále pracuji na částečný úvazek v ÚTEF ČVUT. V roce 1988 jsem zahájil projekt pro vývoj křemíkových zobrazovacích zařízení, tzv. pixelových detektorů pro nové experimenty v CERN. Poté mě v CERN navštívil doktor Stanislav Pospíšil z ČVUT, který později založil ÚTEF ČVUT, což byl začátek naší téměř třicetileté spolupráce. Mikroelektronický konstrukční tým v CERN pokračuje ve vývoji stále sofistikovanějších čipů, jako jsou Medipix a Timepix. V ÚTEF je stále více a více inženýrů, kteří se stávají odborníky na vývoj systémů potřebných k provozu těchto čipů a jejich aplikací. V současné době působí v České republice již několik komerčních společností, které rozšiřují praktické používání těchto zařízení po celém světě pro lékařské a analytické zobrazování či pro analýzu uměleckých děl.



Masato Arai (Japonsko):

V ÚTEF jsem pracoval v oblasti teoretické částicové fyziky, kde jsem také vedl Ph.D. studenta ze Slezské univerzity. Spolu jsme během naší spolupráce publikovali tři vědecké články. Navíc jsem spolupracoval s kolegy z oblasti urychlovačové fyziky, která je jednou z klíčových výzkumných aktivit ústavu. Na tomto pracovišti panovala atmosféra vstřícná pro diskuse s kolegy, které byly podnětné nejen pro mne, ale i pro celý tým. Ústav vždy podporoval účast svých pracovníků na mezinárodních konferencích, díky čemuž jsem budoval svou vědeckou kariéru. Dle mé zkušenosti má česká věda stejnou úroveň jako v ostatních zemích, včetně mé rodné země Japonska. Výzkumníci zde mají hluboké odborné znalosti a jsou schopni vědecké práce na vynikající úrovni. Klíčem k tomuto úspěchu v ÚTEF je dle mého názoru skutečnost, že se jeho pracovníci účastní široké škály mezinárodních kolaborací, což poukazuje na vysokou úroveň vědy a výzkumu v ústavu.



Benedikt Bergmann (Německo):

Po dokončení magisterského studia na univerzitě v Erlangenu v Norimberku jsem se v roce 2012 připojil k ÚTEF. Od té doby pracuji na vyhodnocování a interpretaci dat pořízených nejmodernějšími hybridními aktivními pixelovými detektory Timepix a Timepix3 v různých experimentech částicové a jaderné fyziky a ve vesmírných aplikacích. Navrhují nové detekční nastavení pro lepší rozlišení částic a pomáhám při vývoji příslušné readout elektroniky. Velice si cením možnosti pracovat v interdisciplinárním týmu studentů a zkušených vědců. Oceňuji, že mám svobodu věnovat se svým vlastním nápadům a cením si pozitivního postoje ÚTEF k mezinárodní spolupráci, což mi umožňuje trávit čas v zahraničí a získávat zkušenosti z výzkumných zařízení po celém světě.



Martin Pichotka (Německo):

ÚTEF je přední institucí ve vývoji částicových detektorů s přímou konverzí a jejich aplikací. Protože jsem v rámci svého doktorského studia zkoumal výkonnost těchto zařízení v 3D zobrazování, přestěhoval jsem se v roce 2014 do Prahy, abych zde pokračoval v tomto výzkumu. Tady jsem se setkal s pestrobarevnou směsicí fyziků a matematiků, stejně tak jako hardwarových a softwarových vývojářů, kteří společně pracují na tom, aby vytvořili úžasné výsledky díky novým detektorovým technologiím. Distribuce naší technologie a metodologie do vědeckých institucí v Evropě a na celém světě, jakož i výsledky komerčních spin-off společností, jsou jasným důkazem úspěchu tohoto snažení.



Joshy Madathiparambil Jose (Indie):

V ÚTEF jsem pracoval na experimentu SPT (Silicon Pixel Telescope), který se zabývá dvojitým beta rozpadem. Mám velmi pozitivní zkušenosti z doby mého působení v tomto univerzitním ústavu, jenž se účastnil několika národních a mezinárodních projektů a spolupracoval se zahraničními institucemi. Disponuje vynikajícími zařízeními pro výzkum a příležitostmi k interakci se zahraničními výzkumníky v oboru. Ústav podporuje účast na mezinárodních konferencích a produkci odborných publikací. Česká republika má skupinu talentovaných výzkumníků, kterým ale někdy chybí dostatečná infrastruktura nebo financování. Zpravidla zde musí být zahrnuti do příliš mnoha projektů, než je možné zvládnout, a pak mohou ztratit plné soustředění na svůj cíl. Díky své pozici uprostřed Evropy mají čeští vědci přístup k vědeckým kontaktům a zařízením v sousedních zemích. Kvalita a otevřenost výzkumu jsou v České republice nadprůměrné.



Thomas Billoud (Francie):

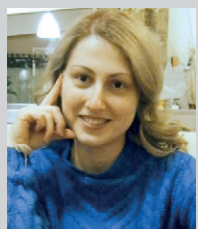
Začal jsem s ústavem spolupracovat v roce 2014, na počátku svého doktorského studia v oblasti fyziky částic, během mého působení na univerzitě v Montrealu v Kanadě. Tyto dvě instituce spolupracují na charakterizaci radiačního pole v experimentu ATLAS v Large Hadron Collider v CERN ve Švýcarsku. V roce 2017 jsem se stal zaměstnancem ÚTEF na částečný úvazek, abych mohl pokračovat ve svém výzkumu na toto téma. Projekt zahrnuje výzkumné pracovníky různých národností, kombinuje různé vědecké přístupy a vede k produktivní výměně myšlenek. Oceňuji smysl pro kreativitu v české vědě, a co je ještě důležitější, je zde snadné konkretizovat nové myšlenky. To je v ÚTEF umožněno kvalitou inženýrství, což z něj dělá stabilní ústav rozvíjející aplikovanou fyziku.



Davide Caforio (Itálie):

Moje činnost v ÚTEF byla zaměřena především na analýzu dat ze zařízení Timepix a Timepix3. Sít těchto přístrojů byla instalována v CERN v detektoru ATLAS, aby měřila složení a spektrální charakteristiku radiačního pole. Brzy se ukázalo, že tato detektorová síť je schopna velmi přesně měřit i luminozitu urychlovače, jejíž znalost je obzvláště důležitá v mnoha fyzikálních analýzách ve fyzice vysokých energií. Také jsem se podílel na instalaci čtyř zařízení Timepix3 v tunelu Large Hadron Collider v CERN, v současné době nejsilnějším srážecí částic na světě. Během práce v ÚTEF jsem zvláště ocenil pocit svobody, společný postoj a profesionalitu svých kolegů. Během působení ve skupině Medipix/Timepix oceňuji významné přispění ústavu do všech klíčových činností (hardware, software, analýza dat) ve více oblastech, jako je fyzika vysokých energií, kosmologie, vesmírné a lékařské aplikace.

ÚTEF usiluje o propojení špičkového výzkumu se specializovanou výukou. Naši studenti pracují na svých diplomových a doktorských pracích v rámci mezinárodních projektů řešených ve špičkových světových laboratořích, jako jsou CERN, SÚJV Dubna, ESA, ILL a ESRF Grenoble, v nichž je Česká republika členskou zemí.



Ekaterina Rukhadze (Rusko):

Má spolupráce s ÚTEF začala v roce 2010. Své disertační téma jsem si vybrala v rámci fyziky neutrin, konkrétně studium dvojitého rozpadu beta pomocí germaniových spektrometrů s nízkým pozadím. Na poli výzkumu těchto vzácných procesů má v České republice skupina Dr. Ivana Štekla z ÚTEF vedoucí postavení. Po celou dobu mého působení v ÚTEF jsem získávala neocenitelné zkušenosti, pracovala jsem v přátelském mezinárodním týmu s nejmodernějšími experimentálními technologiemi a nakonec jsem svou doktorskou práci úspěšně obhájila. Měla jsem také možnost účastnit se různých konferencí a seminářů na národní i mezinárodní úrovni. Po dokončení mého postgraduálního studia jsem se rozhodla pokračovat ve spolupráci s ÚTEF jako postdoktorský vědecký pracovník. Líbí se mi strategie ústavu zaměřovat se na rozvoj nových ambiciózních projektů a podporovat mladé výzkumníky v jejich rozvoji. Ústav nabízí příležitosti k praxi v různých mezinárodních vědeckých organizacích. Během sedmi a půl roku, které jsem strávila v ÚTEF, jsem své volby nikdy nelitovala. ÚTEF a jeho tým se stal mou rodinou, ke které se vždy chcete vrátit.

Odhalování skrytých detailů

Oddělení fyzikálních aplikací a technologií se v rámci ÚTEF ČVUT dlouhodobě věnuje rozvoji nedestruktivních detekčních metod s důrazem na rentgenovou mikro-radiografii a mikro-tomografii (mikro-CT) v oblastech materiálového inženýrství, kulturního dědictví a přírodních věd. Díky vlastnostem moderní detektorové technologie Timepix je možné zachytit i drobné rozdíly mezi velmi podobnými materiály. To umožňuje s vysokým rozlišením a kontrastem zobrazit i objekty, u kterých standardní radiografické a tomografické systémy selhávají.

Zobrazovací metody využívající svazků ionizujícího záření jsou známy již více než sto let. Za tuto dobu prošly intenzivním vývojem reagujícím na nové vědecké poznatky a pokroky ve vývoji zdrojů a detektorů ionizujícího záření. V posledních desetiletích se navíc připojil rozvoj výpočetní techniky umožňující využívání stále složitějších algoritmů pro korekce měřených dat a jejich další zpracování. Některé z metod dnes zůstávají dominantou úzce specializovaných laboratoří, zatímco jiné jsou rutinně využívány jak v medicíně, tak v průmyslu.

V našich laboratořích se ve spolupráci s partnery věnujeme zejména rentgenové mikro-radiografii a mikro-CT, tedy metodám, které umožňují nedestruktivně a s vysokou přesností získat infor-

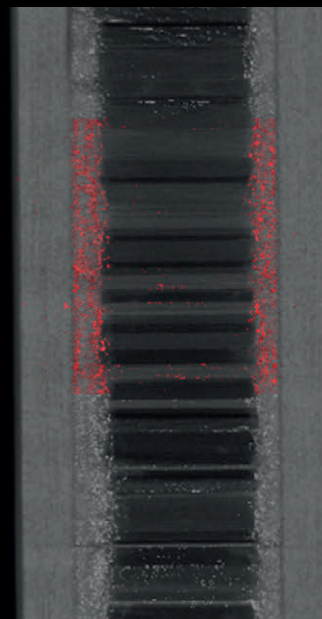
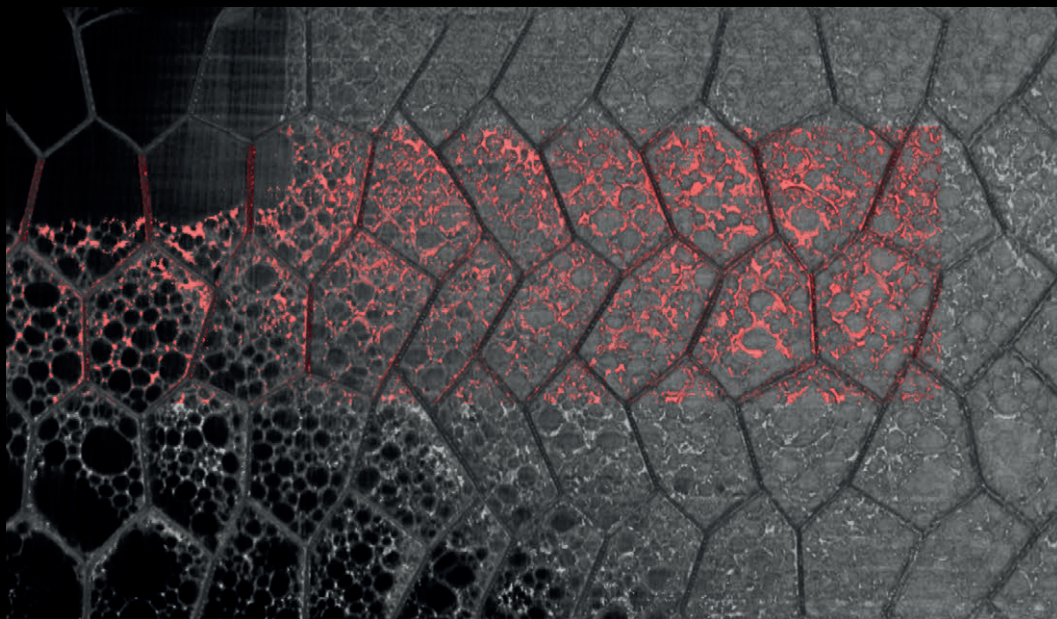
maci o vnitřním uspořádání studovaných objektů. Jako doplňkové metody jsou v některých případech využívány neutronová radiografie a emisní rentgen-fluorescenční mapování.

Rozvoj zobrazovacích metod je u nás úzce spjat s využitím hybridních polovodičových pixelových detektorů z rodiny Medipix. Tyto detektory v kombinaci s moderními nano-fokusovými rentgenovými trubnicemi umožňují studovat detaily vzorku menší než 1 mikrometr. Navíc tyto detektory poskytují vyšší kontrast díky schopnosti počítat jednotlivé dopadající fotony (místo integrování vzniklého náboje).

Ve spolupráci s Ústavem teoretické a aplikované mechaniky AV ČR, v.v.i. (ÚTAM) jsou řešeny projekty zaměřené na defektoskopii

konstrukčních materiálů. Jedná se například o určování rozložení lepidel a dutin v kompozitních materiálech či sledování šíření skrytých trhlin. Oblast pokročilé inspekce kompozitů je v současné době velmi žádaná výrobcí leteckých komponentů.

V oblasti kulturního dědictví se s Akademickou laboratoří materiálového průzkumu malířských děl (ALMA) věnujeme velkoplošnému snímání malovaných výtvarných děl. Výsledné radiografie o rozlišení stovek milionů pixelů slouží nejen jako dokumentace stavu díla, ale v některých případech mohou pomoci i s jeho datací. Druhou výhodou velkoplošných radiografií je možnost odhalování starších restaurátorských zásahů, dílčích úprav či přímo přemaleb celého díla.



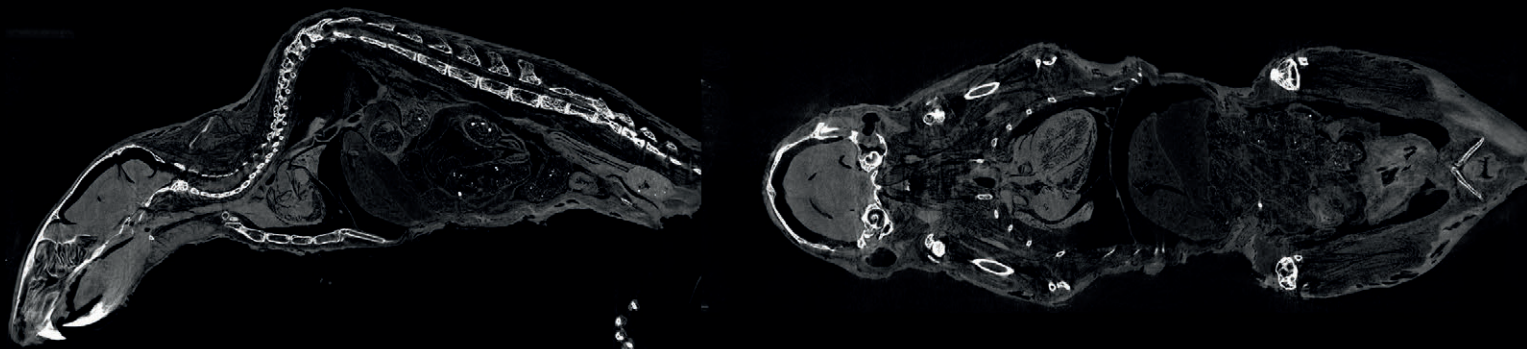
Zobrazení dvou rovin tomografické rekonstrukce kompozitního materiálu. Červeně zbarvená oblast odpovídá výskytu lepidla držícímu jednotlivé vrstvy pohromadě. Rozložení lepidla bylo získáno energeticky citlivou technikou založenou na využití dvou různých spekter záření.

Při snímání velkoplošných malovaných výtvarných děl získáváme radiografie s velikostí pixelů na úrovni 40 μm (více než 600 DPI). Z největšího námi měřeného plátna o rozměrech 120 × 90 cm vznikl snímek s rozlišením 30 000 × 22 500 pixelů, tedy 675 milionů pixelů.



Svatá rodina, olej na plátně, 84 × 65,7 cm, sbírka soukromého majitele. Viditelný motiv z počátku 20. století pod sebou skrývá starší barokní malbu (prolnutí barevné fotografie a šedotónové radiografie). Snímek vznikl ve spolupráci ÚTEF ČVUT a ALMA.

Vývoj zobrazovacích metod v preklinickém výzkumu probíhá na věrných fantomech vyrobených procesem plastinace. Během výroby fantomu je voda v měkkých tkáních reálných biologických vzorků nahrazena zvláštní pryskyřicí, která tkáň stabilizuje a zamezí jejich rozkladu. Takto vyrobený fantom je tedy anatomicky naprosto autentický, a proto lze omezit používání živých zvířat.



Na snímku jsou virtuální řezy v sagitální (vlevo) a frontální (vpravo) rovině vybrané z CT skenu fantomové myši fixované procesem plastinace. Takto vzniklý časově stálý vzorek je vhodný pro opakovaná měření nutná pro vývoj zobrazovacích metod.

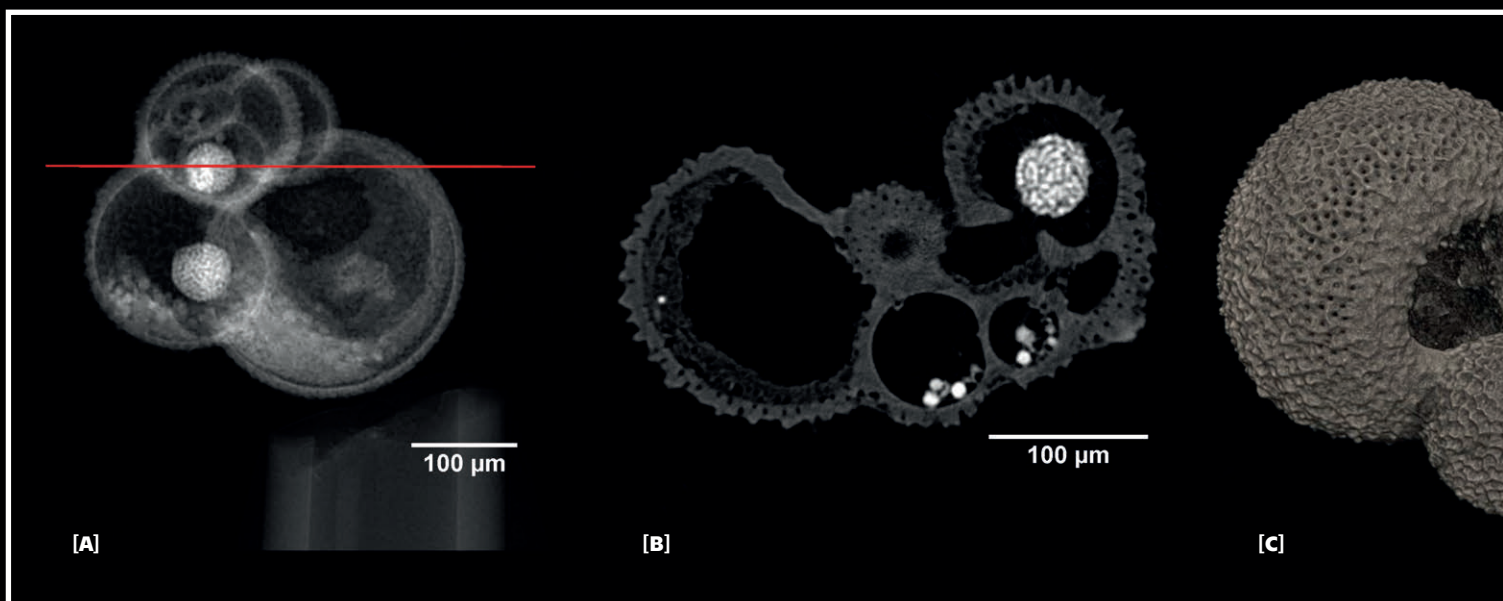
Zobrazování v oblasti preklinického výzkumu je převážně realizováno v rámci Specializované laboratoře experimentálního zobrazování (SLEZ), kterou ÚTEF provozuje společně s 3. lékařskou fakultou (3. LF) UK a Fakultou biomedicínského inženýrství (FBMI) ČVUT. Záměrem laboratoře je rozvoj preklinických nedestruktivních zobrazovacích metod, které mohou pro biologické vzorky poskytovat obrazovou informaci srovnatelnou s dnes běžně využívanými histologickými řezy. V laboratoři jsou již rutinně zobrazovány vnitřní anatomické struk-

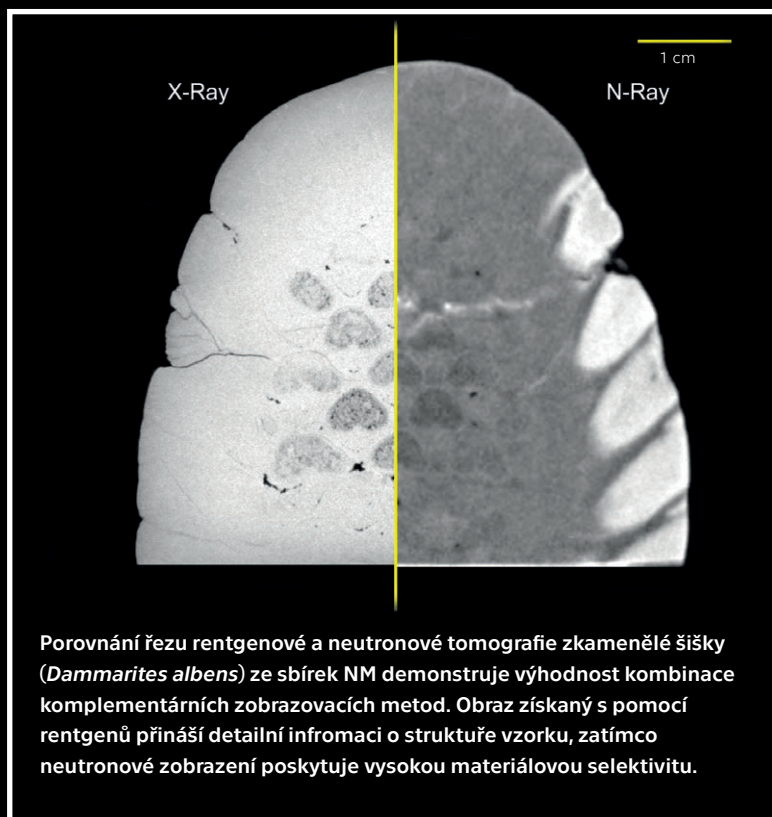
tury myších orgánů s rozlišením lepším než 10 mikrometrů. Oproti běžně používaným postupům se s využitím vysoké citlivosti použité detektorové technologie snažíme minimalizovat potřebu použití kontrastních látek.

Současné technologie umožňují prostřednictvím rentgenové mikro-radiografie a mikro-CT zobrazit zkoumané objekty s prostorovým rozlišením překračujícím hranici jednoho mikrometru. Takové rozlišení sice stále nemůže konkurovat optické nebo elektronové mikroskopii, nicméně rentgenová mikro-CT poskytuje oproti

zmíněným zobrazovacím metodám nepopíratelnou výhodu. Zatímco konvenční i elektronová mikroskopie zobrazují pouze povrch zkoumaného vzorku, RTG mikro-CT umožňuje nahlédnout pod povrch a detailně zobrazit vnitřní struktury vzorku formou věrného 3D modelu.

V současnosti využíváme zobrazování s extrémně vysokým rozlišením zejména v rámci spolupráce s Přírodovědeckou fakultou (PřF) UK pro studium fosilních foraminifer – mořských prvoků, kteří obývají Zemi již od období prvohor. Vzhledem k tomu, že se





Porovnání řezu rentgenové a neutronové tomografie zkamenělé šišky (*Dammarites albens*) ze sbírek NM demonstruje výhodnost kombinace komplementárních zobrazovacích metod. Obráz získaný s pomocí rentgenů přináší detailní informaci o struktuře vzorku, zatímco neutronové zobrazení poskytuje vysokou materiálovou selektivitu.

Komplementární zobrazovací metody

V současné době se stále častěji setkáváme s kombinací dvou či více zobrazovacích metod založených na různých fyzikálních principech. Tento přístup je dnes již běžný v medicíně (kombinované SPECT/CT či PET/CT), neboť přináší spojení informací o struktuře vzorku (CT) s funkční informací o akumulaci vhodně zvolené kontrastní látky v orgánech či jejich soustavách (SPECT, PET). V případě kombinace rentgenové a neutronové radiografie se využívá rozdílná citlivost obou metod na různé prvky v závislosti na jejich atomové hmotnosti. Výhodou neutronů ve srovnání s rentgenovým zářením je schopnost zobrazovat lehké prvky jako je vodík či uhlík. Kromě toho neutrony snadno pronikají těžšími prvky, což usnadňuje detekci organických materiálů například v masivnějších sedimentech či kovových pouzdrech. Ve spolupráci s Národním muzeem v Praze (NM) byly v posledních letech zkoumány paleobotanické vzorky (fosilie křídových rostlin), které podstoupily různé druhy fosilizace. V těchto případech může dojít jak k zuhelnatění původního organického materiálu, tak k jeho plnému nahrazení jiným materiálem při vyplňování jeho otisku v sedimentu.

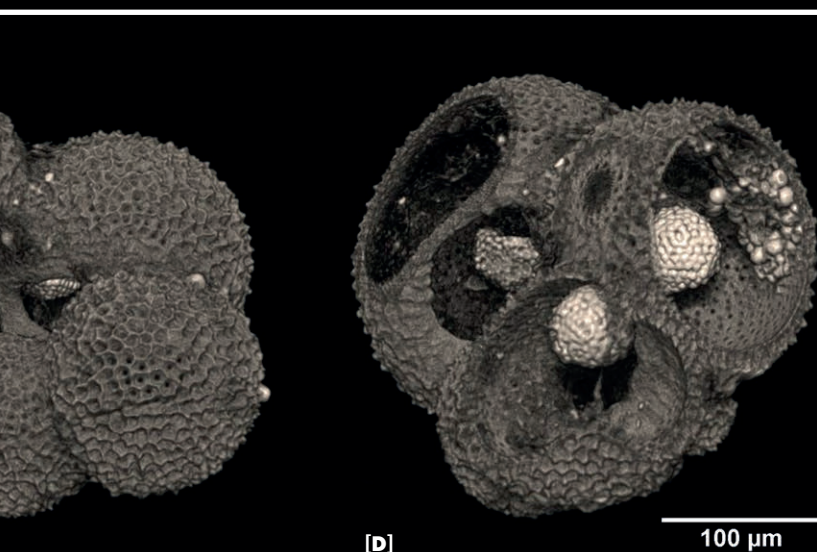
jedná o jednobuněčné organismy, jejich velikost pouze zřídka přesahuje 0,5 milimetru a jsou tedy sotva spatřitelné lidským okem. I přesto jsou foraminifery schopny vytvářet pro svou ochranu vápenaté schránky fascinujících tvarů. Stěna schránky je prostoupena množstvím otvorů velikosti pouhých několika mikrometrů sloužících k získávání potravy. Atraktivní formou prezentování výsledků je v tomto případě 3D tisk zrekonstruovaných modelů, umožňující vytvoření několika set násobně větší kopie vzorku.

Rozvoj zobrazovacích metod na našem pracovišti je často spojen s adaptací detektorové technologie přímo pro potřeby rentgenové radiografie. Příkladem může být konstrukce velkoplošného detektoru WidePix, která umožňuje skládání jednotlivých detektorů do kontinuální detekční plochy bez viditelných mezer. Největší takto zkonstruovaný detektor je tvořen rovnou stovkou čipů Timepix a poskytuje tedy výrazně větší zorné pole. To může být využito jak pro měření větších vzorků, tak pro měření malých vzorků s velkým zvětšením.

Jak již bylo zmíněno, věnujeme se i komplementárním plně spektroskopickým metodám, které využívají schopnosti detektorů nastavit detekční práh či přímo měřit energii každé dopadající částice. Mezi tyto metody patří energeticky citlivá radiografie a CT, emisní rentgen-fluorescenční mapování využívající principu dírkové kamery či kombinace jednofotonové emisní výpočetní tomografie (SPECT) s magnetickou rezonancí (MRI).

autor: Jan Žemlička
ilustrace: archiv ÚTEF

> Více na <http://www.utef.cvut.cz>



Vzorek foraminifery nasnímaný s pomocí rentgenové mikro-CT s rozlišením 830 nanometrů. Tomografie je založena na snímání stovek až tisíců 2D radiografických projekcí zkoumaného objektu pod definovanými úhly (A). Následně jsou aplikovány matematické algoritmy zajišťující tomografickou rekonstrukci – vytvoření sady virtuálních řezů. Pozice zobrazeného řezu je znázorněna červenou čarou v projekci (A). S využitím vhodných programových prostředků je pak možné tyto řezy poskládat ve 3D model a neinvazivním způsobem studovat jak vnější, tak vnitřní struktury s rozlišením na úrovni cca 1 mikrometr (C, D).

Do světa vysokých energií

Srážky v laboratořích CERN

Současné přírodní vědy popisují svět redukcionisticky. Věří, že poznáním vlastností jednotlivých částí složitějších přírodních objektů či základních stavebních kamenů hmoty můžeme alespoň v principu pochopit a popsat i tyto složitější struktury. Např. biologie se při popisu jevů v říši mnohobuněčných organismů odvolává na popis procesů probíhajících v jednotlivých buňkách. Ty lze popsat pomocí chemie, která samotná je v principu odvoditelná z fyziky atomů (v praxi to však může být z důvodu matematické složitosti velice obtížné, na principu to však nic nemění). Úplně nejnižší v této hierarchii fundamentálních popisů přírody je tedy fyzika, konkrétně fyzika elementárních částic.

Jedním z největších úspěchů fyziky 20. století je sestavení tzv. Standardního modelu elementárních částic. Ten nám říká, jaké jsou skutečně elementární stavební kameny hmoty a jakým způsobem spolu interagují. Postupně byly řadou důmyslných experimentů ověřeny předpovědi Standardního modelu elementárních částic na menších a menších rozměrových škálách, hluboko pod úrovní velikosti atomů. K takovýmto experimentům se používají urychlovače částic. Ty s využitím důmyslných technických zařízení pomocí elektrického pole urychlují elektricky nabitě testovací objekty (elektrony, protony, atomová jádra) a nechají je navzájem srážet. Čím větší je pohybová energie testovacích částic, tím jsou při pozorovaných srážkách studovány procesy na menších rozměrových škálách a v extrémnějších energetických podmínkách (podobných např. podmínkám v prvních okamžicích po Velkém třesku). Prakticky všechny dosud provedené urychlovačové experimenty poskytují výsledky, které jsou v souladu s předpověďmi Standardního modelu elementárních částic. Možná to zní jako paradox, ale pro fyziky to je tak trochu zklamáním – pozorovat a objevovat něco nového je pro ně vzrušující. Standardní model však trpí řadou vnitřních nekonzistentností a nedokáže uspokojivě vysvětlit některé jevy, které byly v poslední době pozorovány. Příkladem je existence tzv. temné hmoty

či temné energie ve vesmíru. To zaměstnává celou armádu teoretických fyziků.

Urychlovač LHC

Pro tvorbu lepšího fyzikálního modelu popisujícího přírodu teoretici potřebují výsledky měření provedených s ještě extrémnějšími energiemi srážejících se částic. Z tohoto důvodu byl ve Švýcarsku v Evropském centru pro jaderný výzkum (CERN) postaven urychlovač LHC (Large Hadron Collider). Po svém spuštění v roce 2008 se stal největším zařízením sloužícím ke zkoumání fundamentálních vlastností elementárních částic hmoty. Jedná se o kruhový urychlovač, který k udržení urychlovaných vstřícných svazků protonů využívá velké množství supravodivých magnetů. Toto největší vědecké zařízení na světě je umístěno v hloubce cca 100m pod zemí v kruhovém tunelu s obvodem 27 km. Umožňuje proti sobě urychlovat protony s energií 6,5 TeV, tedy na rychlosti velmi blízké rychlosti světla. Energie velkého množství protonů v urychlovaném svazku je skutečně extrémní – je asi 1 000krát větší než kinetická energie jednotového nákladního automobilu řícího se rychlostí 100 km/h. Pomocí urychlovače je možno zkoumat také vstřícné srážky urychlených těžkých jader a testovat tak některé modely popisující stav hmoty těsně po Velkém třesku (tzv. kvark-gluonová plasma). Cílem experimentů na urychlovači LHC je objevovat nové

typy a vlastnosti elementárních částic, jež dříve nebylo možné zkoumat.

Experiment ATLAS

Největším projektem na urychlovači LHC je experiment ATLAS. Využívá univerzální detektor produktů srážek uskutečňovaných na LHC. Jeho cílem je přesné měření vlastností známých elementárních částic a hledání částic nových, dosud neobjevených. Jedná se o vskutku gigantické zařízení – systém mnoha typů detektorů tvoří válec o délce 44 m a průměru 25 m. Celé zařízení je umístěno kolem oblasti, kde se protínají oba svazky urychlovaných částic v hloubce 100 m. Detektor z mnoha desítek milionů elektronických kanálů během své činnosti každou sekundu registruje obrovské množství informací. Každý rok je tak k další analýze vyprodukováno několik tisíc TB dat.

Členy tohoto experimentu jsou také instituce z České republiky. Kromě podílu na stavbě části vnitřního detektoru (především finální testování stripových polovodičových detektorů) byl ÚTEF zodpovědný za fyzikální a technické řešení masivního neutronového stínění částí detektoru před nebezpečným neutronovým zářením, které se během srážek v detektoru tvoří. Koordinoval také jeho výrobu v českých podnicích. Celkový přínos aktivit ÚTEF ve formě zakázek pro český průmysl představoval cca 65 mil. Kč. Dále ÚTEF vybudoval a instaloval detekční síť na bázi polovodičových pixelových detektorů typu Medipix pro sledování toků částic šířících se po srážkách vstřícných svazků vysokoenergetických protonů (či těžkých jader) v celém objemu detektoru. Od vybudování ústav zodpovídá za její provoz a analýzu dat z ní za účelem měření intenzity těchto srážek, tzv. luminosity experimentu, a celkového radiačního pozadí v průběhu srážek a radioaktivity indukované při nich.

Detektor ATLAS je zařízení, které registruje částice rodící se v místě srážek protonů pod relativně velkými úhly. Mnohem obtížněji měřitelné jsou však procesy, při kterých srážkou protonů vytvořené částice



Zařízení sloužící k registraci částic ionizujícího záření v blízkosti urychlovače LHC. Aparatura vyvinutá v ÚTEF ve spolupráci s Fakultou elektrotechnickou Západočeské univerzity v Plzni je založena na křemíkovém pixelovém detektoru Timepix 3 (detektor typu Medipix) a je umístěna ve vzdálenosti 140 m od interakčního bodu detektoru ATLAS [foto: ÚTEF]

letí ve směru osy srážejícího se svazku pod tak malým úhlem, že v rámci detektoru ani neopustí urychlovačovou trubici a nezasáhne tak žádnou část detektoru. Pracovníci ÚTEF spolu s kolegy z Fakulty elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni nainstalovali v tunelu urychlovače LHC ve vzdálenosti 140 m na obou stranách od interakčního bodu experimentu ATLAS dva pixelové detektory Timepix 3 (typu Medipix). Jsou určené k měření radiačního pole, budou sledovat částice a záření během urychlování a srážek primárních svazků a měřit aktivaci prostředí v době, kdy není urychlovač v provozu. Bude také stanovena radiační odolnost instalovaných detektorů. Ty jsou schopny měřit časové údaje a energii částic, kterou v detektoru předaly, s extrémně vysokým časovým rozlišením na úrovni 1,6 ns. Jejich povrch je částečně pokryt konvertorem (LiF) pro detekci pomalých neutronů. Uvedený experiment je přípravou pro účast ÚTEF na projektu AFP (ATLAS Forward Physics).

Pracovníci ÚTEF přispívají i k vyhodnocování dat naměřených v experimentu ATLAS. Příkladem mohou být analýzy vlastností Higgsova bosonu, částice podle Standardního modelu zodpovědné za nenulovou hmotnost hmotných elementárních částic. Higgsův boson je poslední objevená částice, která byla předpovězena Standardním modelem a poprvé pozorována v experimentu ATLAS a CMS (druhý

velký experiment na urychlovači LHC) až v roce 2012. Pracovníci ÚTEF se zaměřují na detekované události, ve kterých se Higgsův boson vyskytuje společně s tzv. top kvarky, nejtěžšími známými elementárními částicemi. Jejich hmotnost je srovnatelná s hmotností atomu wolframu, přesto se jedná o elementární částici. Top kvarky mají i řadu dalších extrémních vlastností. Teoretici proto předpokládají, že v procesech, kde se vyskytují, by mohly být pozorovány efekty tzv. nové fyziky, jdoucí za rámec všeobecně přijímaného Standardního modelu elementárních částic.

Experiment MoEDAL

ÚTEF je též zapojen do dalšího výzkumného projektu na LHC označeného MoEDAL (Monopole and Exotics Detector at the LHC). Jedná se o nejmenší detekční zařízení využívající urychlovač LHC. Tento experiment, který sdílí prostory s větším detektorem LHCb, je zaměřen na hledání Diracova magnetického monopolu a dalších hypotetických extrémně ionizujících částic. Magnetický monopol je objekt, který by měl nést magnetický náboj. Jeho existence byla předpovězena řadou teorií jdoucích za Standardní model elementárních částic, dosud však nebyla experimentálně prokázána.

Konstrukce experimentu MoEDAL je z hlediska současného výzkumu ve fyzice částic poněkud netradiční. Existenci hypotetických částic totiž nedetekuje nabíráním dat v reálném

čase pomocí důmyslných elektronických detektorů. Hlavním detekčním médiem experimentu jsou speciální fólie, které by svým průchodem měly silně ionizující částice (jako jsou magnetické monopóly) narušit. Při občasné analýze fólií by pak v nich bylo možné pozorovat narušení v místech průchodu hledaných částic. Dalším způsobem detekce hledaných exotických částic je jejich záchyt uvnitř kvádrů hliníku o celkové hmotnosti cca 1 000 kg. Tento prvek byl pro účely experimentu zvolen proto, že jádra jeho atomů mají magnetické vlastnosti vhodné pro účely experimentu. Exponované hliníkové bloky jsou následně skenovány pomocí supercitlivých magnetometrů. Možný rozpad zachycených exotických částic je pak sledován v nejhlubší podzemní laboratoři na světě, ve SNOLAB v Kanadě.

Podobně jako v případě experimentu ATLAS, vybavili pracovníci ÚTEF experiment MoEDAL svými polovodičovými pixelovými detektory typu Medipix (Timepix). Ty slouží primárně pro odhad počtu známých silně ionizujících částic (jako jsou těžká jádra), přirozeně vznikajících v radiačním poli experimentu. Pro svoji univerzálnost jsou však schopny při větší míře štěstí detekovat i hledané magnetické monopóly. Experiment MoEDAL dosud žádnou hledanou exotickou částici nezaregistroval. To však nebrání teoretikům z ÚTEF přemýšlet, jaké vlastnosti by hledané částice měly mít.

autor: Karel Smolek

Prakticky všechny dosud provedené urychlovačové experimenty poskytují výsledky, které jsou v souladu s předpověďmi Standardního modelu elementárních částic. Možná to zní jako paradox, ale pro fyziky to je tak trochu zklamáním – pozorovat a objevovat něco nového je pro ně vzrušující.

Urychlovač Van de Graaff

Laditelný zdroj monoenergetických neutronů a lehkých iontů

Ve stejné budově areálu Matematicko-fyzikální fakulty UK na rozhraní Libně a Troje, kde Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská ČVUT provozuje svůj školní reaktor Vrabec, je umístěno i další unikátní zařízení. Urychlovač Van de Graaff, který Ústav technické a experimentální fyziky ČVUT koupil v roce 2010 od MFF UK, byl ze školní výukové jednotky přebudován na komplexní vědecké centrum – mnohoúčelovou laboratoř pro fyziku protonů, neutronů a záření gama.

Urychlovač, jenž byl převzat i s velkým a dalšími přílehlými místnostmi, kde se zpracovávají signály a data přenášená po kabelech z experimentální haly, je jediným takovým zařízením na českých vysokých školách. Jedná se o tzv. elektrostatický lineární urychlovač s maximálním urychlujícím napětím 2,5 MV. Pracuje na principu přenosu náboje (kladného) ze zdroje vysokého napětí (několika kV) pomocí nabíjení pohyblivého transportního pásu na „zemním“ konci na konec „vysokonapěťový“, kde se náboj stírá kartáčkem a nabíjí celou vzdálenou část na potenciál dosahující až 2,5 milionu voltů. Vzhledem k hodnotě maximálního napětí nemůže urychlovač pracovat za atmosférického tlaku a je proto umístěn do uzavřené tlakové nádoby, naplněné stlačeným plynem (kolem 20 barů), a to vysoce suchým dusíkem a dalšími speciálními plyny, zajišťujícími odolnost proti průrazu vůči kovové tlakové nádobě.

Středem zařízení je vedena tzv. urychlovací trubice, do které se na vysokonapěťovém (VN) konci vstříkují ionizovaný plyn a jelikož ionizované atomy/molekuly mají též kladný náboj, jsou poté vysokým potenciálem „vytlačovány“ urychlovací trubicí do tzv. iontovodů a poté do experimentálních komor. Urychlovací trubice se skládá z mnoha desítek kovových

segmentů oddělených skleněnými kroužky, které jsou propojeny sériově řazenými identickými rezistory, čímž je podél trubice vytvořen lineární spád napětí od maxima po nulu na výstupu z urychlovače. Proud, tekoucí tímto řetězcem rezistorů, je dále využíván ke stabilizaci napětí. Speciálním regulačním prvkem je tzv. „korónový vybíječ“, tvořený kovovým terčíkem s hroty, který je pomocí dálkově ovládaného motoru přibližován či oddalován od VN konce. Přiblížením k němu nastane korónový efekt, kdy je bez vzniku elektrického průrazu plynule „odsávána“ část náboje. Výsledkem obou popsaných regulačních mechanismů je udržování nastavené napětí s přesností pod 1 promile (tedy s odchylkou do 1 kV při napětí 1 MV).

Vzhledem k vysokému rozdílu potenciálů mezi zemním a VN

koncem urychlovače není možné vést vnitřkem urychlovače žádné kabely ani trubice s plynem. Veškeré plyny jsou po celou dobu provozu mezi opětovným naplněním ve formě stlačeného plynu v bombičkách na VN straně a jejich tok je řízen pomocí speciálních ventilů, ovládaných z velínu. Pro tento účel slouží transportní pás též k přenosu mechanické energie – pohání alternátor, který napájí celou VN část. Přenos řídicích povelů je prováděn systémem: z velínu řízený servomotor na zemní straně a přenos otáček izolační tyčkou na aktuátor (potenciometr, přepínač apod.) na VN konci, jehož součástí je též VF generátor, sloužící k ionizaci plynu, vstupujícího do urychlovací trubice.

Svazek vystupující z urychlovače je po nezbytné fokusaci a linearizaci veden do rozdělovacího magnetu, který slouží jednak k odklápění svazku do jednotlivých iontovodů (celkem sedm možností), jednak jako hmotnostní separátor. Úhel odklonu je úměrný jak hmotnosti, tak i náboji daného iontu, takže lze oddělovat jednou či více násobně ionizované ionty a právě tak i atomární a molekulové svazky. Jednotlivé svazky mohou být vedeny buď přímo do experimentálních komor, kde jsou dále zkoumány jejich interakce s materiály, nebo detektory. Přímý svazek je na svém konci odkloněn o 90° pod podlahu a veden na sesterské pracoviště FJFI ČVUT, kde slouží k povrchovým analýzám materiálů, a konečně na několika iontovodech je svazek přiveden na terčíky, na kterých produkuje neutrony.

Všechny iontovody a experimentální komory jsou provozovány jako vakuové. Součástí pracoviště je tedy i systém mnoha vakuových pump, od rotačních pro předčerpávání po turbomolekulární pro vysoké vakuum, včetně řady vakuoměrů a vakuových ventilů až po systém bezpečnostních ventilů, chránících

Urychlovač Van de Graaff odkoupil Ústav technické a experimentální fyziky ČVUT od MFF UK v roce 2010. Z původně již odstaveného zařízení vybudoval v průběhu následujících let úspěšnou laboratoř, jedinou svého druhu na všech českých vysokých školách a zapojenou do řady mezinárodních vědeckých programů (ESA, CERN a dalších). Toto komplexní vědecké centrum – mnohoúčelová laboratoř pro fyziku protonů, neutronů a záření gama nyní umožňuje vlastní výzkum v oblasti jaderné fyziky.

automaticky před poškozením jak vlastní urychlovač, tak vysokootáčkové turbomolekulární pumpy.

Zařízení poskytuje kromě svazků lehkých iontů (protony, deuteryony či částice alfa) též monoenergetické neutrony s energií laditelnou v poměrně širokém rozmezí (od 30 keV do téměř 19 MeV). Provádí se zde výzkum jak základního, tak i aplikovaného charakteru.

V oblasti základního výzkumu jde o studium interakce polarizovaných neutronů na polarizovaných terčích (spinová fyzika), o produkci tzv. značených částic („tagged neutrons“) a dále o zkoumání jaderných reakcí užitečných pro astrofyzikální výzkum a pro jadernou fúzi. Pro účely spinové fyziky je laboratoř vybavena i „superkryostatem“, který umožňuje pracovat s terčíky na teplotě pouhých 20 mK. V součinnosti s Univerzitou Montreal se připravuje též experiment, který by mohl přispět k hledání tzv. temné hmoty ve vesmíru.

Co se týče aplikační sféry, pracoviště je využíváno pro kalibraci a testování různých detektorů částic při definovaných hodnotách energií, toků, ale i směru záření (lehké ionty, neutrony). Významným programem je také kalibrace a testování přístrojů určených pro kosmický výzkum. Zde

hrají hlavní roli potřeby Evropské kosmické agentury (ESA), která financovala přebudování neutronových terčů a absolutní kalibraci zdrojů. Ve spolupráci s agenturou byla zkonstruována přenosná gama-stanice pro dálkové testy u zařízení určených k práci na oběžné dráze, která je v současnosti zapůjčena v moskevském Ústavu kosmických výzkumů.

Vědecký program pracoviště je realizován v rámci mezinárodních projektů s podporou týmu z mateřské instituce. Klíčová je úspěšně navázaná spolupráce s mezinárodními a nadnárodními výzkumnými institucemi, jako jsou CERN, ESA nebo Spojený ústav jaderných výzkumů v Dubně.

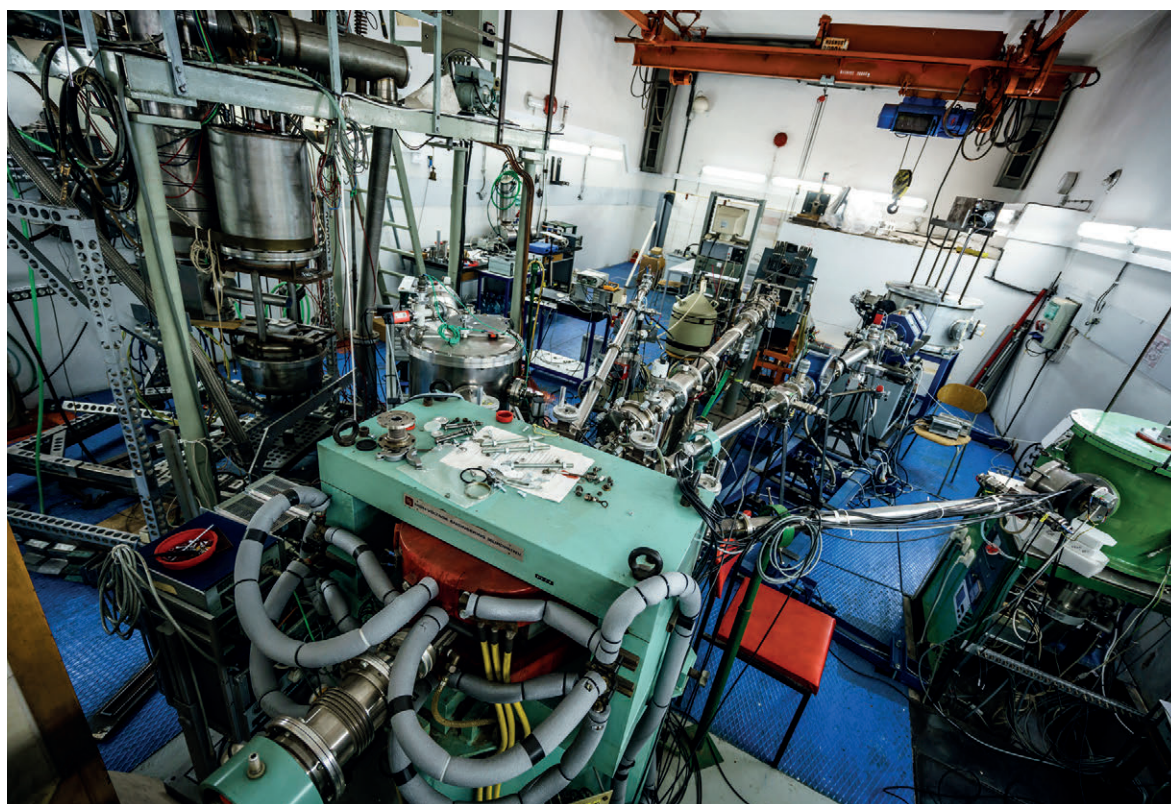
V roce 2009 byl v ČR novelizací zákona č. 130/2002 Sb., o podpoře výzkumu a vývoje, ustanoven nový nástroj pro financování vědy – tzv. velké infrastruktury pro výzkum, experimentální vývoj a inovace. Za jeho správu na národní úrovni nese odpovědnost Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy. Velká infrastruktura je charakterizována jako jedinečné výzkumné zařízení, které je nezbytné pro ucelenou výzkumnou a vývojovou činnost s vysokou finanční a technologickou náročností a které je schva-

lováno vládou a zřizováno jednou výzkumnou organizací pro využití rovněž dalšími výzkumnými organizacemi. Právě naše pracoviště bylo pro své parametry do této sféry zařazeno. Důležitým rysem je jeho otevřenost a přístupnost pro experimentátory z vnějšku – nejen z ostatních součástí ČVUT, nýbrž i z tuzemských a zahraničních univerzit či výzkumných ústavů. Jakýkoliv vědecký tým může předložit svůj badatelský projekt a požádat o příslušný čas na urychlovačovém svazku. Relevantnost takovéto žádosti je posouzena vědeckou radou projektu a poté je badatelům poskytnut potřebný urychlovačový čas. Svazek, stejně tak jako veškeré podpůrné vybavení pracoviště, jsou přitom poskytovány bezplatně, neboť laboratoř je provozována v režimu „open access“. Zmíněná bezplatnost se vztahuje též na komerční subjekty, ovšem pouze tehdy, pokud zde prováděná měření mají sloužit nevýdělečnému vědeckému programu. Pro výdělečné komerční využití je účtován příslušný podíl na provozních nákladech laboratoře.

autor: Michael Solar

foto: Jiří Ryszawo

> Více na <http://vdg.utef.cvut.cz>



Magnet ohýbající svazek urychlených iontů do zvoleného iontovodu

Mgr. RASTISLAV HODÁK, Ph.D.
Rastislav.Hodak@utef.cvut.cz

Středobodem zájmu skupiny Podzemních experimentů a neutrin v ÚTEF ČVUT je studium vlastností neutrin, elementárních částic, které představují jednu z nejdůležitějších a nejpočetnějších stavebních složek vesmíru. Od 30. let minulého století, kdy Wolfgang Pauli poprvé navrhl existenci neutrin, se výzkum jejich vlastností a interakcí stal jednou z nejdynamičtějších a nejzajímavějších aktivit v oblasti fyziky elementárních částic, astrofyziky i kosmologie.



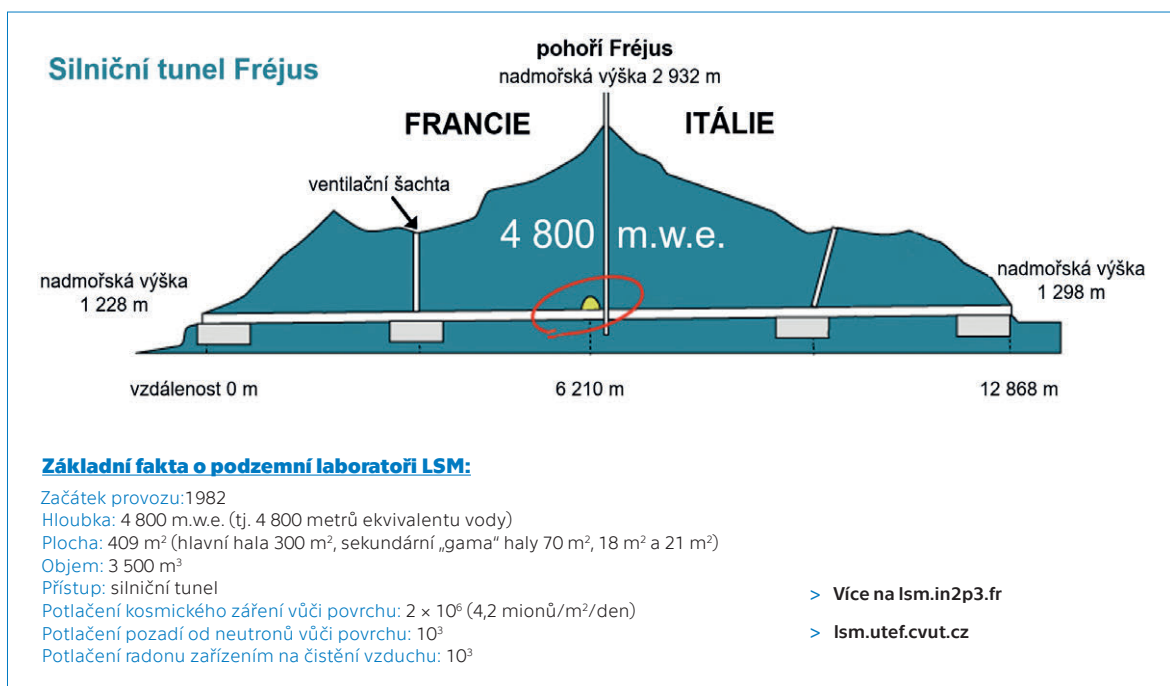
Tajemná neutrina

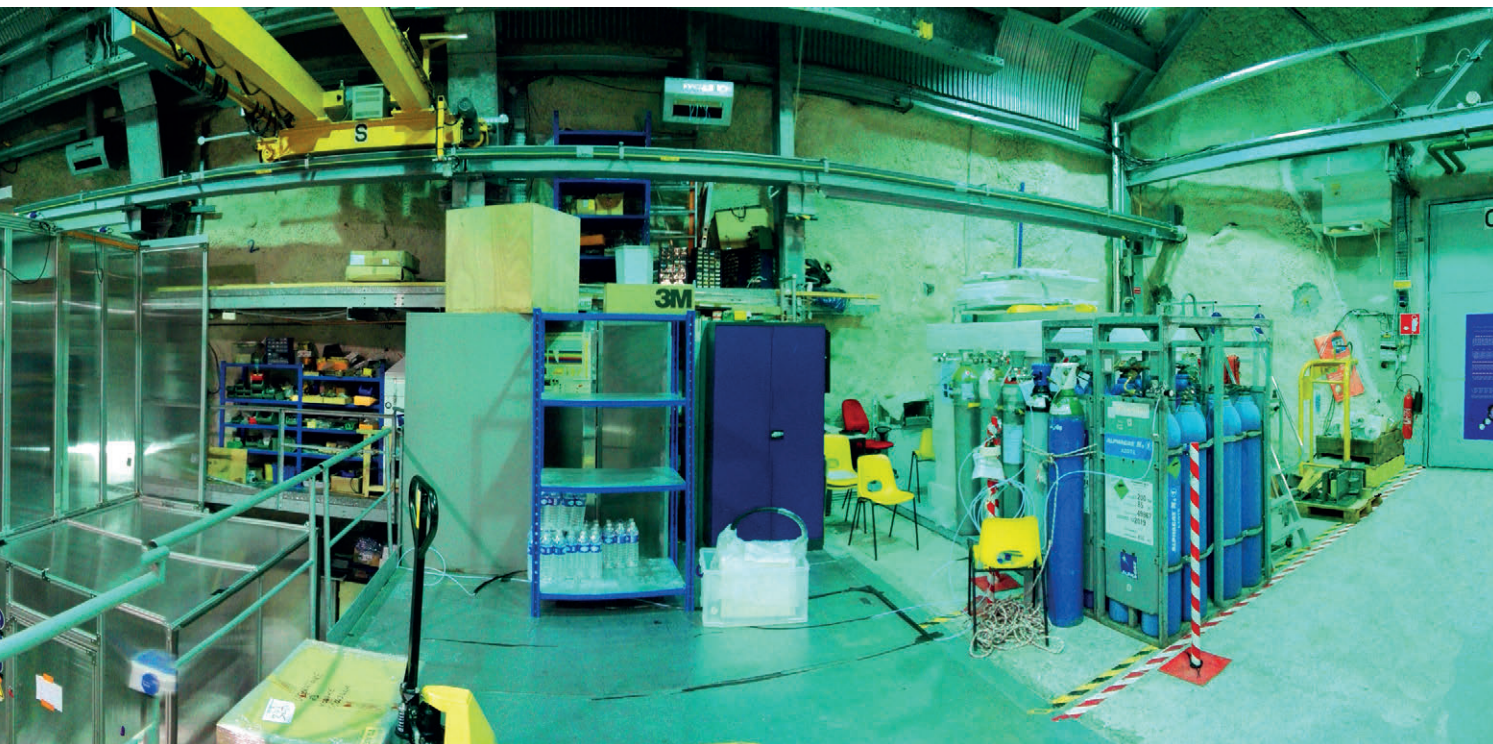
Vědečtí pracovníci v ÚTEF ČVUT se věnují jak základnímu, tak i aplikovanému výzkumu, zaměřenému na určení hmotnosti neutrina (experimenty SuperNEMO, TGV a SPT, umístěné v podzemní laboratoři LSM ve Francii), na detekci reaktorových antineutrin, čímž lze též monitorovat výkon a izotopové

složení jaderného reaktoru (experiment S³), na detekci vysokoenergetických kosmických neutrin (neutrinový teleskop Bajkal-GVD v Rusku) a v neposlední řadě na studium oscilací neutrin a detekci sterilních neutrin (experiment ICARUS umístěný ve Fermi-labu v USA).

Podzemní laboratoř LSM

Studium některých vzácných fyzikálních procesů vyžaduje měření extrémně slabých signálů. Z pohledu účinného rozlišení hledaného signálu a potlačení signálu přírodního radioaktivního pozadí, způsobeného hlavně kosmickým zářením, jsou experimenty studu-





Hlavní hala podzemní laboratoře LSM (vlevo v čistém stanu je umístěn experiment SuperNEMO)

jící hmotnost neutrína zpravidla uloženy v podzemních laboratořích. Pracovníci ÚTEF mají prostřednictvím projektu velkých infrastruktur pro výzkum, experimentální vývoj a inovace volný přístup do nejhlubší evropské podzemní laboratoře LSM (Laboratoire Souterrain de Modane) v Savojských Alpách ve Francii. Tato mezinárodní laboratoř je umístěná v téměř 13 km dlouhém silničním tunelu pod pohořím Fréjus (2 932 m n. m.) na francouzsko-italské hranici.

Experimentální zaměření LSM pokrývá především základní výzkum v oblasti neutrinové fyziky a v hledání temné hmoty, dále následuje HPGe spektroskopie (měření ultra nízkých radioaktivit, např. na jednom z největších HPGe detektorů ve světě, nazývaném OBELIX, jehož spoluvlastníkem je i ÚTEF ČVUT), testy elektronických čipů z hlediska vlivu radiace na jejich funkčnost, výzkum DNA a buněk v prostředí s extrémně nízkou radioaktivitou, datování nalezenných artefaktů a radionuklidové datování jezerních sedimentů pro studium klimatických změn. Potřebnou infrastrukturu laboratoře zahrnuje také superčistá místnost, zařízení na čištění vzduchu od radonu,

bezpečnostní zařízení a rovněž plánovaný automatický systém pro výměnu vzorků u HPGe detektorů.

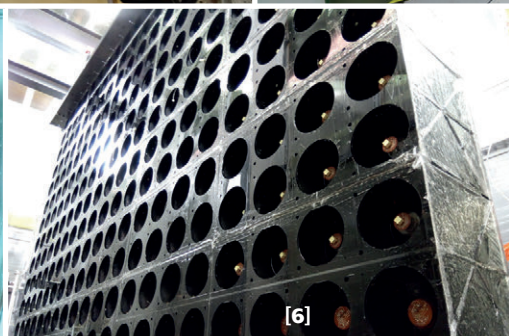
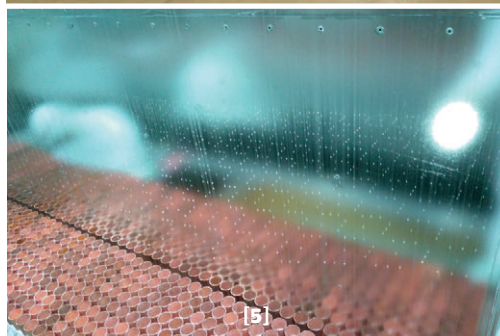
Skupina vědeckých pracovníků ÚTEF je dlouhodobě zapojena do mezinárodních experimentů s jaderným dvojítm beta rozpadem: NEMO3 (^{100}Mo , ^{82}Se , ^{130}Te , ^{116}Cd , ^{150}Nd , ^{96}Zr a ^{48}Ca) / SuperNEMO (^{82}Se), TGV-2 (^{106}Cd), SPT (^{106}Cd) a COBRA (^{116}Cd), kde hrají významnou roli v mnoha klíčových aspektech.

V případě jaderného procesu jednoduchého rozpadu beta se v jádře transformuje neutron na proton se současnou emisí elektronu a antineutrinu. U dvojitého rozpadu beta jde o současnou proměnu dvou neutronů na dva protony s emisí dvou elektronů a dvou antineutrin ($2\nu\beta\beta$ rozpad). Avšak podle teorie by tento proces mohl probíhat i bez emise dvou antineutrin ($0\nu\beta\beta$ rozpad). Tento vzácný rozpadový mód, prokazující narušení zákona zachování celkového rozdílu počtu leptonů (např. elektrony a neutrina) a jejich antičástic, dosud nebyl experimentálně pozorován. Taková asymetrie by mohla vysvětlit, proč je ve vesmíru víc hmoty než antihmoty.

SuperNEMO experiment

Aktuálně největším experimentem v LSM je SuperNEMO, představující novou generaci projektu NEMO3 (Neutrino Ettore Majorana Observatory). Mezinárodní kolaborace NEMO (Francie, Velká Británie, Česko, USA, Rusko, Slovensko, Ukrajina, Japonsko a Finsko) se zabývá dvojným rozpadem beta již od roku 1989.

Úspěšný experiment NEMO3, provozovaný v letech od 2003 do 2011, velmi přesně jako první na světě proměřil $2\nu\beta\beta$ rozpad na izotopech ^{100}Mo , ^{82}Se , ^{130}Te , ^{116}Cd , ^{150}Nd , ^{96}Zr a ^{48}Ca a zároveň stanovil limity na poločasy přeměny pro $0\nu\beta\beta$ rozpad pro tyto izotopy. Změření veličiny známé jako poločas přeměny $0\nu\beta\beta$ rozpadu, podle teoretických předpovědí delší než 10^{26} let, by znamenalo pozorování doposud nejdéle probíhajícího procesu v přírodě. Pro srovnání, odhadovaný věk vesmíru je na úrovni 10^{10} let. Znalost poločasu přeměny $0\nu\beta\beta$ rozpadu nás výrazně přiblíží k určení hmotnosti neutrin. Navíc, samotný $0\nu\beta\beta$ rozpad může existovat jen za předpokladu, že neutrina a antineutrino jsou stavy jedné, tzv. Majoranovské částice.



Hlavním cílem experimentu SuperNEMO (<http://supernemo.org/>) je především výzkum exotického $0\nu\beta\beta$ rozpadu na izotopu ^{82}Se . Kombinuje dva typy detekčních technik: kalorimetrii a rekonstrukci dráhy (tracking) nabitých částic. Tento jedinečný přístup umožňuje současně jednoznačně identifikovat elektrony, positrony, fotony a α -částice pomocí dráhového detektoru (tracker) a měření energie a času detekovaných částic pomocí segmentovaného kalorimetru. Schopnost identifikovat a rekonstruovat dráhy částic nabízí možnost velmi účinně potlačit již zmíněné radioaktivní pozadí.

SuperNEMO se bude skládat z dvaceti identických modulů, kde každý má sendvičovou strukturu, tj. modul s izotopem ^{82}Se ($\beta\beta$ modul) je obalený dráhovým detektorem a následně kalorimetrem, tvořeným scintilačními detektory.

Experiment SuperNEMO je založen na podstatně vylepšené technologii z NEMO3. Jedním z příkladů je výrazné zlepšení optických vlastností a energetického rozlišení scintilačních detektorů, kterého se dosáhlo optimalizací obsahu příměsí v polystyrenovém základu. Tento výsledek, jehož autory jsou pracovníci ÚTEF, je chráněn dvěma patenty. Při výstavbě prvního modulu (tzv. demonstrátoru), již

nainstalovaného v LSM, byl kladen důraz na plnění velmi přísných požadavků na radiační čistotu všech použitých materiálů. Z tohoto důvodu nejsou očekávány žádné tzv. pozadové události v oblasti zájmu $0\nu\beta\beta$ rozpadu během 2,5 let nabírání dat. Na dokončení demonstrátoru je potřebná ještě instalace stínění, které představuje jakýsi ochranný štít vůči externímu gama záření a neutronům. Potlačení pozadí od všudypřítomného radonu bude ve finále zajištěno speciálním filtračním zařízením na čištění vzduchu.

Demonstrátor nyní obsahuje přibližně 6 kg obohaceného ^{82}Se ve formě tenké fólie, což umožní dosažení citlivosti na poločas přeměny $6,5 \times 10^{24}$ let. Po dokončení celého detektoru složeného z dvaceti modulů by se citlivost na $0\nu\beta\beta$ rozpad měla zvýšit, a tedy zlepšit o dva řády, což by pro hmotnost neutrin znamenalo hodnoty v intervalu 0,04–0,11 eV.

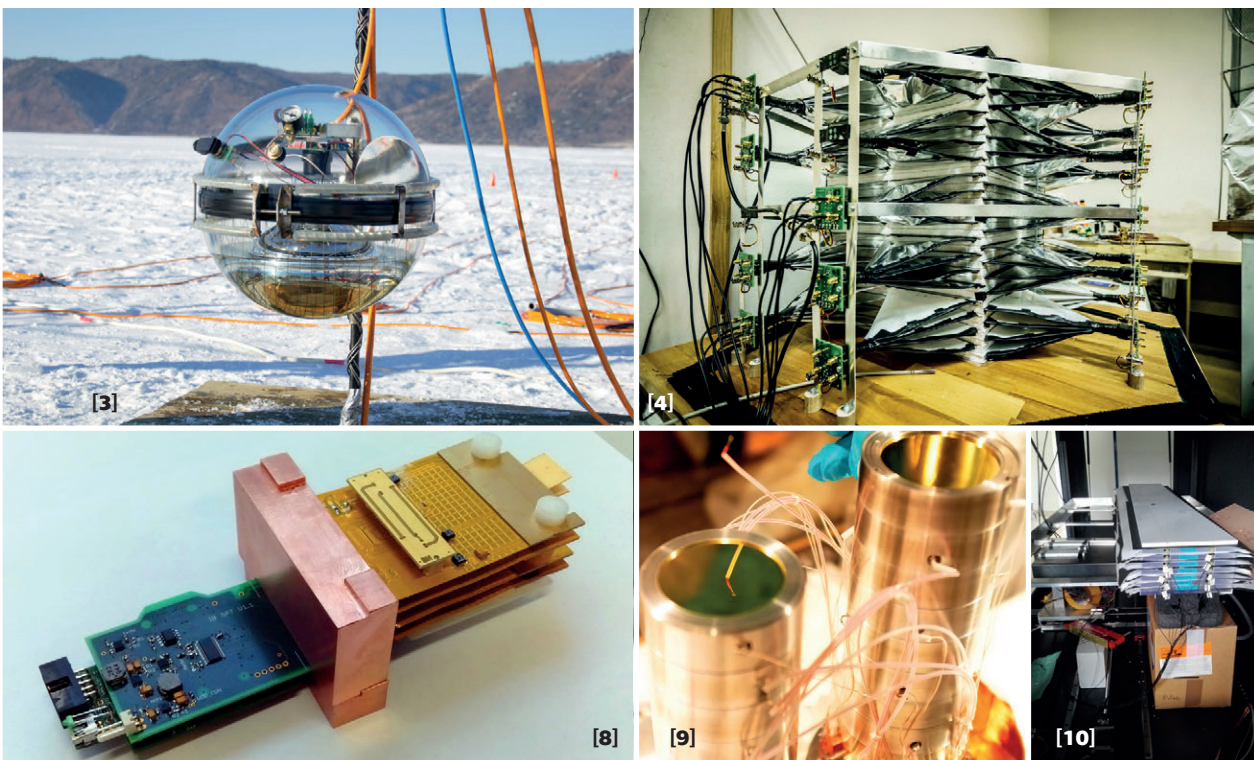
TGV-2 a SPT

Předmětem výzkumu obou experimentů je přímá detekce dalších zajímavých modů dvojného rozpadu beta, a to dvouneutrinového ($2\nu\text{EC}/\text{EC}$) a rezonančně zesíleného bezneutrinového ($0\nu\text{EC}/\text{EC}$) dvojného elektronového zachytu na jádru ^{106}Cd . V první fázi experi-

mentu TGV-1 byl změřen poločas přeměny $2\nu\beta\beta$ rozpadu pro ^{48}Ca . TGV kolaborace (ÚTEF ČVUT; SÚJV Dubna, Rusko; CSNSM Orsay; Francie a Univerzita Komenského v Bratislavě) se věnuje dané problematice již od roku 1992. Relativně mladý projekt SPT vznikl ve spolupráci s SÚJV Dubna v roce 2014. Oba tyto experimenty, postavené na úplně rozdílné technologii, kdy TGV-2 zařízení (Telescope Germanium Vertical) se skládá z 32 HPGe detektorů a SPT (Silicon Pixel Telescope) z křemíkových pixelových detektorů typu Timepix, hledají nepřetržitě vzácné signály způsobené dvěma současně vytvořenými nízkoenergetickými fotony.

Experiment S³

Myšlenkou detekce reaktorových antineutrin se pracovníci ÚTEF začali zabývat na základě spolupráce s kolegy z SÚJV Dubna a expertízy získané z ruského experimentu DANSS. Jaderné reaktory se řadí mezi nejintenzivnější lidsky ovládané a lehce dostupné zdroje antineutrin. Z toho důvodu je jejich detekce zajímavá jednak z pohledu základního výzkumu (studium oscilací neutrin, případně možnost detekce tzv. sterilního neutrina), ale i z pohledu průmyslových aplikací (monitorování výkonu reaktoru, sta-



[1] [2] Podzemní laboratoř LSM: vstupní hala a místnost s HPGe detektory
[3] Detail optického modulu detektoru Bajkal-GVD
[4] Detektor S³
[5] [6] [7] SuperNEMO: vnitřek dráhového detektoru, zadní stěna kalorimetru a scintilační detektory
[8] SPT detektor
[9] Zařízení TGV-2
[10] Aparatura na testování scintilátorů pro ICARUS

novení stupně vyhoření jaderného paliva nebo kontrola nelegální manipulace s plutoniem, které je nezbytnou součástí jaderných zbraní).

Detektor S³ je s rozměry 40 × 40 × 40 cm³ jednoduché kompaktní zařízení, tvořené 80 polystyrenovými scintilačními deskami, které lze jednoduše umístit v těsné blízkosti aktivní zóny jaderného reaktoru. Reaktorová antineutrína jsou detekována standardně pomocí procesu inverzního rozpadu beta, kde antineutrína vylétávající z reaktoru interagují s protony v scintilátoru za vzniku pozitronu a neutronu. Energie antineutrína je v reakci primárně přenesena na pozitron, který ji zanechá v scintilátoru, a nakonec zanikne anihilací s elektronem za vzniku záblesku světla o energii 1,022 MeV. Naopak volné neutrony chvilku putují scintilátorem, přičemž ztrácejí energii, a po jistém čase jsou zachyceny v speciální obalové vrstvě na jádrech gadolinia, kdy jsou produkovány zpožděné záblesky s celkovou energií až 8 MeV. Takovýto projev interakce v detektoru umožňuje jednoduše rozlišit hledané signály od nežádoucího pozadí. V současnosti na již zkonstruovaném detektoru probíhají různé testy s cílem detailního pochopení jeho fungování. Během příštího roku je plánováno

umístění detektoru S³ v české jaderné elektrárně Temelín.

Neutrinový teleskop Bajkal-GVD

Mezinárodní projekt Bajkal-GVD (Gigaton Volume Detector), do kterého je zapojen i ÚTEF, představuje aktuálně budovaný neutrinový teleskop nové generace, jehož cílem je detekce vysokoenergetických kosmických neutrin pomocí velkého objemu vody ruského Bajkalu, nehlubšího a největšího sladkovodního jezera na světě (detailní popis tohoto projektu byl prezentován v TecniCallu 1/2018, www.tecnicall.cz).

ICARUS

Největší znovuzrozený neutrinový detektor s tekutým argonem na světě, detektor ICARUS (Imaging Cosmic And Rare Underground Signals), bude studovat precizněji oscilace neutrin a také hledat známky nového, tzv. sterilního neutrina. Původní detektor pracující v letech 2010 až 2013 v podzemní laboratoři Gran Sasso (LNGS) v Itálii, zkoumal vlastnosti neutrin z neutrinového svazku produkovaného na urychlovači ve švýcarském CERN. Po ukončení provozu byl detektor ICARUS pod záštitou tzv. Neutrinové platformy (jejíž součástí je i ÚTEF ČVUT) převezen do CERN, kde pro-

běhla jeho modernizace. Následně byl vloni přepraven do amerického FERMILAB, kde bude pracovat v rámci programu na studium oscilací neutrin na krátké vzdálenosti.

Neoddělitelnou součástí experimentu ICARUS je aktivní stínění kosmického záření tvořené tzv. veto detektorem. V tomto případě je veto detektor sestaven z polystyrenových scintilátorů, které budou pokrývat většinu experimentu ICARUS. Na základě výsledků výzkumu v ÚTEF ČVUT, zahrnujícího výběr a chemické složení materiálu scintilátorů, rozměry scintilátorů, počet a umístění vláken pro sběr světla, reflexní materiály, použití klasických fotonásobičů nebo křemíkových fotodiod, se podařilo české firmě Nuvia a.s. získat zakázku na dodávku tisíce kusů scintilačních detektorů. Pracovníci ÚTEF také provádějí podrobné testy vyrobených scintilátorů ve společné specializované laboratoři v prostorách samotné firmy. Dokončení výroby a testování scintilátorů pro veto detektor je plánováno do konce roku 2018. Pracovníci ÚTEF se budou také podílet na konstrukci finálního veta detektoru (125 modulů, každý obsahuje 16 scintilátorů) pro experiment ICARUS.

autor: Rastislav Hodák
foto: archiv autora



Bez teorie by výzkum a vývoj zůstal slepým

Aby fyzikální výzkum a vývoj měl smysluplnou orientaci, musí stát na hlubokém teoretickém pochopení fyzikálních zákonitostí. Proto se v Ústavu technické a experimentální fyziky nachází i oddělení teoretické fyziky. Jeho pracovníci se zabývají zejména teorií elementárních částic a jejich interakcí, tedy oblastí, jejíž znalost je klíčová nejen pro fyziku mikrosvěta, ale i pro fyziku makroskopických objektů, od hvězd přes galaxie až po samotný vesmír jako celek.

Dnešní stav porozumění zákonitostem mikrosvěta je výsledkem bouřlivého a velmi úspěšného vývoje minulého století. Dnes nám není znám jev pozorovaný na částicových urychlovačích, který by prokazatelně odporoval předpovědím současného teoretického modelu elementárních částic, vybudovaného na principech kvantové fyziky. Nicméně tento model se jeví nedostatečným při konfrontaci s některými pozorováními především astronomických a kosmologických jevů.

Neutrína nejsou nehmotná

Ze Slunce na nás kromě fotonů dopadá i mohutný tok neutrin, elektricky neutrálních sourozenců elektronů a ostatních nabitých leptonů. Složení slunečního neutrinového toku však neodpovídá představám minulého století o tom, že neutrína

nemají hmotnost, podobně jako foton. Dnes uznávaným vysvětlením je, že neutrína nejsou nehmotná, ale že mají hmotnost, stejně jako ji má například elektron. Složení neutrinového toku měřené na Zemi je pak výsledkem oscilace mezi jednotlivými druhy neutrin během jejich cesty z nitra Slunce. Toto zjištění z přelomu tisíciletí mimo jiné potvrdilo naši předchozí znalost existence tří druhů neutrin. Navíc však přineslo spoustu nových otázek: Jaká je povaha hmotnosti neutrin? Liší se od hmotnosti ostatních nabitých částic? Je spojená s nějakou novou symetrií světa? Nebo naopak narušuje nějaký zákon zachování? Tyto otázky jsou možná těmi nejjednoduššími, které dnes vedou teoretické fyziky po celém světě, včetně teoretiků ÚTEF, ke snaze rozšířit tzv. Standardní model elementárních částic.

Právě skutečnost, že neutrina jsou elektricky neutrální a zároveň mají nenulovou hmotnost, otevírá možnost, že se v částicových a jaderných procesech, jichž se neutrina účastní, nezachovává rozdíl počtu leptonů a antileptonů. Pokud je toto nezachování vlastností našeho světa, pak budeme již brzy svědky nového nobelovského objevu bezneutrinového dvojitého jaderného beta rozpadu. Nejsložitějším aspektem teoretického popisu tohoto unikátního jevu je výpočet pravděpodobnosti přechodu příslušného jádra ze svého počátečního do koncového stavu. Právě tím včetně dalších aspektů bezneutrinového dvojitého beta rozpadu se v našem ústavu zabývá skupina teoretiků ve složení Andrej Babič, Jun Terasaki a Adam Smetana pod vedením světově významného slovenského vědce profesora Fedora Šimkoviče ve spolupráci s vědci například z Ruska, Německa a Jižní Ameriky.

Narušení zachování leptonového počtu by umožnilo procesy, během kterých by vznikala nadbytek leptonů oproti antileptonům. Jeho objev by nás tak přiblížil k vysvětlení toho, proč je veškerá hmota dnešního pozorovatelného vesmíru tvořena výhradně částicemi bez účasti antičástic navzdory tomu, že výchozí stav vesmíru byl dle všech našich předpokladů částicově-antičásticově symetrický.

Hned po svém objevu se hmotná neutrina stala žhavým kandidátem pro objasnění další vesmírné záhady. V drtivé většině pozorovaných galaxií obíhají hvězdy galaktický střed způsobem a rychlostmi jinými, než které bychom očekávali z pozorovaného tvaru galaxie. To má jednoduché vysvětlení tím, že skutečné rozložení hmoty v galaxii má jiný tvar, který je tvořen nejen viditelnou hmotou, ale i tou pro nás neviditelnou, takzvanou temnou hmotou. Brzy se však ukázalo, že neutrino jsou schopna sehrát roli jen malého zlomku této temné hmoty. Proto mnoho směrů rozšiřujících Standardní model elementárních částic přichází s dalšími zcela novými částicemi, kandidáty na vysvětlení celé porce temné hmoty tvořící náš vesmír.

Posouváme hranice nové fyziky

Pracovníci teoretického oddělení ÚTEF se podílejí na snaze o nalezení toho správného rozšíření Standardního modelu elementárních částic, které se realizuje v našem světě. Od teoretiků to vyžaduje hlubokou a širokou znalost dosavadních pokusů o rozšíření, ale také rafinovanou invenci vedenou vůdčím principem a často i elegancí. Zpravidla jde o přidání nějaké nové částice, nové interakce či nové symetrie. Je to však nelehký úkol hned ze tří důvodů. Zaprvé je potřeba dát pozor, aby přidáním nového prvku nebyly ohroženy rozsáhlé úspěchy současného Standardního modelu. Zadruhé musí takové rozšíření vysvětlovat zmíněné pozorované záhady. A nakonec musí nový model nabízet pozorovatelné předpovědi, díky kterým je možné jej testovat a případně i vyvrátit.

Tým teoretických fyziků ÚTEF nabízí hned několik zajímavých nových přístupů. Yuta Orikasa ve spolupráci s japonskými a korejskými vědci rozvíjí scénář, který je postaven na nové symetrii zvané škálová invariance a na existenci nového hmotného fotonu. Adam Smetana ve spolupráci s chilskými vědci předpokládá párování neutrin jako příčinu narušení zachování leptonového počtu.

Jaká je povaha hmotnosti neutrin? Liší se od hmotnosti ostatních nabitých částic? Je spojená s nějakou novou symetrií světa? Nebo naopak narušuje nějaký zákon zachování? Tyto otázky jsou možná těmi nejzásadnějšími, které dnes vedou teoretické fyziky po celém světě, včetně teoretiků ÚTEF, ke snaze rozšířit Standardní model elementárních částic.

Při hledání nových možností jsou zaběhnuté teoretické nástroje a principy často podrobeny důkladnému přezkoumání. Výsledkem bylo například to, že hodnoty některých parametrů Standardního modelu se jeví být nepřírodními. K tomu existuje celá řada řešení. Jedním z nich je například to, že Higgsův boson, klíčový stavební kámen Standardního modelu, je nahlížen jako částice s vnitřní strukturou, složená z jiných, nových či již známých částic. Takovými novými modely a jejich základními principy se již dlouhodobě zabývají Petr Beneš a Adam Smetana. Předpovědi tohoto přístupu pozorovatelné na urychlovačích částic studují jejich kolegové Josef Juráň a Mikuláš Gintner. Jiným řešením nepřírozenosti některých parametrů je předpoklad existence dodatečných prostorových rozměrů. Důsledky toho, že fyzikální časoprostor má více rozměrů než ty, na které jsme zvyklí, se zabývá Filip Blaschke ve spolupráci s bývalým pracovníkem ústavu profesorem Masato Araiem z Japonska.

Jindy je výsledkem přezkoumávání a snažení se o hlubší porozumění velké překvapení. Ukázalo se, že kvantová teorie elementárních částic v sobě obsahuje existenci takzvaného magnetického monopolu, aniž by si přítomnost takového objektu kdokoli objednal. Předpověď magnetického monopolu je natolik přesvědčivá, že se o jeho detekci snaží na světě hned několik experimentálních týmů. Při hledání nového objektu je dobré vědět alespoň rámcově, jaké jsou jeho předpokládané vlastnosti, například jaká by mohla být jeho hmotnost. A právě k tomu nedávno přispěla dvojice vědců z ÚTEF, Filip Blaschke a Petr Beneš, když odvodili, že magnetický monopol nemůže být lehčí než 2,37 TeV a že tedy nemá smysl hledat jej na urychlovačích nedisponujících dostatečnou energií na jeho produkci.

autor: Adam Smetana
ilustrační foto: Jiří Ryszawo

Invence v praxi | Spolupráce s průmyslem

Základní a aplikovaný výzkum je vedle prvotního poslání univerzity, jímž je vzdělávání studentů, dalším důležitým úkolem této instituce. Přináší konkrétní a efektivní výstupy, které pak ústav přenáší do průmyslové praxe. Jedná se o prototypová zařízení určená k designerskému ztvárnění a komerční výrobě při využívání příslušné licence. V současné době má ústav podepsány licenční smlouvy se šesti partnery, tržby z nich generované činí dlouhodobě 1–2 miliony korun.

Jablotron, a.s.

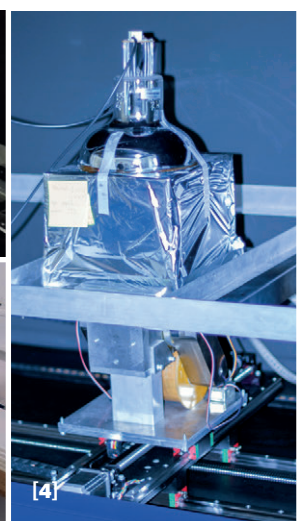
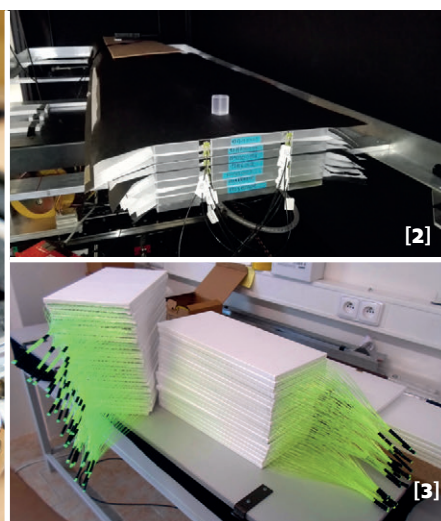
Spolupráce ÚTEF a Jablotronu vznikla z iniciativy tohoto průmyslového partnera a především jeho generálního ředitele Ing. Dalibora Dědka. Je důkazem toho, že pokud je výrobce zdravě agresivní, hledá rozšíření výroby v příbuzných oborech své výroby a pečlivě sleduje technické novinky, může dojít k úspěšné komerční realizaci výstupu z univerzitního výzkumu. Jablotron se seznámil s publikovanými výsledky vývoje hybridního pixelového detektoru a projevil zájem o výrobu tohoto zařízení především pro školy. Získal licenci ÚTEF, příslušné know-how a pustil se do výroby prototypu splňujícího požadavky hromadné výroby a průmyslového designu. Ukázalo se, že cesta byla delší, než se původně očekávalo, ale nakonec se za účinné pomoci ústavu v oblasti hardware, software i kalibrace vše podařilo. Firma získala za částicovou kameru MX-10 ocenění na výstavě v JAR a dnes ji prodává jako edukit zákazníkům po celém světě. Náš ústav

vydal i skripta úloh pro školní měření s touto kamerou a pořádá školení pro učitele fyziky. Tak se dostalo špičkové zařízení i mezi studenty a zájemce o částicovou fyziku. Mezi nejvýznamnější zákazníky Jablotronu patří školy ve Velké Británii, které se účastní pod vedením zkušených pedagogů kosmického výzkumu.

ADVACAM, s.r.o.

Jinou historii má spolupráce s firmou Advacam, s.r.o. Ústav vychoval, a trvale vychovává, mladé vědecké pracovníky a vědce z řad studentů a doktorandů. Od svého založení v roce 2002 zde působila skupina mladých nadšenců, absolventů ČVUT, kterou výzkum a vývoj nové detekční technologie a příslušných metod doslova fascinoval. Byla to především spolupráce s Dr. Stanislavem Pospíšilem v ÚTEF, kontakty s vědci v kolaboraci Medipix v CERN a s univerzitami v Evropě i ve světě. Mladí lidé měli možnost se realizovat v oblasti nových poznatků o detekci ionizujícího záření, které

doslova posouvaly celý vědecký vývoj tohoto univerzitního pracoviště. Skupina úspěšně uplatňovala nabyté vědomosti a urychlovala vývoj v oblasti detektorů tak, že i kolaborace Medipix v CERN uznala, že ÚTEF/ČVUT je důležitým centrem výzkumu v oblasti pixelových detektorů. V roce 2013 se někteří členové této úspěšné skupiny rozhodli odejít a založit svoji vlastní firmu. Začali vyrábět a zdokonalovat to, co sami pomáhali v ÚTEF vyvinout. Jednalo se o hybridní pixelový detektor Medipix/Timepix, vyčítací rozhraní FITPix a software Pixelman. Tak vznikla spin-off firma Widepix s.r.o., později přejmenovaná na Advacam, s.r.o. Mezi ÚTEF a firmou byla podepsána příslušná licenční smlouva a firma se vydala vlastní cestou. Dnes, po pěti letech, dosahuje tato firma obrát cca 50 mil. Kč a zaměstnává 22 lidí. Je to jeden z příkladů, jak výsledky výzkumu mohou dosáhnout také průmyslového využití a být komerčně úspěšné. ÚTEF s firmou Advacam, s.r.o. nadále spolupracuje v rámci evropského projektu ESA



a při využití některých společných patentů a průmyslových vzorů.

CRYTUR, spol.s r.o.

Projekty Technologické agentury ČR jsou rovněž motivovány snahou propojit univerzitní výzkum a průmyslového partnera, pozdějšího výrobce prototypů vzniklých z tohoto výzkumu. Jedním z takových případů je i naše spolupráce s firmou CRYTUR, s.r.o. K výsledkům společného projektu patří i vznik zařízení, jako jsou bezšumová gamma kamera, bezšumová neutronová kamera a bezšumová rentgenová kamera. Dále byl též vyvinut způsob koincidenčního zobrazování sekundárními elektrony a patentovaný detektor pro více složek záření. Na všechna tato zařízení byla uzavřena licenční smlouva a CRYTUR pracuje na průmyslovém komerčním využití a prodeji výrobků.

ATEKO, a.s.

Spolupráce mezi ÚTEF ČVUT a firmou ATEKO může posloužit jako příklad, kdy se z původní zakázky vyvinula dlouhodobá, vzájemně výhodná kooperace. Na začátku byla snaha najít výrobce pro zařízení odstraňující radon ze vzduchu pro potřeby experimentů v podzemní laboratoři Modane (LSM). Kompetentního výrobce jsme našli právě ve firmě ATEKO Hradec Králové. Zařízení bylo nainstalováno v LSM v roce 2002. Jeho komerční využitelnost nebyla v té době zřejmá. Jakmile se ale potvrdily vlastnosti (pod 10 mBq/m³) a výsledky byly prezento-

vány vědecké komunitě, začala se i další pracoviště obracet na ATEKO s objednávkami a zařízení se dostalo do komerční nabídky této firmy. Bylo již dodáno například do Itálie, USA a Číny. Naše spolupráce pokračuje na bázi společných grantových projektů (TAČR). V roce 2015 byla uzavřena smlouva o využití výsledků a licenční poplatky, které ústav získává, jsou zdrojem financování aktivit při dalším vývoji zařízení.

NUVIA, a.s.

V tomto případě se jedná o kooperaci v oblasti vývoje detektorů či detekčních aparatur. Nadnárodní společnost NUVIA, a.s. (dříve Envinet, a.s.) má v České republice v této oblasti důležité postavení. Spolupráce probíhá v rámci projektů TAČR (např. Centrum kompetence), což významně napomáhá přímé kooperaci mezi výzkumnými institucemi a firmami. Jedním z výsledků společného úsilí bylo vylepšení vlastností scintilačních detektorů (společný patent), což významně posílilo konkurenceschopnost firmy v mezinárodní soutěži na dodávky detektorů pro CERN. Vzniklo také společné pracoviště ve firmě NUVIA, které je využíváno k testování detektorů. Jedním z aspektů spolupráce je pochopení předností obou partnerů. Na straně ústavu je to invence a čas na výzkum i ve zcela nových oblastech (na toto má firma omezené možnosti), na druhé straně je to profesionální dotažení výrobků pro zákazníky (což je ve vědeckých institucích často podceňováno).

Spolupráce s námi získává firmě i nové kontakty v zahraničí a je zvána do mezinárodních aplikačních projektů.

X-ray International Europe

Na německé univerzitě ve Freiburgu byla založena spin-off firma XIE, která se specializuje na výrobu CdTe pixelových detektorů. Tento typ má oproti křemíkovým přístrojům výhodu v tom, že senzor má vyšší hustotu a ohmický odpor. Tyto detektory využívají také kombinované kamery CANBERRA pro identifikaci ionizujícího záření v jaderných provozech, ve skladech při likvidaci odpadu a haváriích, které jim dodává právě XIE. V roce 2018 jsme proto s touto firmou podepsali licenční dohodu na dodávky hardware a software pro tyto typy CdTe detektorů a úspěšně spolupracujeme na vývoji menších a kompaktnějších typů kamer.

Oboustranný prospěch

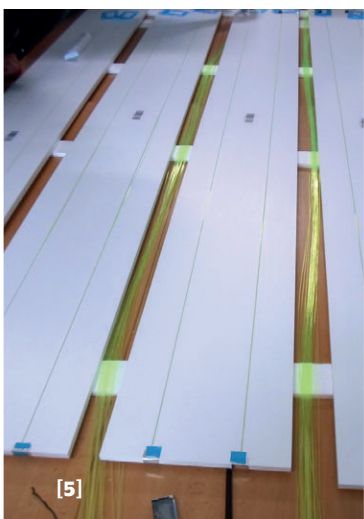
Všechny uvedené spolupráce s průmyslovými partnery dokazují, že cesta, kterou si Ústav technické a experimentální fyziky ČVUT v aplikovaném výzkumu vytýčil, je správná a přináší prospěch nejen těmto partnerům, ale i univerzitnímu pracovišti ve formě licenčních poplatků a zpětné vazby, která se promítá do dalšího vývoje.

autoři: Čestmír Kuča,
Ivan Štekl
foto: archiv autorů



Detektor RasPIX – nejnovější model detektoru záření na bázi čipu TimePIX.

- [1] Sada MX-10 Edukit
- [2] Kontrolní měření kvality scintilátorů vyrobených pro CERN
- [3] Scintilační desky určené pro experiment S³
- [4] Zařízení pro testování scintilačních bloků pro SuperNEMO
- [5] Příprava scintilátorů na testování pro CERN
- [6] Detail scintilačního bloku s fotonásobičem pro SuperNEMO kalorimetr
- [7] Světlotěsný box s laditelným zdrojem elektronů ve společných prostorách ÚTEF a NUVIA, a.s.



Podpora talentů

Nejen výzkum, ale i přednášky, spolupráce se středními školami, pořádání konferencí a další mezinárodní aktivity patří do života Ústavu technické a experimentální fyziky ČVUT. Představujeme alespoň některé z nich.

Učí se i učitelé...

Dlouhodobou snahou ÚTEF je podporovat fyzikální talenty na středních školách. Skripta Experimenty s pixelovým detektorem pro výuku jaderné a částicové fyziky vytvořená v ÚTEF využíváme ke každoročním seminářům „Progresivní detekční metody ve výuce subatomové a částicové fyziky na ZŠ a SŠ“. Vzdělávací program byl akreditován MŠMT v rámci systému Dalšího vzdělávání pedagogických pracovníků. Semináře pořádáme jednou ročně jako dvoudenní (pátek odpoledne a sobota) a účastní se jich především učitelé středních škol z ČR, ale také učitelé či doktorandi z pražských i mimopražských vysokých škol a částečně i ze základních škol. Po úvodní přednášce se učitelé při praktických měřeních seznamují s detektorem MX-10 a po dvanácti hodinách semináře již dokáží měřit samostatně. Absolventům, kteří si nemohou detektor zakoupit, umožňujeme jeho zapůjčení z vlastnictví ÚTEF. Tohoto vzdělávacího programu se již zúčastnilo několik desítek účastníků. Provádíme též přednášky s ukázkami reálných měření a workshopy s MX-10 na různých konferencích a setkáních učitelů fyziky a zájemců o detekci záření v ČR i v zahraničí (Surrey, Wrocław, Barcelona, Dubna).

Detektor MX-10 s návodem ve skriptech

Pixelový detektor MX-10 patří mezi detektory typu Medipix vyvinuté v nedávné době mezinárodní kolaborací výzkumných týmů zastřešenou Evropským centrem pro jaderný výzkum CERN. ÚTEF ČVUT je od samého začátku členem tohoto sdružení. Ve spolupráci s Jablotron Alarms a. s. byl vyvinut detektor MX-10 a příslušný software jako unikátní pomůcka pro výuku jaderné a částicové fyziky na střed-

ních a vysokých školách nejen v ČR, ale s mezinárodní působností. Na podporu detektoru byla současně vyvinuta sada MX-10 EDUKIT, která obsahuje zdroje ionizujícího záření, měřící lavici a další doplňky. Významnou podporou prodeje a užívání této výukové sady jsou v ÚTEF vytvořená skripta obsahující návody k obsluze tohoto detektoru s vysvětlením principu činnosti a návody k 50 experimentům s ionizujícím zářením, včetně výsledků, grafů a obrazové dokumentace. Všechny úkoly byly ověřeny autorem při praktické výuce studentů středních škol. V Nakladatelství ČVUT vyšla pro potřeby českých škol skripta pod názvem Experimenty s pixelovým detektorem pro výuku jaderné a částicové fyziky a pro zahraniční školy byla vydána anglická verze Experiments Using Pixel Detector in Teaching Nuclear and Particle Physics (anglická verze je dostupná nejen v prodejně Nakladatelství ČVUT, ale též na Amazonu). Verze ve formátu pdf je připravena k prodeji na univerzitním e-shopu. Skripta jsou primárně určena učitelům středních, vysokých a případně základních škol.

Pro společnost Jablotron představuje sada MX-10 EDUKIT úspěšný výrobek, který distribuuje do celého světa. Oba tvůrci, Jablotron a ÚTEF, obdrželi na veletrhu v Dubaji cenu „GESS Education Awards“. Jablotron je mimo jiné znám jako sponzor výchovy nadaných studentů přírodovědných oborů. Proto 19 výukových sad věnoval do projektu Elixír do škol na podporu fyzikálního vzdělávání na středních a základních školách.

Vydáním skript se završil komplexní program dlouhodobé aktivity – vývoj R&D pixelových detektorů, přenos hi-tech do výukové sféry ve spolupráci se společností Jablotron, praktická příprava peda-

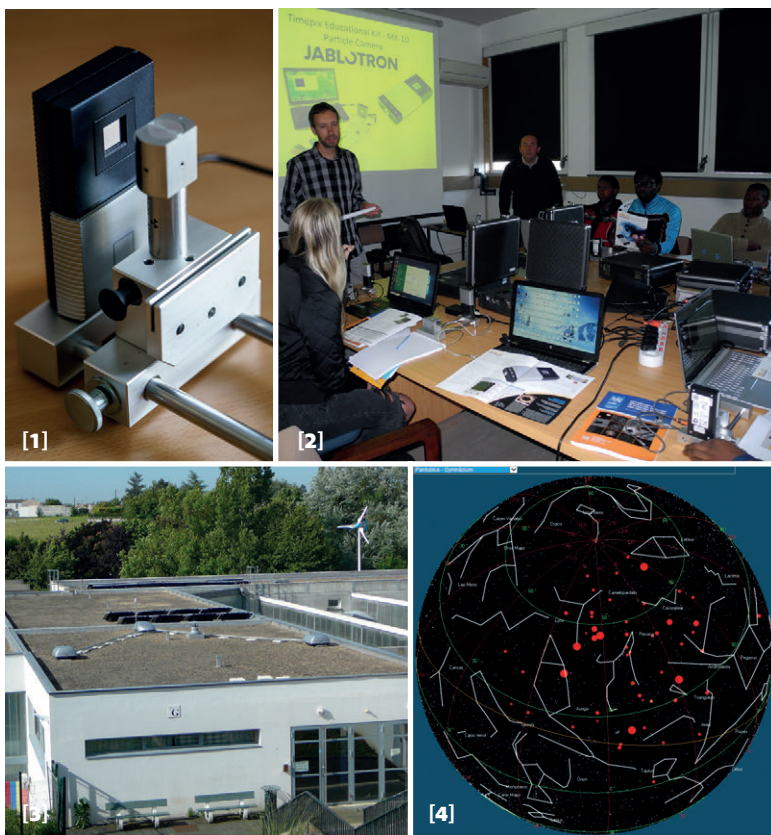
gogů a studentů v ČR i zahraničí do technických oborů, podpora exportu. Společenská relevance tkví jak v exportní možnosti, která se takto otevírá pro českou firmu, tak v přesahu do výukové a vzdělávací sféry.

Měření v Kapském Městě

Mezinárodní škola IEEE NPSS International School for Real Time Systems in Particle Physics 2018, pořádaná jednou za dva roky organizací IEEE Nuclear and Plasma Science Society, se letos konala v Jihoafrické republice v laboratoři iThemba LABS v Kapském Městě. Byla určena pro 60 afrických studentů a absolventů vysokých škol se zaměřením na fyziku či techniku. Jejím záměrem bylo poskytnout studentům praktické zkušenosti s detekcí energetických částic. V průběhu deseti dnů absolvovali přednášky a laboratorní cvičení vedená mezinárodním týmem lektorů s bohatými zkušenostmi v oblasti radiačních měření. Dva z lektorů (Vladimír Vícha a Michael Holík) byli z ÚTEF ČVUT a seznamovali studenty v přednášce a cvičeních s měřeními s pixelovým detektorem MX-10, jenž byl vyvinut ve spolupráci Jablotron Alarms a. s. s ÚTEF a je určen pro výukové účely. Do Jihoafrické republiky jsme dopravili šest sad MX-10 EDUKIT včetně amerických zářičů, které s podporou skript Experiments Using Pixel Detector in Teaching Nuclear and Particle Physics umožnily realizovat 12 hodin praktických cvičení afrických studentů. Ti si mohli vyzkoušet vizualizaci různých typů radioaktivity přírodních i umělých zdrojů ionizujícího záření, měření energií a dalších vlastností záření. Měřeními mionů z kosmického záření a dceřiných produktů radonu mohli porovnat radiační pozadí v okolí Kapského Města s radiačním pozadím v České republice. Během letní školy pracovali studenti s několika typy detektorů, mezi nimiž pixelové detektory vzbudily velký zájem, což dokládá fakt, že čtyři týmy si pro svoji závěrečnou práci zvolily právě prezentaci měření s MX-10.

Pro Fyzikální olympiádu

V roce 1869 publikoval Dmitrij Ivanovič Mendělejev periodické



zákonitosti v chemických vlastnostech prvků podle jejich protonového čísla. Tabulce, která tyto zákonitosti zobrazuje, se tak od té doby říká Mendělejevova periodická tabulka prvků. Na počátku obsahovala 62 prvků a postupně byla doplňována dalšími prvky. Prvky, které dnes nazýváme supertěžké, jsou připravovány na urychlovačích jen v několika světových laboratořích. Významné postavení mezi nimi má SÚJV Dubna, se kterým ÚTEF úzce spolupracuje. V roce 2016 byla prokázána existence 118 prvků a stoosmnáctým prvkem oganessonem se uzavřela sedmá perioda Mendělejevovy tabulky.

Právě při příležitosti 150. výročí Mendělejevovy tabulky vznikl studijní text autorů Vladimíra Wagnera (ÚJF AV ČR), Vladimíra Víchy (ÚTEF) a Zdeňka Janouta (ÚTEF) s názvem Hranice Mendělejevovy tabulky aneb jak produkovat a zkoumat stále těžší prvky, jenž je určen pro Fyzikální olympiádu pro nejvyšší kategorii A. Studenti se v textu seznámí s přípravou supertěžkých prvků, ale také s řadou fyzikálních oborů, které se k problematice vztahují. Vedle teorie a obrázků je zde 24 řešených příkladů a 8 neřešených úloh s uvedením výsledků.

Pro potřebu nastávajícího ročníku Fyzikální olympiády byly připraveny tři teoretické soutěžní úlohy a jedna praktická. Vznikl text zabý-

vající se problematikou, která zatím nevstoupila ani do fyzikálních ani do chemických učebnic. Než se tak stane, bude text jistě užitečný nejen pro Fyzikální olympiádu, ale i pro výuku na středních a vysokých školách.

Tajemství mikrosvěta

Na výzkum v částicové a jaderné fyzice se zaměřují i pedagogické aktivity ústavu v rámci Univerzity 3. věku. Pracovníci ÚTEF již řadu let pořádají pro zájemce z řad seniorů dva celosemestrální cykly přednášek nazvané Tajemství mikrosvěta a Zákon mikrosvěta. Na přednáškách prvního kurzu je podán stručný historický přehled objevů v oblasti mikrosvěta (objev atomu, radioaktivita, atomového jádra atd.). Dále jsou populární formou vysvětleny principy a nejnovější poznatky z jaderné a částicové fyziky a jejich aplikace. Navazující přednášky ve druhém semestru si kladou za cíl populární formou vysvětlit zákonitosti, kterými se řídí mikrosvět, konkrétně dvou stěžejních fyzikálních teorií objevených ve 20. století – kvantové mechaniky a teorie relativity. Oba kurzy jsou hojně navštěvované, za posledních 10 let počet účastníků postupně vzrostl z 15 na cca 60.

Středoškolské práce

Středoškolská odborná činnost (SOČ), podporovaná MŠMT, je pres-

tižní víceoborová soutěž určená pro středoškolské studenty. Ti samostatně či pod vedením mentorů studují určité téma a své výsledky zpracovávají písemně jako soutěžní práci, kterou obhajují před odbornou komisí v jednom z 18 oborů, od matematiky až po filozofii. Nejlepší mohou postoupit přes okresní a krajská kola až do celostátního finále.

ÚTEF podporuje SOČ dvěma formami. Několik jeho zaměstnanců dlouhodobě pracuje v odborných krajských komisích a také v celostátní komisi v oboru 02 fyzika. Druhou formou podpory je vedení prací SOČ v oboru fyzika a informatika. Takto vznikly úspěšné studentské práce s názvy: Detekce vysokoenergetického kosmického záření CZELTA, Hromadné zpracování dat o kosmickém záření, Gama záblesky, Software pro zpracování a analýzu dat, Detekce sekundárního kosmického záření v závislosti na meteorologických podmínkách, Radiační pozadí měřené pixelovým detektorem v atmosféře a nad atmosférou, Vliv magnetického pole Země na nabitě částice pohybující se v jeho dosahu. Mezi uvedenými jsou i vítězné práce celostátního kola, tři práce obdržely cenu Nadačního fondu Jaroslava Heyrovského, některé reprezentovaly ČR na mezinárodních přehlídkách v Belgii, USA či Rusku.

CZELTA – detekce kosmického záření

Při experimentech v balonu Böhmen objevil v roce 1912 rakouský fyzik Victor Hess kosmické záření. Dnes víme, že jde o tok vysokoenergetických částic (převážně protonů) přicházejících nejen od Slunce, ale z celé galaxie. Po interakci těchto primárních částic s atomy plynů obsažených v atmosféře vznikají spršky sekundárního kosmického záření složené z velkého množství nabitých částic a fotonů. Tyto spršky jsou pro účely výzkumu detekovány stanicemi CZELTA.

Projekt CZELTA (CZEch Large-area Time coincidence Array) začal v ČR realizovat ÚTEF v roce 2005 ve spolupráci s University of Alberta. Stanice na střeše budovy se skládá ze tří scintilačních detektorů s fotonásobiči rozmístěných do vrcho-

[1] Detektor MX-10 se školním zdrojem záření alfa umístěným v posuvné lavici

[2] Mezinárodní škola pořádaná jednou za dva roky organizací IEEE Nuclear and Plasma Science Society se v letošním roce konala v Jihoafrické republice v laboratoři iThemba LABS v Kapském Městě.

[3] Stanice kosmického záření CZELTA umístěná na střeše střední školy Lycée Émile Combes ve francouzském městěčku Pons. Ve třech plastových boxech jsou skryty scintilační detektory registrující průchod nabitých částic ve spršce kosmického záření.

[4] Vizualizace spršek zaregistrovaných 4. 2. 2015 za jednu hodinu stanicí CZELTA na Gymnáziu Dašická v Pardubicích. Zenit se nacházel poblíže souhvězdí Perseus. Větší stopy odpovídají větší absorbované energii.

Zdroj: ÚTEF

Dlouhodobou snahou ÚTEF je podporovat fyzikální talenty na středních školách. Skripta Experimenty s pixelovým detektorem pro výuku jaderné a částicové fyziky vytvořená v ÚTEF využíváme ke každoročním seminářům „Progresivní detekční metody ve výuce subatomové a částicové fyziky na ZŠ a SŠ“. Vzdělávací program byl akreditován MŠMT.

lů rovnostranného trojúhelníku o straně 10 m. Datové kabely přivádějí signál do řídicí elektroniky, která vyhodnocuje koincidenci všech tří detektorů a vyhovující spršky ukládá do běžného PC. Geometrie rozložení detektorů zajišťuje, že budou vybrány jen spršky s energií primární částice větší, než přibližně 10^{14} eV. Binární data ze všech stanic jsou prostřednictvím internetové sítě ukládána do společného úložiště v ÚTEF.

Stanice byly umístěny na vybrané střední a vysoké školy, aby se studenti mohli seznámit s měřením a zpracováním dat a byli motivováni pro studium techniky a přírodních věd. K problematice proběhlo několik společných seminářů a vznikly práce studentů, s nimiž se úspěšně účastnili středoškolských soutěží. Na úrovni vysokých škol byly vypracovány bakalářské a diplomové práce. Pedagogickým výsledkem projektu je, že několik studentů po maturitě pokračovalo ve studiu matematiky, fyziky či techniky v Praze a jejich dřívější spolupráce s ÚTEF vyústila v zaměstnanecký poměr.

Stanice CZELTA měřily či ještě měří v Praze, Pardubicích, Opavě, Kladně a Brně. Jsou také umístěny na Slovensku, ve Francii a v Rumunsku. Veřejnosti byl umožněn přístup k vizualizaci spršek aktuálně měřících stanic na mapě oblohy.

Mezinárodní konference MEDEX

Od roku 1997 pořádá ÚTEF spolu s univerzitou v La Plata (Argentina) a s univerzitou v Jyväskylä (Finsko) pravidelně každé dva roky mezinárodní konferenci MEDEX (Matrix Elements for the Double beta decay EXperiments) s účastí kolem 50 špičkových světových vědců v oblasti neutrinové fyziky. Jedním z jejích výstupů je publikace článků v mezinárodním časopise American Institute of Physics (AIP) Conference Proceedings (<http://medex17.utef.cvut.cz>). Hlavní téma konference je věnováno různým metodám výpočtů jaderných maticových elementů v souvislosti se vzácnými jadernými procesy dvojného beta rozpadu. V současnosti již několik experimentů na studium dvojného beta rozpadu proměřuje obohacené izotopy z hmotnostech

blížících se ke 100 kg a zároveň se připravují návrhy projektů s použitím několika tun materiálu. Toto úsilí je směřováno na několik vzácných izotopů a na využití širokého spektra detekčních technik (experimenty KamLAND-ZEN, SNO+, EXO-200/nEXO, CUORE, SuperNEMO, COBRA, LEGEND). Experimenty takového rozsahu kladou obrovské nároky na vývoj metod pro výpočty jaderných maticových elementů a na jejich spolehlivost, a proto další rozvoj teorie těchto vzácných jaderných procesů je rozhodující pro pokračování experimentální činnosti v dané oblasti.

Letní škola neutrinové fyziky

Již 7. ročník mezinárodní letní školy neutrinové fyziky (International Pontecorvo Neutrino Physics School) organizované čtyřmi institucemi (SÚJV Dubna, ÚTEF ČVUT, Univerzita Karlova a Komenského Univerzita v Bratislavě), který se konal v Národní technické knihovně v Praze (20. srpna až 1. září 2017), je pokračováním tradice organizování této akce v Alushte na Krymu v letech 1998, 2003, 2007, 2010 a 2012, a později v Horním Smokovci na Slovensku v roce 2015 (<http://pontecorvosch.jinr.ru>). Škola pojmenovaná po významném teoretickém fyzikovi Brunovi Pontecorvovi pokrývá širokou škálu témat z oblasti neutrinové fyziky a neutrinové kosmologie. Účelem školy je prezentace současného stavu z pohledu experimentální a teoretické neutrinové fyziky. V Praze přednášelo 22 vynikajících lektorů (jeden oceněn Nobelovou cenou v roce 2017) studentům a mladým vědcům o významných neutrinových experimentech a o nevyřešených problémech týkajících se fundamentálních vlastností neutronů a jejich interakcí. Během studentské poster session prezentovalo 33 studentů a mladých vědeckých pracovníků výsledky svého výzkumu a 22 z nich nakonec publikovalo své články ve sborníku školy.

Křemík pro vědu

Dr. Erik H. M. Heijne, významný vědec a zaměstnanec ÚTEF ČVUT, získal v roce 2017 společně s Robertem Klannerem a Gerhardem Lutzem ocenění Evropské fyzikální

společnosti (EPS) „High Energy and Particle Physics Prize“ za práci v oboru vývoje křemíkových stripových detektorů. Při této příležitosti dne 13. října 2017 ÚTEF ČVUT uspořádal seminář Dr. Heijneho s názvem Silicon for Science (Křemík pro vědu) v Ballingově sálu Národní technické knihovny. Dr. Heijne uvedl posluchače do problematiky použití křemíku ve fyzice elementárních částic. Událost upoutala pozornost nejen odborníků a studentů, ale také veřejnosti. Současně vyšel s Dr. Heijnem podnětný rozhovor v časopisu Pražská technika.

Letní praxe studentů v SÚJV Dubna

Od roku 1999 probíhají v SÚJV pravidelné letní praxe studentů českých vysokých škol (např. ČVUT, UK, Masarykova univerzita, Palackého Univerzita, VUT, VŠB-TUO). První aktivitou je organizace krátkodobých letních praxí (vždy 3 týdny během července za účasti 20 až 25 studentů z ČR). Letní praxe se pravidelně účastní 70–80 studentů z členských zemí SÚJV. Cílem krátkodobé letní praxe je dát možnost našim mladým lidem se seznámit s ústavem a hlavními vědeckými směry řešeními v SÚJV. Studenti si vybírají úlohu, kterou prakticky řeší během svého pobytu.

Na tuto aktivitu navázala organizace dlouhodobých letních škol (6–8 týdnů), kdy si adepty na pobyt vybírají přímo vedoucí jednotlivých pracovních skupin v SÚJV. Zájemci potřebují doporučující dopis respektovaných osobností a všechny náklady spojené s jejich pobytem, kdy řeší praktické úkoly (a tudíž již musí mít potřebnou kvalifikaci) jsou hrazeny SÚJV. Každoročně se přihlásí 150–200 zájemců o tuto praxi, z nichž je vybrána padesátka nadaných mladých pracovníků (<http://students.jinr.ru>). České straně se díky těmto praxím daří získávat diplomanty a doktorandy pro dlouhodobé vědecké působení v SÚJV. Je uskutečňován reciproční vědecký pobyt našich studentů v SÚJV a posluchačů SÚJV na českých pracovištích, kterého se v současné době účastní dvacet vysokoškoláků.

autor: Vladimír Vícha a kol.

PÍŠŤALY pro ČVUT

Spolek absolventů
a přátel ČVUT
pořádá

veřejnou sbírku na pořízení varhan do Betlémské kaple

Pojďme společně rozeznít Betlémskou kapli!

Dar v jakékoliv výši můžete zasílat na účet
veřejné sbírky č. **2100626587/2010**
nebo jej složit v hotovosti do zapečetěné
pokladničky na akcích Českého
vysokého učení technického
v Praze.

Tváří sbírky je Eva Jiřičná,
architektka a absolventka ČVUT.

Zahájení sbírky: 1. října 2014

Sbírka bude ukončena dnem vybrání
maximální potřebné částky.

www.absolventicvut.cz
www.varhany.cvut.cz

Osvědčení o konání sbírky vystavil Magistrát hl. m. Prahy dne 19. 8. 2014.

Jak se žije cobotům v Continentalu Brandýs nad Labem

Společnost Continental Automotive Czech Republic v Brandýse nad Labem, tradiční dodavatel komponentů do automobilů, intenzivně zavádí do výroby kolaborativní roboty. Firma v současné době „zaměstnává“ třináct cobotů a plánuje postupně přidávat další. Její vizí je mít na konci roku 2019 stovku těchto mechanických pomocníků. Ve výrobě interiérové elektroniky však zcela nahradit člověka nemohou.

Coboti v brandýském Continentalu mají podobu robotického ramene, které manipuluje s komponenty a výrobky nebo provádí jejich základní testování. Jedná se o roboty UR10 firmy Universal Robots, ke kterými v příštím roce přibude například dvouruký robot YuMi od ABB.

„Continental řeší automatizaci dlouhodobě a kolaborativní roboti do ní přinesli další prvek,“ říká František Sahula, manažer výrobního zařízení. Jedním z hnacích impulsů byli lidé. Každá větší výrobní firma má dnes problémy s nedostatkem pracovníků a v továrnách, kde se vykonávají rutinní opakované činnosti, je to zvlášť citelné. Myšlenka nasadit roboty, včetně kolaborativních, tak reagovala na tento problém současně se snahou zlepšit ergonomii pracovního prostředí. Třeba v případech, kdy člověk funguje „jen“ jako přenašeč dílů mezi pracovišti.

V Brandýse nyní testují i další automatizační prvky, které plánuje podnik zavádět: autonomní AGV systémy pro dopravu komponent a materiálu mezi pracovišti, do skladů apod. Autonomní platforma firmy Omron funguje ve spolupráci s WiFi a řídicím počítačem. Robotické vozítko je schopno si samo proskenovat trasu, operátor, který jej ovládá joystickem, s ním projíždí prostory, v nichž má mobilní robot opero-

vat. Ten si v režimu učení vytvoří mapu a soubor požadovaných operací v určených místech. Vyznačí se například zóny, kudy má projíždět sníženou rychlostí, protože v daných lokacích může hrozit střet s člověkem. AGV systém má také hlasový syntetizátor a dokáže komunikovat hlasem – třeba si vyžádá doplnění skladu apod.

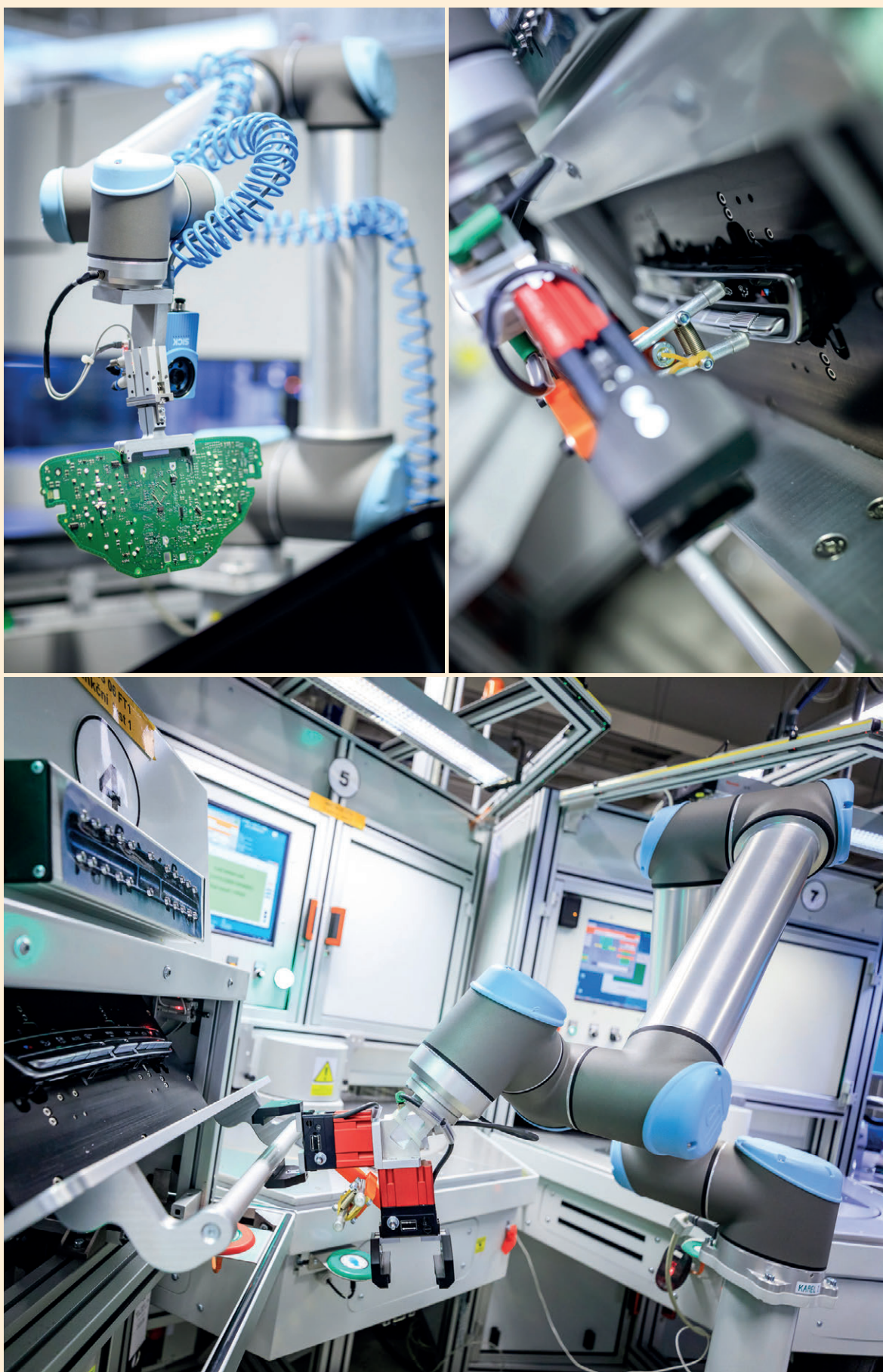
Cílem není a nikdy nebude nahradit lidi ve výrobě roboty. Existují aplikace, kde robot člověka nedokáže plně zastoupit, anebo jen za podmínek, které pro podnik nejsou rentabilní. Ale díky jejich nasazení můžeme převádět pracovníky na jiné, smysluplnější pozice.

„Cílem není a nikdy nebude nahradit lidi ve výrobě roboty. Existují aplikace, kde robot člověka nedokáže plně zastoupit, anebo jen za podmínek, které pro podnik nejsou rentabilní. Ale díky jejich nasazení můžeme převádět pracovníky na jiné, smysluplnější pozice. To, že by kvůli robotům lidé u nás přišli o práci, opravdu nehrozí,“ doplňuje František Sahula.

V současnosti se programování cobotů v Continentalu věnuje několik inženýrů na plný úvazek. Firma Ioni vytvořila speciální oddělení, které se zabývá primárně kolaborativními roboty a souvisejícími technologiemi. Nyní se připravují aplikace, které se budou řešit s externími dodavateli. Běží i spolupráce s Katedrou robotiky a kybernetiky ČVUT, která disponuje rozsáhlými možnostmi testování a simulací, včetně detailní simulace celé výrobní linky s využitím virtuální reality.

Continental v Brandýse nad Labem patří mezi tradiční dodavatele automobilek. Vyrábí interiérovou elektroniku (autorádía, multimediální systémy a jejich přední displeje, palubní přístroje, ovládací panely klimatizací) či řídicí jednotky palivových systémů. S jeho produkty se můžeme setkat ve značkách jako VW, Škoda, BMW, Fiat, Toyota, Volvo a řadě dalších.

**Věra Kubinová
foto: Jan Berghauer**



doc. Ing. LADISLAV KALVODA, CSc.
ladislav.kalvoda@fjfi.cvut.cz

Ing. JAKUB SKOČDOPOLE
Jakub.Skocdopole@fjfi.cvut.cz

Nanášet vrstvy materiálu s tloušťkou ve velmi širokém rozmezí od nanometrů po desítky mikronů umí nové zařízení JetDep100, které ve své Laboratoři aplikované fotoniky využívá Katedra inženýrství pevných látek Fakulty jaderné a fyzikálně inženýrské ČVUT v Praze.

Návrh, příprava a charakterizace speciálních tenkých vrstev a multivrstevných struktur patří v současnosti mezi nejintenzivněji se rozvíjející oblasti materiálového inženýrství. Vrstvené funkční struktury a ochranné povlaky nacházejí uplatnění například v mikroelektronice a optoelektronice, aplikované optice a plasmonice, senzorce, povrchové katalýze, strojírenství, jaderných a kosmických technologiích či biomedicině a biotechnologiích. Z pohledu aplikační variability je velmi žádoucí mít k dispozici univerzální metodu umožňující deponovat široké spektrum substancí na rozmanité podklady v tloušťce laditelné od několika nm až po desítky μm . Takové možnosti poskytují metody využívající speciální proces uvolnění materiálu ze zvoleného terčíku, tzv. ablaci, pomocí nízkoteplotní elektronové či laserové plazmy následované přenosem uvolněné hmoty na zvolený substrát.

Jednou z nejpokročilejších plazmových technik je nová metoda Ionized Jet Deposition (IJD) vyvinutá italskou firmou Noivion. Prototypový IJD systém JetDep100 byl v uplynulém roce úspěšně uveden do chodu v Laboratoři aplikované fotoniky.

Metoda IJD využívá speciálně konstruované průchozí vysokonapěťové elektronové plazmové dělo pracující na principu pulzního

efektu duté katody. Ionizovaný plyn vytváří vodivý kanál pro elektrony pohybující se periodicky mezi dutou katodou a terčíkem. Vlivem dopadajících elektronů s vysokou energií dochází k vytvoření kužele částic deponovaného materiálu urychlených směrem k substrátu.

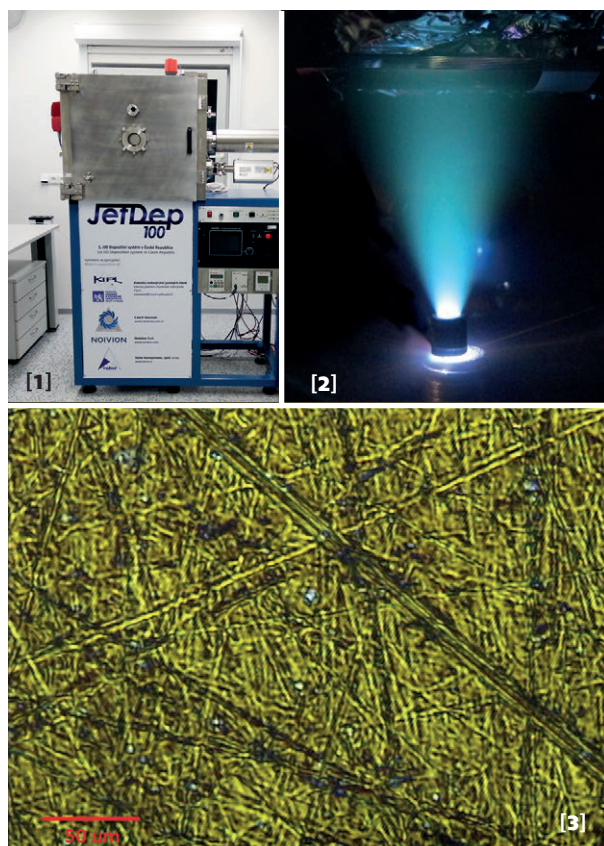
K ablaci dochází bez významné prvkové selektivity, tj. metoda IJD zachovává při depozici výchozí chemické složení terčíku a umožňuje tak nanášení široké škály substancí, od čistých kovů přes dielektrika až po polymery, a to bez ohledu na jejich elektrickou vodivost, teplotu tavení či optické vlastnosti. Tepelné namáhání deponovaného materiálu nepřevyšuje 200 °C.

Proces depozice a výsledné složení připraveného filmu lze dále modifikovat volbou směsi nosných plynů (neutrální, redukující, oxidující), frekvencí a napětím zdroje a teplotou substrátu. Deponovaná vrstva má kruhový obrys s typickým průměrem přibližně 100 mm (který může být dále modifikován případnými clonami) s rozdílem v tloušťce nepřevyšujícím 10 procent. Tvorba multivrstevných struktur je snadno dostupná prostřednictvím změny depozičního terčíku klidně i během procesu.

Experimenty provedené v naší laboratoři potvrzují flexibilitu metody IJD. Úspěšně byly připraveny a co do vlastností charakterizovány vrstvy TiN, SiC, Al_2O_3 , ZrO_2 , Mo, CrW₉, vysokoteplotních supravodičů typu YBaCuO, termoelektrik na bázi perovskitů a běžných průmyslových polymerů (PS, PVC, PMMA) nanesené na rozmanité substráty, např. nerezovou ocel, křemík, sklo či safír.

autoři: Ladislav Kalvoda,
Jakub Skočdopole
ilustrace: archiv pracoviště

Od nanometrů po desítky mikronů



[1] Pohled na depoziční komoru JetDep 100.

[2] Kužel odprášených a deponovaných částic generovaný při jednom IJD „výstřelu“.

[3] Povrch vrstvy polyvinylchloridu deponovaného metodou IJD na substrát z nerezové oceli zobrazený metodou optické reflexní mikroskopie. Tloušťka vrstvy $100 \pm 10 \text{ nm}$. Vrstva dokonale kopíruje povrchové nerovnosti kovového substrátu.

XIII. REPREZENTAČNÍ PLES ČVUT

sobota **16. 2. 2019** od 19.00 hod.



ŽOFÍN

ZPÍVAJÍ A HRAJÍ:

JAZZ POLICE

JAN KOMÍNEK

JAN SMIGMATOR

ROZÁLIE HAVELKOVÁ

KRISKROS A CAPPELLA

ORCHESTR KARLA VLACHA

PLESOVÝ ORCHESTR PRAŽSKÝCH SYMFONIKŮ

ORIGINÁLNÍ PRAŽSKÝ SYNKOPICKÝ ORCHESTR

PŘEDTANČENÍ: **SWING BUSTERS**

SOUTĚŽ O CENY, VIZÁŽISTKA A MNOHO DALŠÍHO

MODERÁTORKA:
PETRA KRMELOVÁ

Více informací včetně
prodeje vstupenek na
WWW.PLESCVUT.CZ



Rektor Českého vysokého učení technického v Praze
doc. RNDr. Vojtěch Petráček, CSc., si Vás dovoluje pozvat na

NOVOROČNÍ KONCERT

28. LEDNA 2019 V 19.30 HOD.
RUDOLFINUM, ALŠOVO NÁBŘEŽÍ 12, PRAHA 1

ÚČINKUJÍCÍ

**SYMFONICKÝ ORCHESTR
ČESKÉHO ROZHLASU**

JITKA ČECHOVÁ

KLAVÍR

MAREK ŠEDIVÝ

DIRIGENT

PROGRAM

J. BRAHMS

AKADEMICKÁ SLAVNOSTNÍ
PŘEDEHRA, OP. 80

R. SCHUMANN

KONCERT A MOLL PRO KLAVÍR
A ORCHESTR, OP. 54

N. A. RIMSKIJ-KORSAKOV

SYMFONICKÁ SUITA ŠEHEREZÁDA, OP. 35

Vstupenky lze zakoupit v Informačním centru ČVUT (budova AIR House)
vedle Fakulty stavební ČVUT, Thákurova ul., Praha 6, telefon: 224 359 952.

CENA VSTUPENEK: 100 Kč, 400 Kč, 450 Kč a 500 Kč

Výtěžek z prodeje vstupenek bude určen na podporu veřejné sbírky na pořízení a instalaci varhan do Betlémské
kaple (www.varhany.cvut.cz), kterou organizuje Spolek absolventů a přátel ČVUT (www.absolventicvut.cz).

VÍCE INFORMACÍ NA STRÁNKÁCH WWW.NOVOROCNIKONCERT.CVUT.CZ