

## JAK SE DĚLÁ VĚDA:

## 20 velmi úspěšných let Ústavu technické a experimentální fyziky ČVUT

Od hloubek několika kilometrů po vesmír, včetně Mezinárodní kosmické stanice, můžeme vystopovat experimenty vědeckých pracovníků vysokoškolského vědeckého ústavu, skrývajícího se pod zkratkou ÚTEF. Jde o Ústav technické a experimentální fyziky Českého vysokého učení technického, který si právě letos připomněl 20. výročí vzniku. U jeho zrodu stál Ing. Stanislav Pospíšil, DrSc., dlouholetý ředitel ústavu, i jeho dlouholetý spolupracovník, současný ředitel ÚTEF, doc. Ing. Ivan Štekl, CSc.

ÚTEF vznikl roku 2002 (1. května) jako experimentální základna naší nejstarší technické vysoké školy (ČVUT – České vysoké učení technické v Praze – bylo založeno 17. ledna 1707) se zaměřením na výzkum v oboru částicové a jaderné fyziky. Po letech růstu se stal vysokoškolským ústavem s vysokým mezinárodním renomé, s ročním rozpočtem více než 100 milionů Kč a se stovkou zaměstnanců. Výrazně zastoupení mezi jeho vědeckovýzkumnými pracovníky mají odborníci ze zahraničí, např. z Německa, Japonska, Slovenska, Indie, Pákistánu, Švédska či Holandska, ba i z Brazílie. Podstatnou část odborných pracovníků přitom tvoří Ph.D. studenti a mladí vědci.

Vědecká spolupráce ústavu sahá od renomovaného evropského fyzikálního střediska CERN (*Conseil Européen pour la recherche nucléaire* – Evropská organizace pro jaderný výzkum) přes podzemní laborator LSM (*le Laboratoire Souterrain de Modane* – podzemní laborator částicové fyziky umístěná v silničním tunelu Fréjus poblíž Modane ve Francii) po ESA (*European Space Agency*) či americkou NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) až do vesmíru. Úspěchy ústavu na poli výzkumu v mimozemském prostoru v posledním desetiletí vedly k tomu, že se ÚTEF jako teprve čtvrtá česká organizace stal členem Mezinárodní astronautické federace IAF.

Cesta k současné pozici ústavu jako uznávaného vědeckého partnera v mezinárodním měřítku ovšem nebyla jednoduchá. Ostatně, nechme hovořit „otce“ zakladatele: Stanislava Pospíšila a Ivana Štekla.



Prof. Ing. Stanislav Pospíšil, DrSc., zakladatel a dlouholetý ředitel ÚTEF

Fyzika, která se tam pěstovala, byla orientována převážně teoreticky. Sama o sobě je však v zásadě vědou experimentální. Teoretičtí fyzici do hry většinou vstupují, jakmile se nějaký nový jev pozoruje a kvantitativně změří. Teprve pak je možné jej interpretovat a případně navrhnout teoretické popisy, jež následně mohou inspirovat k dalším experimentům. A ty, pokud potvrdí, že navržený popis do té doby neznámého jevu je správný, takto přispívají k rozvoji navržené teorie. Proto experimentální fyzika patří především na technické vysoké školy, kde se automaticky stává zdrojem pro poznání a výzkum v dalších oborech.

Proto jsme společně s prof. Janoušem a kolegou Šteklkem začali na FJFI pracoviště Experimentální jaderné fyziky budovat se zaměřením na aplikova-



Doc. Ing. Ivan Štekl, CSc., současný ředitel ÚTEF

pro výchovu studentů zaměřených na experimentální jadernou fyziku. Když tedy v roce 2001 přišel prof. Jiří Witzany, tehdejší rektor ČVUT, s výzvou, aby lidé předkládali nápady na zahájení nových směrů výzkumů, tak jsme se do takové grantové soutěže přihlásili s cílem stát se experimentální základnou ČVUT pro výzkum ve fyzice mikrosvětla. A v této grantové soutěži hodnocení externími posuzovateli jsme uspěli.

**I Dobře, ale máme tady Fyzikální ústav MFF UK, Fyzikální ústav ČSAV, Ústav jaderného výzkumu v Řeži u Prahy... Kde jste našli skulinu?**

**SP:** Pro nás byla mezera velmi zřetelná. Řekl bych, že zejména v částicové fyzice se od doby, kdy se naše země stala členskou zemí CERN, otevřel prostor pro její pěstování u nás na odpovídající mezinárodní úrovni. To dovolilo, aby naši fyzici měli přístup k datům z částicových experimentů, která byli schopni zpracovávat a interpretovat.

Na druhé straně jsem si uvědomoval, že experimentální aktivity domácích pracovišť ve srovnání se zahraničními akademickými pracovišti postrádaly úroveň obohacující domácí pracoviště ve směru instrumentálního vybavení natolik, že vedle vlastního příspěvku do budování experimentů, může být i základem pro přenos technologií ze základního výzkumu do jiných vědních oborů. To také přispělo k myšlence založit náš ústav.

Oslovili jste mě jako zakladatele ústavu, nicméně pan Štekl, současný ředitel, byl sice tehdy mladý muž, ale je vlastně spoluzakladatel. Byl jedním z těch, kteří k založení ústavu podstatně přispěli.

Při pohledu zpětně se ukazuje, že rektor Jiří Witzany byl opravdu osvětlený člověk, který viděl dopředu, co ČVUT potřebuje. A nám se podařilo své nápady prosadit.

Začátky však nebyly růžové. Dostali jsme vybudovanou budovu na Albertově, ve které nebylo nic, a devět mladých lidí, kteří se spolu s námi vydali

na tuto dobrodružnou cestu. Začali jsme sháněním zařízení i nábytku.

**IŠ:** Já se ještě vrátím k rektoru Witzanimu. Iniciovat nové směry výzkumu, riskovat 80 milionů Kč z vlastních příjmů ČVUT a věnovat je do rozvoje experimentálních pracovišť školy, to nikdo z dalších rektorů neudělal!

Pravda, my jsme se toho trochu báli, protože jsme přešli do nového ústavu, zcela mimo mateřské pracoviště. Pak se ovšem ukázalo, že to je velká výhoda, protože jsme se na budování ÚTEF mohli plně soustředit.

**I Jak jste tedy experimentální základnu budovali?**

**IŠ:** Kolega Pospíšil nám coby direktor nikdy nedovolil vyjet si někam na půl roku jen tak na stáž. Museli jsme vybudovat experimentální zařízení doma a odborníky ze zahraničí zvát tam. Ven jsme mohli cestovat jedině na recipročním základě. Na to se od začátku velmi dbalo. Takže k nám museli jezdit lidi ze zahraničí a teprve s výsledky naší práce jsme se mohli vydat do CERNu či dalších zahraničních pracovišť. Ukázalo se to jako velmi prospěšná tendence.

Od samého začátku byli navíc odborníci ze zahraničí ve Vědecké radě, což se také výrazně osvědčilo. Pro nás to bylo prostředí konfrontace toho, co děláme doma, s tím, kam se dostal svět. Šlo o erudované vědce ze Švédska, z Německa, z Anglie... Teď byli



Červená šipka ukazuje umístění českého detektoru na družici PROBA-V

na oslavě 20 let vzniku ÚTEF a velmi rádi s námi zavzpomínali. Pro nás bylo důležité, že nám věnovali svůj čas.

**I Naznačil jste, že si český fyzik musí pomoci sám. Museli jste se vybavit přístrojovou technikou, ne všechno se dalo koupit, něco se muselo postavit. To je však, myslím, pro experimentální fyziku i dobrý základ.**

**IŠ:** To je další z věcí, které u nás od začátku fungují. Nejsme dost bohatí na to, abychom si koupili hotová zařízení. Tady to funguje tak, že lidé vědí, co chtějí udělat a proč. Když to pak poskládají z jednotlivých dílů, vědí, jak to funguje. To je rys naší práce: musíme vědět, jak funguje software, jak hardware a k čemu všemu celé zařízení může sloužit. Až 90% experimentů je založeno na tom, že co naši lidé potřebují, si také sami vyrobí.



**SP:** Ne všichni nás však doma od počátku vzniku ústavu podporovali. Cítili v nás konkurenci.

Vrátím se ke zmiňovanému CERNu, kde se na urychlovači LHC (*large hadron collider*) realizují velké experimenty. Poslouží mi to jako příklad, jak to ve světě základního výzkumu funguje: do gigantického experimentu, jakým je např. ATLAS, je zapojeno na 200 ústavů a univerzit z celého světa. Na provozu a vyhodnocování experimentálních dat se podílí na 3 000 lidí. A tento experiment musel především také někdo vymyslet a postavit.

Kladli jsme si tedy otázku, jak bychom mohli k takovému gigantickému dílu přispět? Záhy se ale ukázalo, že se na tomto díle nepodílejí jen velké, světověznámé laboratoře, ale přispívají do něj i malé skupiny vědců. Tím, co jsou schopni doma s plnou zodpovědností vytvořit. A to byla i naše cesta.

Orientovali jsme se na detektorovou technologii, kterou zvládáme na vysoké mezinárodní úrovni. Jde o citlivé scintilační, a zejména pixelové detektory Timepix s vysoce integrovanou mikroelektronikou na úrovni jednotlivých pixelů, na jejichž vývoji se dlouhodobě podílíme i v rámci mezinárodního vědeckého konsorcia Medipix. Je přitom důležité, že vedle reálného využití našich detekčních systémů pro experimenty ATLAS (*a toroidal LHC apparatus*) a MOEDAL (*the monopole and exotics detector at the LHC*) na LHC si následně naše detektory našly využití i v řadě významných aplikací.

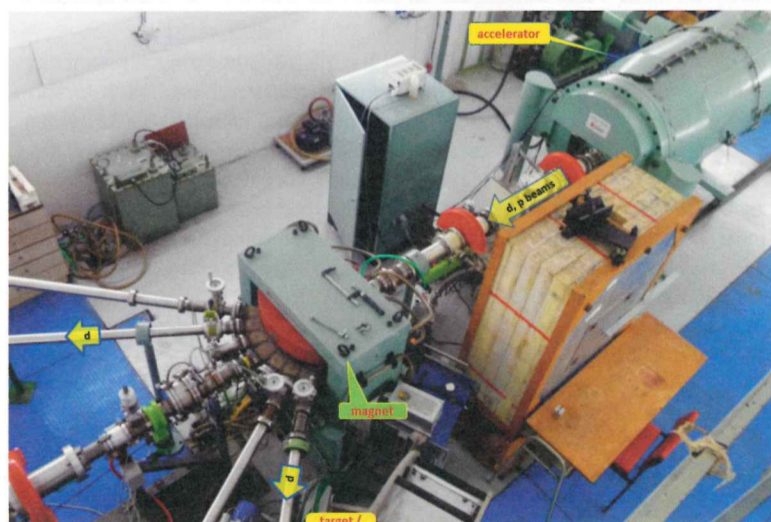
**IŠ:** Já to ještě zevšeobecním. Hodně se věnujeme fundamentálním experimentům. K tomu ale potřebujeme vývoj technologií různého typu. Už jsme zmiňovali pixelové či scintilační detektory. Na ně samozřejmě navazují aplikace. To je hierarchie: fundamentální experimenty, technologie a aplikace.

**I Co považujete za milníky na vaší dvacetileté cestě?**

**IŠ:** Velmi důležitý byl pro nás CERN. Dostali jsme se k vývoji velkého neutronového stínění pro experiment ATLAS, který probíhá na urychlovači LHC. Jedním z cílů bylo dokázání předpovězeného tzv. Higgsova bosonu, což se později povedlo. ATLAS je největším detektorem, který byl kdy postaven, a v našem případě šlo o ochranu tzv. mionových komor. To byla zakázka v tehdejších cenách za 65 milionů Kč. Strávili jsme na tom tři roky a dělaly to tři české firmy.

**I Pardon, teď vás přeruším, někdo by řekl, že to bylo jenom „železo“.**

**SP:** „Železo“ to bylo původně. Celé toto tzv. dopředné neutronové stínění (*ATLAS forward shielding*) původně navrhoval tým tvořený lidmi z velkých laboratoří zapojených do experimentu. Když jsem se však dozvěděl detaily návrhu, jako člověk vyšlý z neutronové fyziky jsem si říkal, že to nebude dobré. Navrhovatelé stínění přirozeně nebyli z mého názoru velmi nadšení, nakonec jsme ale došli ke shodě: „Základní princip návrhu stínění zůstane zachován, měď a železo, základní složky původně navrhovaného stínění, však budou nahrazeny litinou s ma-



Van de Graaffův elektrostatický urychlovač lehkých iontů v ÚTEF

**I 20 let, to je ve fyzice krátká doba. Proč ale vlastně ÚTEF vznikl?**

**SP:** Jako experimentální fyzik zabývající se neutronovou fyzikou a jadernou spektroskopii jsem během svého dlouholetého působení na katedře fyziky Fakulty jaderné a fyzikálně inženýrské (FJFI) postrádal přístrojové vybavení pro experimentálně orientovaný výzkum na domácím pracovišti.

nou neutronovou fyzikou a jadernou spektroskopii. Důležitými momenty pro další rozvoj vědeckých aktivit této skupiny bylo, že v roce 1993 jsem byl profesorem Stanislavem Hanzlem, tehdejším rektorem ČVUT, pověřen funkcí představitele univerzity v tehdy připravovaném experimentu ATLAS na LHC v CERN a že se nám v roce 1995 podařilo získat akreditaci MŠMT

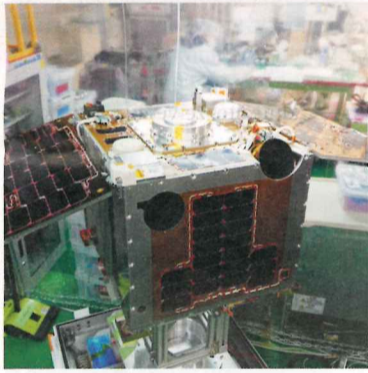
ximálním obsahem grafitu. Dále bude stínění doplněno o vnější vrstvu, tvořenou borovaným polyetylenem uzavřeným ocelovým pláštěm. Ten nahradí původně navrhovanou vrstvu olova, které věru není dobrým konstrukčním materiálem." A tak se to nakonec skutečně udělalo, což potěšilo nejen nás, ale i technického koordinátora celého experimentu ATLAS, neboť přijatý návrh vedl mimo jiné i k výrazně nižší ceně stínění.

**IŠ:** Když se potom vyhodnotoval skutečný dosažený signál pozadí, tak nám napsali: „Vám se to, pánové z Prahy, povedlo, protože pozadový signál je 4× menší, než jsme očekávali.“ To bylo pro nás takové vyznamenání, pohlázení. To bylo jeden z prvních mezníků, co mám v paměti.

Velmi důležité také bylo, že se ústav stal členem kolaborace Medipix. Jde asi o 20 institucí, které dávají dohromady své prostředky a vyvíjejí speciální čipy pro pixelové detektory. My je používáme v mnoha aplikacích. Díky zapojení jsme časem vyvinuli i systémy na obsluhu detektorů, čtení a zpracování dat, což nás velmi postrčílo dopředu.

Dalším předělem byl zisk dvou významných infrastruktur: v roce 2010 jsme převzali od Matematicko-fyzikální fakulty (MFF) Van de Graaffův elektrostátický urychlovač lehkých iontů s maximální energií 2,5 MeV, který mj. funguje jako kalibrační, a testovací zařízení detektorů ionizujících částic pro ESA.

Podílíme se také na projektu výzkumné infrastruktury LSM, což je nejhlubší evropská podzemní labora-

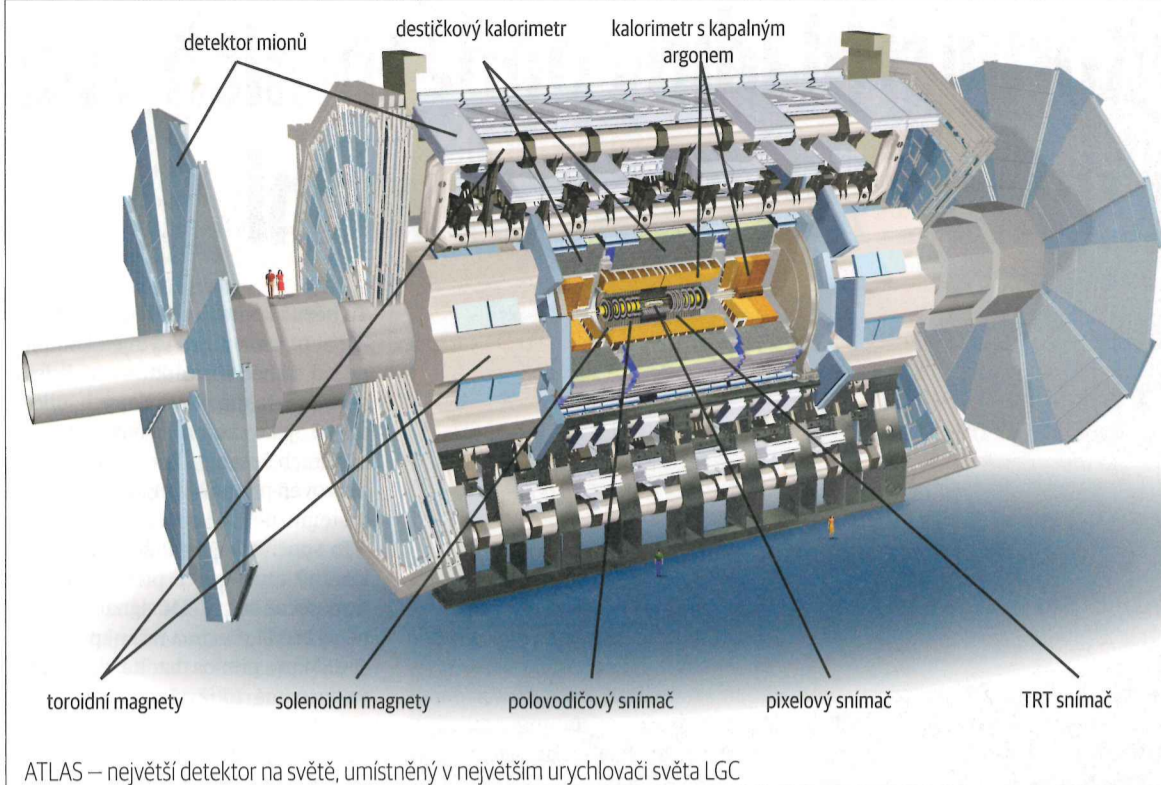


Japonský satelit RISESAT

toř v Modane ve Francii pod vrcholem hory Mount Fréjus (odpovídá 4 800 m vodního ekvivalentu). Slouží kromě jiného ke studiu vlastností neutrin a hledání tzv. temné hmoty ve vesmíru. V rámci neutrinové fyziky se také podílíme na experimentech SuperNEMO (*neutrino Ettore Majorana observatory*), LEGEND (*large enriched germanium experiment for neutrinoless  $\beta\beta$  decay*), a COBRA (*the cadmium zinc telluride O-neutrino double-beta research apparatus*).

**■ To je široká paleta aktivit. Ale máte i velmi úspěšnou spolupráci s partnery z jiných oborů a s průmyslovými firmami.**

**IŠ:** Máte pravdu. Partnerství s kolegy např. z oborů materiálových věd, biologie, medicíny nás zase směřuje



ATLAS – největší detektor na světě, umístěný v největším urychlovači světa LHC

do přírodních věd. Například našim kolegům se už v roce 2013 podařilo založit spin-off firmu Widepix, dnes známou jako Advacam, která se zaměřila na komerční aplikace technologií pixelových detektorů. Za aktivní účasti našich pracovníků dodává na trh detekční systémy na bázi detektorů vyvinutých v kolaboraci Medipix/Timepix.

Příkladem takového postupu je pixelový detektor v miniaturizované architektuře LITE, který byl vyroben ještě v ÚTEF ČVUT, a NASA jej použila na ISS jako dozimetru záření. Firma Advacam pak pro NASA zajišťovala jeho komerční rozšíření. Prošla náročnou „kosmickou“ certifikací, proto se stala standardním dodavatelem našich detektorů pro NASA. Když totiž dostane objednávku, nemusí absolvovat zdoluhavý certifikační proces na každý kus, byť jde o kosmický výzkum.

Dále spolupracujeme s firmami Nuvia na vývoji scintilačních detektorů pro CERN a LSM či Crytur z Turnova zaměřenou na integrovaná řešení na bázi speciálních krystalů. Já tomu říkám, že vyrábí „diamantové“ detektory, a jsou velmi úspěšné.

Nuvia je pěkným příkladem toho, jak spolupráce mezi vědou a firmami funguje. Vyvinuli jsme s nimi české patenty na vylepšení energetického rozlišení jimi vyráběných scintilátorů. Řeknete si, český patent, co to dneska je? Ale jim to přineslo zakázku za miliony dolarů, v rámci velké dodávky scintilátorů do Laboratoire Souterrain de Modane pro experiment SuperNEMO a následně pro americký FermiLab (Fermi National Accelerator Laboratory, USA). Tam mají v Batavii několik experimentů v různé vzdálenosti od urychlovače (do roku 2008 největší urychlovač světa, tzv. Tevatron) a jeden z těchto experimentů potřeboval tzv. kosmické veto pro potlačení pozadí. Což umíme. Na základě toho nás požádali, abychom převzali dohled nad kvalitou výroby. Podmínkou bylo, že z tisíce kusů

velkých detektorů musíme 125 z nich, tedy každý osmý, proměřit. Pro tento účel jsme vyvinuli laditelný zdroj elektronů. Na základě této spolupráce pak Nuvia dostala přes CERN zakázku pro FermiLab za půl milionu dolarů. To je takový hezký příklad toho, jak „obyčejný“ český patent může přispět ke komerčnímu úspěchu.

Mohl bych samozřejmě jmenovat i další mezníky: podařilo se nám vybudovat plnohodnotné teoretické oddělení, navázat intenzivní mezinárodní spolupráci, zapojili jsme se do kosmického výzkumu a vývoje, stali se členy Mezinárodní astronautické federace IAF. To je velmi významný úspěch, ale pokud bychom neměli sofistikované detektory a potřebnou technologii do kosmu, tak by naše členství nemělo smysl.



Snímač RisePix2

**■ Když jsme u kosmonautiky, kde všude pracují vaše detektory?**

**IŠ:** V kosmu máme pixelové a tzv. stripové detektory. To je absolutní základ spolupráce. Od roku 2013 funguje na ESA satelitu PROBA-V aparatura SATRAM (*space application of timepix radiation monitor*) čili detektor pracující v otevřeném kosmu. Vysoce integrovaný detektorový čip Timepix, na kterém je to všechno založeno, byl vyvinut u nás v ÚTEF. Denně tak dostáváme zásadní část datového toku z centra ESA Redu v Belgii a můžeme on-line sledovat charakter radiace v otevřeném kosmickém prostoru.

Detektor Timepix pracuje od roku 2017 i jako součást miniaturního X-ray teleskopu na českém satelitu VZLUSAT-1 sestaveném konsorciem českých institucí.

Od roku 2019 pak slouží jako radiční kamera detektor RISEPix na japonském satelitu RISESAT (*rapid international scientific experiment satellite*, japonsky Hodoyoshi 2). RISEPix dokáže detekovat nabitě částice v mag-

netickém poli Země, určit jejich počet, typ, energii a směr. V důsledku toho můžeme sledovat složení, intenzitu a změny kosmického záření ze Slunce a z vesmíru, včetně postupu slunečních erupcí a změn v magnetickém poli Země.

Od roku 2020 máme podepsáno memorandum o vědecké spolupráci mezi ÚTEF a tchajwanskou Národní vesmírnou agenturou (NSPO). Máme také dodat dva detektory radiace na kosmickou stanici Lunar Gateway (viz lunární program NASA Artemis), která má obíhat po tzv. cislunární dráze kolem Měsíce. Bude tam celkem pět druhů radičních detektorů, jeden z ÚTEF a druhý z Advacam, tedy dva z ČR. Od nás a od naší spin-off firmy.

**SP:** Rád bych zdůraznil, že se v momentě, kdy máte nějaký nástroj, který se pro něco dobře hodí, stanete vítaným členem experimentů a projektů, kde takový nástroj postrádají. Zejména tehdy, máte-li k tomu vyvinutou i metodiku jeho využití. V takovém postavení se nyní náš ústav nachází v oblasti detektorových technologií, jmenovitě pokud jde o hybridní pixelové detektory typu Timepix.

Ty mají uplatnění nejen v experimentální částicové fyzice pěstované v pozemských podmínkách, ale i v dlouhé řadě aplikací počínající například rentgenovou a neutronovou tomografií pro nedestruktivní defektoskopii a biomedicínské zobrazování až po hadronovou terapii. Takto jsme se stali partnerem významných kolaborací. Díky tomu, že věděli: tohle se umí v Praze!

Zde přitom stojí za připomenutí, že naše detektory, které jsou schopné poskytovat spektrální charakteristiky a složení komplexních radičních polí tvořených širokým spektrem záření od nízkooenergetických fotonů X-zářením do částic gigaelektronovými energiemi, jež byly nasazeny v roce 2008 do experimentu ATLAS, nám vlastně otevřely cestu do vesmíru vzápětí po vstupu ČR do ESA.

**■ To šlo o detektory na ISS?**

**SP:** Ne. V případě detektorů pro ISS šlo o lehké verze detektorů typu Timepix vyrobených v ÚTEF, jež byly v rámci naší spolupráce s Univerzitou v Houstonu adaptovány a dodány pro potřeby NASA v roce 2012, tedy před 10 lety. Na ISS byly použity jako tzv. REM (*radiation environmental monitor*), sloužící k osobní dozimetrii astronautů. Způsob použití těchto monitorů je chráněn US patentem, který je ve společném vlastnictví CERN a ÚTEF.

Tady možná stojí ještě za zmínku, že zdařilé uplatnění našich detektorových technologií na ESA satelitu PROBA-V (SATRAM) a na ISS (REM) nám přineslo zajímavý doprovodný efekt. ESA nás vyzvala slovy: „Když máte infrastrukturu nejen pro výrobu takových zařízení, ale i pro jejich testování na našem Van de Graaffově urychlovači, můžete být pro nás referenčním pracovištěm!“ Když tedy někdo potřebuje ověřit radiční odolnost proti neutronům zařízení určeného do vesmíru, ESA mu doporučí, „jeďte do Prahy“. A za tuto službu nám pak platí.

**■ Takže se vlastně se svými výsledky práce dostanete až na Měsíc.**

**IŠ:** To jste příliš skromný. Já doufám, že až na Mars!

**■ Na Mars?**

**IŠ:** Řekněme, že máme daleko zajímavější cíle.

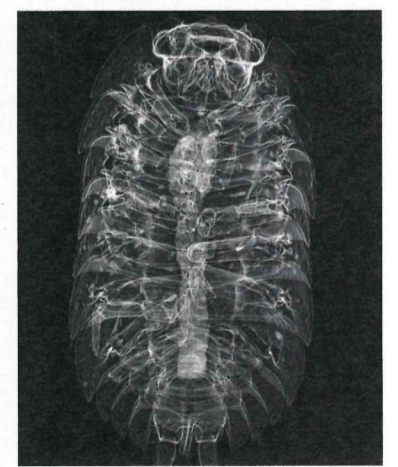
Japonská sonda (program iSpace – *Timepix on the Moon*) má za cíl přistát na Měsíci a my bychom měli dodat na robotické vozítko zařízení pro detekci vody na bázi pixelových detektorů.

Tchajwanské NSPO plánuje také vylat sondu na Měsíc a opět nás požádalo o zařízení na detekci vody.

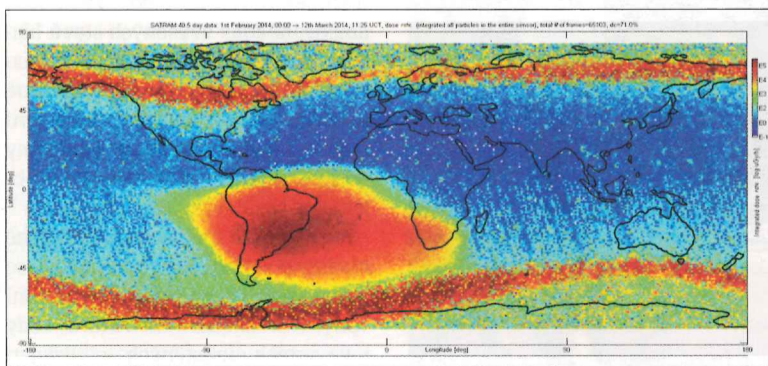
My bychom se ale opravdu chtěli dostat až na Mars. Projekt pod jménem Democritos skutečně existuje, garantem je DLR (*Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt*). Momentálně je to však ještě částečně sci-fi s tím, že by zdrojem pohonu nebyla chemie, ale jaderná fyzika, to jest atomový motor, tzv. NEP (*nuclear electric propulsion*). Jde o velmi náročný projekt. Výpočty ukazují, že Democritos by vzdálenost k Marsu zvládl za pouhé dva měsíce. Po nás by chtěli měřit radiaci pomocí našich speciálních detektorů, a to po celou dobu letu. Vzhledem k tomu, že konstrukce bude během letu namáhána a u nás viděli, že naši experti umí zobrazovat trhliny ve vzorcích materiálů, tak se objevila myšlenka hlídat po dobu letu, jestli v konstrukci nevznikají trhliny. Pokud se projekt Democritos uskuteční, bude to pro nás velká výzva.

**SP:** Nesmíme si cením toho, jakého mezinárodního postavení náš ústav dosáhl a že trvale udržuje širokou mezinárodní spolupráci. Ve světě je nejméně 30 institucí, se kterými máme natolik blízké kontakty, často osobního charakteru, že když něco naléhavě potřebují, prostě se na nás obrátí a zapojí nás. Takové vztahy neodrážejí jen osobní sympatie, ale stojí především na dlouhodobě budované vzájemné důvěře. A to je z mého pohledu nejvyšší hodnota ÚTEF, ke které se za 20 let své existence dopravoval. Vidím ji jako jeden nejdůležitějších faktorů pro jeho úspěšnou existenci i do dalších let.

Stanislav Kužel, Michael Málek  
Foto: ÚTEF



Technologie vyvinuté v ÚTEF nacházejí využití i na Zemi, například při zkoumání tkáni hmyzu (sviňka)



Radiční mapa sestavená na základě měření přístrojem Satram na oběžné dráze kolem Země ve výšce 820 km v průběhu 36 dnů (1. leden – 7. únor 2014) vyjádřená v logaritmickém měřítku v µG/hod.