

Zrcadla jako klíčová součást detektorů kosmického záření

Jana Žďárská

Fyzikální ústav AV ČR, Na Slovance 2, 182 21 Praha 8; zdarskaj@fzu.cz

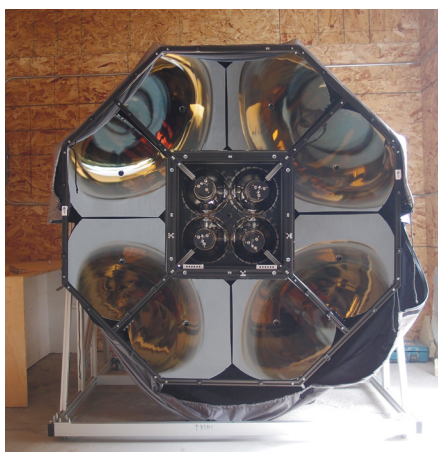
Vědci ze Společné laboratoře optiky (SLO) Univerzity Palackého a Fyzikálního ústavu AV ČR v Olomouci vyvinuli a úspěšně provozují speciální zrcadlové systémy pro detekci velmi slabých optických signálů. Pro fluorescenční dalekohledy (detektory) observatoře kosmického záření Pierra Augera bylo vyrobeno 15 z celkového počtu 27 zrcadel. Petr Schovánek stál u samotného začátku tohoto projektu a v současné době hledá cesty, jak zrcadlové systémy vylepšit, zjednodušit a tím ještě zlevnit jejich výrobu při zachování vyhovujících parametrů.

Cesta k výrobě zrcadel pro observatoře zabývající se detekcí a studiem kosmického záření začala v polovině 90. let. Tehdy byl uveden do provozu projekt umístěný ve vesničce Thémis na posledním francouzském svahu Pyrenejí, kde byla v objektu bývalé sluneční elektrárny vybudována observatoř CAT (*Cherenkov Array at Themis*). Pro realizaci tohoto projektu bylo třeba vyrobit speciální segmentované zrcadlo, složené z 90 sférických zrcadel o rádiu 12 metrů s průměrem padesát centimetrů. „Tehdy se vcelku náhodně potkali tři spolužáci ze střední školy. Jeden z nich byl náš kolega Jiří Keprt, druhý Jiří Vrána¹, který mezitím emigroval

¹ J. Hladký: Nedožitých 90 let RNDr. Jiřího Vrány, CSc. *Čs. čas. fyz.* 72, 250–253 (2022).



Obr. 1 Zrcadlový systém detektoru projektu FAST. Snímek justáže zrcadlového systému detektoru FAST – první prototyp.



Obr. 2 Zrcadlový systém detektoru projektu FAST, který je instalován v rámci projektu TA (Teleskop Array) v Utahu.

a pracoval na univerzitě v Paříži, a třetí pak Ladislav Rob. Zmínění spolužáci se domluvili na tom, že by nebylo špatné, kdyby se do tohoto projektu zapojila i Česká republika. Jejich dotaz, zda by partnerem mohla být SLO, byl pro mě výzvou. I když se jednalo o dosti komplikovanou věc, přesto jsem tuto výzvu přijal,“ vysvětluje začátek své cesty za zrcadly Petr Schovánek. Projekt CTA byl později oceněn stříbrnou medailí Francouzské akademie věd.

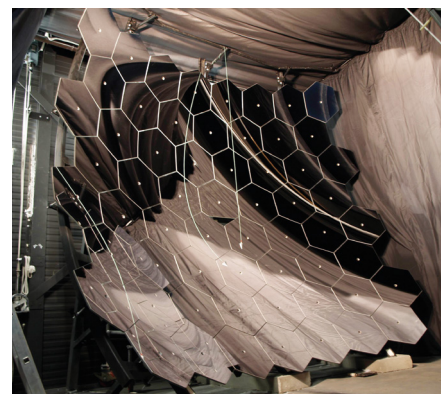
Další projekt, na kterém se vědci z týmu Petra Schováneka podíleli, se týkal časového vzorkování dopadající vlnoplochy čerenkovského záření. Projekt jménem CELESTE (*Cherenkov Low Energy Sampling and Timing Experiment*) probíhal na téže místě a Petr Schovánek k němu dodává: „V detektoru byla na tehdejší poměry velmi rychlá elektronika, a tak bylo možné rozlišovat čas, kdy čerenkovské fotony vybuzené kosmickým

zářením dopadly² na jednotlivá primární zrcadla. Což bylo velmi podstatné, protože díky přesnému časovému rozlišení bylo možné určit tvar dopadající vlnoplochy a získat tak informace o průběhu signálu.“

Vědci výzkumného týmu pro tyto projekty vybudovali doslova „na koleni“ a s minimem zkušeností v daném oboru optickou dílnu, kde bylo možné skleněné substráty a stejně důležitým úkolem byla depozice reflexní vrstvy na optické prvky požadovaných rozměrů a v požadované kvalitě. Vysoce reflexní vrstva je v aplikacích, kde je potřeba sbírat „každý foton“, velmi důležitá. Také pro tento účel byla v SLO postavena speciální depoziční aparatura.

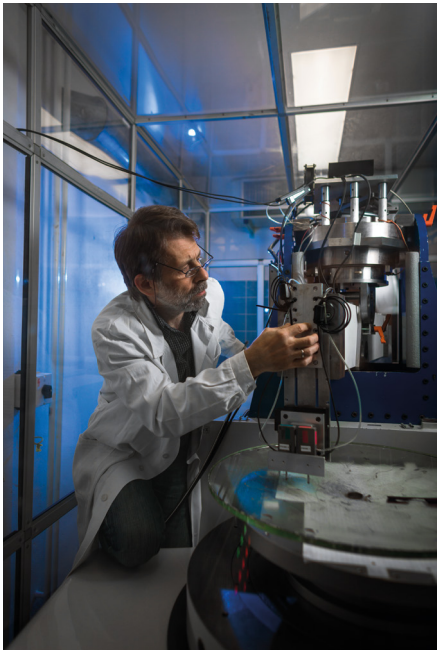
V průběhu doby pak v olomoucké laboratoři za významné pomoci odborníků

² O. Haderka, J. Peřina, M. Hrabovský: Za RNDr. Jiřím Keprtem, DrSc. *Jemná mechanika a optika* 65 (7–8), 219 (2020).



Obr. 3 Fotografie byla pořízena v průběhu justáže zrcadlových segmentů na prvním teleskopu projektu HEAT v Argentině.

z celé republiky vznikl kolektiv specialistů na různé technologie v optické výrobě, který byl následně schopen pružně reagovat na potřeby vědeckých projektů s různými požadavky na zrcadlové systémy. „V Brně nám vyrobili ze speciální litiny lisovací formu. Na Sázavě jsme se skláři vymysleli technologii pro lisování polotovarů zrcadel ze Simaxu. Simax je běžné sklo, které můžete znát z kuchyně, ale původně byla jeho výroba zavedena pro využití v oknech ponorek. Jeho velkou výhodou je, že je velmi málo



Obr. 4 Montáž kontaktních snímačů vzdálenosti při jejich testování na zařízení Swing Arm Profilometr, které při měření tvaru zrcadel nahrazuje interferometr.

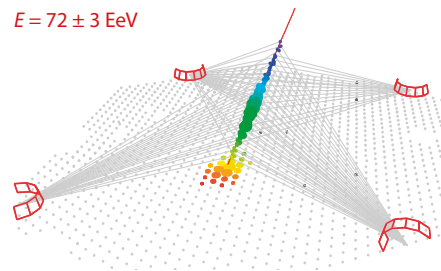
citlivé na teplotní změny. To znamená, že když bude optický prvek vystaven teplotám v rozsahu $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $50\text{ }^{\circ}\text{C}$, nejen že takové podmínky vydrží, ale jeho optické parametry se významně nezmění. Bez obětavé pomoci specialistů na vakuové technologie z Rožnova, která se zpočátku podobala sponzoringu, by realizace aparatury na depozici tenkých vrstev trvala mnohem déle,“ připomíná Petr Schovánek.

Na observatoři Pierra Augera³ jsou naše zrcadla instalována od roku 2004. Původně se předpokládalo, že životnost zrcadel bude zhruba 15 let. Je pochopitelné, že po tuto dobu se nesměla významně změnit jejich reflektivita. Proto olomoucký tým zrcadlové plochy podle potřeby čistí a reflektivitu zrcadel pravidelně sleduje. „Mohu říci, že pokud byla na začátku požadovaná minimální reflektivita 90 %, tak v roce 2023, tedy po 19 letech, je o jedno a půl procenta nižší, což je pořád skvělé číslo,“ dodává Petr Schovánek. Práce na zrcadlech na observatoři v Argentíně probíhala i v době tvorby našeho člán-

ku, a tak byla naše komunikace doslova mezikontinentální.

V současné době se tým SLO spolu s kolegy z Japonska a Ameriky věnuje mimo jiné i výrobě velmi kompaktních detektorů FAST. Jedná se o malé (dvoumetrové zrcadlo ze čtyř segmentů) a velmi levné detektory, obsahující čtyři fotonásobiče, segmentované zrcadlo, optický filtr, který propouští jenom určitou část ze spektra optického záření. Detektory jsou instalovány v samostatných kontejnerech. „Kontejnery jsou uzavřené, mají automaticky ovládané shuttery [závěrky], vlastní napájení, vlastní energii i vlastní komunikaci. Postavit je lze tedy opravdu kamkoliv,“ připomíná Petr Schovánek a dodává: „Tři detektory tohoto typu jsou provozovány v Utahu, kde jsou instalovány v rámci spolupráce s projektem TA (Telescope Array), dva pak v oblasti Los Leones ve spolupráci s projektem Pierra Augera. Nyní z nich sbíráme data a snažíme se prokázat, že naše idea je životaschopná a že umožní s nesrovnatelně menšími investicemi, než jsou u takových projektů obvyklé, postavit kdekoli zařízení na detekci kosmického záření.“

$$E = 72 \pm 3 \text{ EeV}$$



Obr. 5 Schematický obrázek znázorňující tzv. golden event, kdy je optický signál (zde s energií primární částice 72 EeV) detekován na všech observatořích projektu najednou.

Aplikace výše zmíněných zrcadel je vhodná i pro jiné fyzikální experimenty, které s výzkumem kosmického záření přímo nesouvisí. Například byla vyvinuta nová technologie pro výrobu extrémně

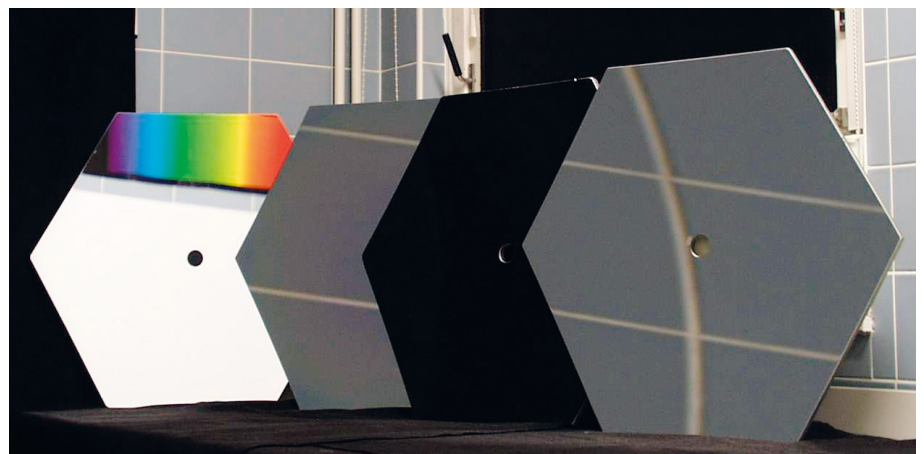


RNDr. Petr Schovánek (*1959) absolvoval Přírodovědeckou fakultu Univerzity Palackého v Olomouci, obor fyzika – optika a jemná mechanika a zde v roce 1986 také získal titul RNDr. Působí jako vedoucí vědecký pracovník na Fyzikálním ústavu AV ČR a na Přírodovědecké fakultě Univerzity Palackého ve Společné laboratoři optiky.

Dosáhl významných výsledků v oblasti vývoje optických technologií. Největších úspěchů nabyl v oblasti vývoje a výroby zrcadlových systémů optických detektorů velmi slabých optických signálů (projekty CAT, Observatory Pierre Auger, DIRAC a RICH-1 LHCb v CERN, CTA aj.). Získal řadu zkušeností a dosáhl originálních výsledků v oblasti technologie povrchových úprav substrátů optických prvků před depozicí tenkých vrstev, která je jedním z faktorů určujících odolnost a životnost tenkých vrstev zrcadlových systémů. Řadu let své zkušenosti předává studentům UP v Olomouci.

tenkých zrcadel pro detekci čerenkovského záření na urychlovačích částic. I v experimentech z oblasti fyziky vysokých energií jsou tato zrcadla vyhledávanými komponentami pro stavbu detektorů – pracují například na dvou experimentech v laboratoři CERN.

Za redakci Československého časopisu pro fyziku přejme šikovným vědcům týmu Petra Schováňka mnoho dalších významných aplikací jejich zrcadel a další zajímavé vědecké nápady.



Obr. 6 Zrcadlové segmenty pro detektor projektu Pierre Auger v laboratoři. Efekt nechtěného – na snímku je odraz protější zdi laboratoře s plakátem zobrazujícím barvy ve viditelné části optického spektra.

3 J. Řídký, J. Žďárská: Od kolébky až po ELI, Čs. čas. fyz. 70, 228–233 (2020).