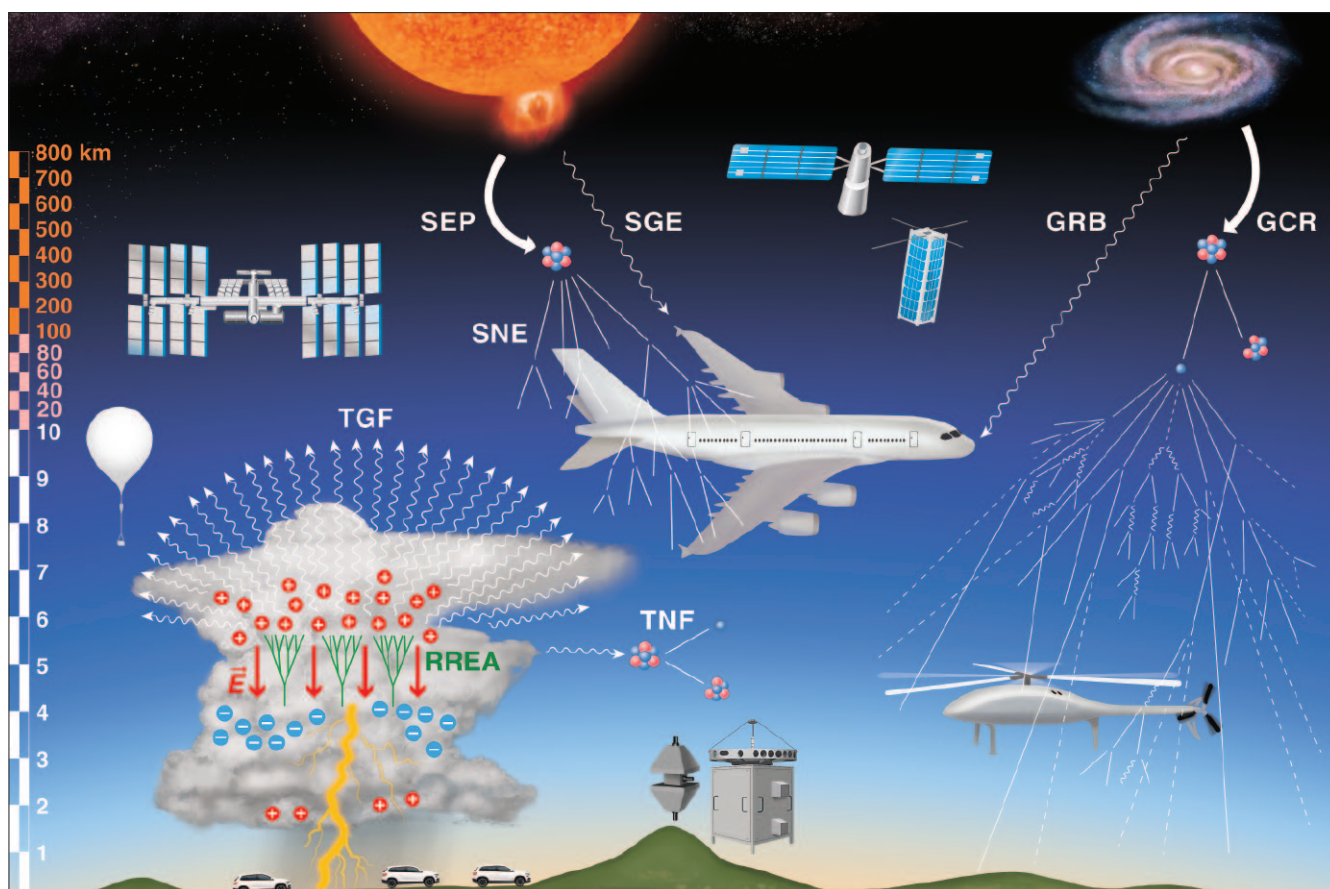


Evropský projekt výzkumu kosmického záření pokračuje

CENTRUM VÝZKUMU KOSMICKÉHO ZÁŘENÍ A RADIAČNÍCH JEVŮ V ATMOSFÉŘE CREAT SE OD PROSINCE 2016 ZABÝVÁ NEZODPOVĚZENÝMI OTÁZKAMI DETEKCE A DOZIMETRIE IONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ JAK KOSMICKÉHO, TAK POZEMSKÉHO PŮVODU: VÝSKYTEM ZÁŘENÍ SPOJENÉHO S BLESKY, UPŘESNĚNÍM PŮVODU BLESKŮ A VZTAHU OBLAČNOSTI K INTENZITĚ KOSMICKÉHO ZÁŘENÍ, VLIVEM IONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ NA KOMUNIKAČNÍ A NAVIGAČNÍ SYSTÉMY I LIDSKÉHO ZDRAVÍ.



Měření radiačních jevů v projektu CREAT

CREAT je mezinárodním projektem, vedeným řežským Ústavem jaderné fyziky Akademie věd ČR - přesněji řečeno pracovníky jeho oddělení dozimetrie záření, sídlícího na pražské Bulovce - s partnerskými týmy z Ústavu fyziky atmosféry AV ČR a Fakulty elektrotechnické ČVUT v Praze. Projekt tak sdružuje odborníky na dozimetrii ionizujícího záření, ionizační jevy v atmosféře a nízkoenergetické kosmické záření, atmosférické fyziky, meteorology i odborníky na zpracování signálů, telemetrii a satelitní navigaci. CREAT je podpořen Evropskými strukturálními a investičními fondy prostřednictvím Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy ČR. Projekt se zaměřuje na sledování a měření zmíněných jevů v různých nadmořských výškách, na zemi, v atmosféře i na oběžné dráze pomocí družic, leta-

- SEP** (Solar Energetic Particles): energetické částice ze Slunce
- SGE** (Solar Gamma Ray Events): projevy gama záření ze Slunce
- SNE** (Solar Neutron Events): projevy neutronů ze Slunce
- GRB** (Gamma Ray Bursts): záblesky zdrojů záření gama
- GCR** (Galactic Cosmic Rays): galaktické kosmické záření
- TGF** (Terrestrial Gamma-Ray Flashes): záblesky gama záření v pozemské atmosféře
- TNF** (Terrestrial Neutron Flashes): záblesky neutronového záření v pozemské atmosféře
- RREA** (Relativistic Runaway Electron Avalanches): laviny únikových relativistických elektronů

del, bezpilotních prostředků (stratosférických meteorologických balonů a dronů, včetně bezpilotního vrtulníku, na kterém začíná měřit letos), speciálně vybavených automobilů i pozemních stanic na vrcholech hor. Výsledky projektu přispějí ke zlepšení přesnosti dozimetrie nejen posádek kosmických lodí, ale i posádek a cestujících dopravních letadel

a následně bezpečnosti letecké dopravy, spolehlivosti globálních navigačních systémů, modelů takzvaného kosmického počasí, modelů šíření signálů v atmosféře a hlubšímu pochopení radiačních atmosférických jevů. Zároveň umožní řešit radiační bezpečnost supersonických dopravních letadel nových generací a jejich odolnost vůči bleskům.

Pozemní měření

Na vrcholu Milešovky, tedy v jednom z míst s největším výskytem bouřek u nás, byl uveden do provozu arménský částicový detektor SEVAN a s přispěním arménských spolupracovníků projektu CRREAT byl loni propojen do mezinárodní sítě ADEI (Advanced Data Extraction Infrastructure), webového systému pro správu časových řad. SEVAN zachycuje částice kosmického záření i jimi při reakcích uvolněné fotony (záření gama). Další SEVAN, instalovaný v observatoři na slovenském Lomnickém štítě, je v rámci projektu CRREAT využíván rovněž.

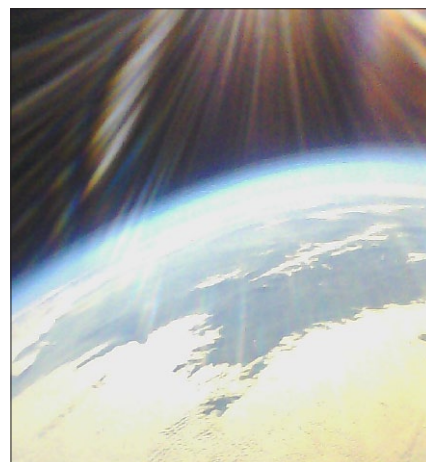
V observatořích na Lomnickém štítě, Milešovce a Poledníku nepřetržitě měří kosmické záření tři gama spektrometry RT-51 s krystalem NaI (TI). Další RT-51 byly odeslány do japonské Kanazawy, aby tam měřily procesy při zimních bouřkách, uvažuje se rovněž o francouzské Korsice. Gama spektrometry typu GROWTH jsou připraveny k umístění na vysokohorské observatoře na Musale v Bulharsku, Zugspitze v Německu a Jungfrauoch ve Švýcarsku.

Elektromagnetické signály při bouřkách jsou na Milešovce zkoumány i širokopásmovými anténami SLAVIA (Shielded Loop Antenna with Versatile Integrated Amplifier), nainstalované již zmíněným Ústavem fy-



Vypouštění jednoho z balonů Fík, vpravo fotografie z balonu Fík1 ze stratosféry, z výšky zhruba 30 km nad Zemí

příliš nebezpečné pro pilotovaná letadla a zároveň příliš daleko od země pro pozemní přístroje. CRREAT proto již koncem roku 2018 zakoupil elektrický bezpilotní dvoumotorový vrtulník Velos s dvoumetrovým průměrem nosného rotoru, jenž může létat za silného větru (a v budoucnu po úpravách zřejmě i za silného deště). Je schopen až hodinové-



K měření i výcviku pilotů bezpilotního vrtulníku Velos slouží také dron DJI F450

ziky atmosféry. Ten tam loni na podzim nainstaloval rovněž meteorologický radar X-band, jehož data poskytnou projektu CRREAT prostorovou a vertikální strukturu bouřek i jejich pohyb a vývoj až do 60 km od Milešovky. Na hoře najdete i přístroje, jako jsou mrakoměr či disdrometr (k měření deště a krupobíť). Další dvojice antén SLAVIA byla loni instalována na observatořích Ústavu fyziky atmosféry v Dlouhé Louce a Kopistech i na střední škole v Krupce. Spolu s anténami na Milešovce vytvoří čtyřúhelník o délce strany 11-22 km, která umožní již letos v létě lokalizaci jevů probíhajících v bouřkových oblacích během bleskových výbojů. Čtyři antény SLAVIA pro projekt CRREAT byly nainstalovány rovněž v zahraničí. Pokračují rovněž analýzy složení hydrometeorů v bouřkových oblacích pomocí oblačného radaru. Naopak na Fakultě elektrotechnické ČVUT byl vyvinut VHF interferometr pro studium procesů tvorby blesků v mracích, který během bouřkové sezóny zaznamenal kolem stovky událostí tohoto typu ročně. Rovněž byla rozšířena laboratoř environmentální elektrotechniky o generátor bleskového proudu, sloužící ke kalibraci detektorů blesku, studium radiace generované bleskovým výbojem a provádění testů souvisejících s elektromagnetickou kompatibilitou.

Automobily a drony

Protože se bouřky nepřeznou vždy tam, kde je nastalo umístění měřicí aparatury, tým CRREAT je stíhá i třemi automobily vybavenými speciálními přístroji. Měření ve spodní části bouřkových mračen je

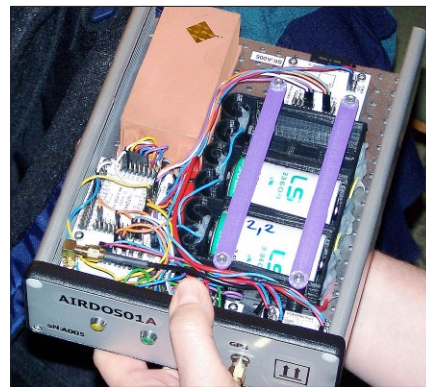
ho provozu a dopravy jednoho kilogramu přístrojů do čtyřkilometrové výšky. Od roku 2019 proto probíhá výcvik pilotů Velosu i dronu DJI F450, který má CRREAT rovněž k dispozici pro měření. V České republice jsou však lety dronů i bezpilotních vrtulníků ve výškách nad 300 m přípustné pouze v letištních zónách (ATZ/CTR) nebo vymezeném vojenském vzdušném prostoru, o jejichž využití projekt CRREAT jedná s Úřadem pro civilní letectví a Armádou České republiky. Mezi přístroji, jejichž vynesení vrtulníkem připadá v úvahu, jsou iontometr (Gerdiénova trubice), gama spektrometr založený na scintilátoru a detektor neutronů/nabitých částic.

CRREAT nyní rozšiřuje typ detekovaného záření zlepšením účinnosti detekce neutronů a vysokoenetického gama záření vývojem nových detektorů. Příkladem jsou detektory PiTED na bázi plastového scintilátoru EJ-276 společnosti Eljen Technology a Airdos-C se scintilačním anorganickým krystalem. Hlavní výhodou nového detektoru PiTED je jeho citlivost na neutrony a schopnost rozlišování mezi zářením s nízkým a vysokým lineárním přenosem energie (tedy například fotony a neutrony). Obě vlastnosti jsou důležité pro výpočet dávkového ekvivalentu ve smíšených radiačních polích, zejména na palubě letadel, kde k němu výrazně přispívají již zmíněné neutrony.

Na palubách letadel a v gondolách balonů

Ve spolupráci s Českými aeroliniemi a společností SmartWings probíhají dlouhodobá měření detek-

tory Liulin a Airdos při běžném provozu dopravních letadel. Počet letů byl ale v posledním roce těžce postižen koronavirovou pandemií. Specialitou jsou pak výzkumné lety REFLECT na palubě menšího obchodního letadla společnosti ABS Jets typu Embraer Legacy. První z nich, do té doby světově nejrozsáhlejší experiment svého druhu, proběhl koncem roku 2017 a srovnával v letové hladině zhruba 12 km nad zemí několik desítek metod a přístrojů s celkovou hmotností kolem 250 kg, používaných k měření kosmického záření. Výsledky experimentu, na němž se podíleli vědci z členských organizací sdružení EURADOS (European Radiation Dosimetry Group) devíti zemí, slouží k vývoji přesnějšího standardizovaného dozimetru, určeného na paluby komerčních letadel. Druhý, loňský let se zaměřil na měření neutronové složky radiačního pole takzvanými bublinovými detektory, zařízeními TEPC Hawk a Pandora, a rovněž na srovnávací analýzu s daty z projektu openradiation.org: jde o původně francouzský projekt monitoringu radiace v životním prostředí se zapojením veřejnosti, dnes již s mezinárodním dosahem. Spolupráce projektu CRREAT s aktivisty „občanské“ (otevřené) vědy ale probíhá i u balonových letů, účinně se do ní také zapojili žáci základních škol z Letohradu a Žamberku. Lety meteorologických balonů Fík s experimentálním vybavením do stratosféry pokračovaly loni Fíkem 6, zdokonaleny byly



Dozimetr AIRDOS určený k měření na palubách letadel

také aplikace IoT pro sledování stratosférických balonů. Série balonových experimentů umožnila měřit výškový profil radiačního záření až do výšky 30 km, studovat dostupnost rádiových sítí IoT a vykonávat další atmosférické experimenty.



Část výbavy projektu CRREAT na Milešovce včetně antény SLAVIA

Kosmické aktivity

Zatímco dříve používalo oddělení dozimetrie záření Ústavu jaderné fyziky zejména pasivní detektory, projekt CRREAT mu umožnil začít ve větší míře pracovat i s aktivními detektory, zaznamenávajícími i časový průběh událostí. Jedním z cílů je i přizpůsobení současných detekčních technologií vesmírným aplikacím, tedy provozu v mimořádně náročném prostředí či při omezeném napájení.

Jedno z vyvinutých zařízení, detektor SpaceDOS, je určeno k detekci částic kosmického záření a odhadu obdržené radiační dávky na palubách satelitů. Navazuje na bulharskou technologii původně používanou na kosmické stanici Mir, kterou vědci z oddělení dozi-



Bezpilotní Velos je schopen provozu ve výšce až 4 km

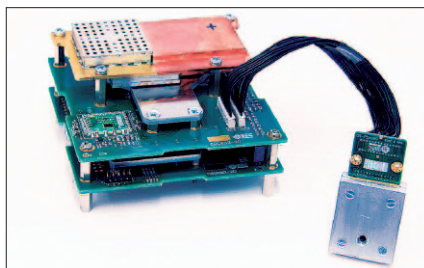
metrie záření pro svou činnost využívali a zdokonalili. V roce 2019 putoval jeden ze SpaceDOSů do vesmíru na nanosatellitu Sokrat-R. Příjem dat z něj byl prvním úkolem nového radioteleskopu Talír 01, uvedeného do provozu loni v září na Svákovské hvězdárně u Soběslavi, přičemž dozimetr byl také představen v části Vesmírné výstavy (Cosmos Discovery), věnované českému kosmickému programu, na Výstavišti v pražských Holešovicích. V projektu CRREAT byla v loňském roce analyzována ve srovnání s pasivními detektory data měření dozimetrem SpaceDOS na palubě Mezinárodní kosmické stanice ISS od září 2019 do února 2020. V příštích letech jsou v projektu CRREAT plánovány lety dalších detektorů na ISS.

Pro návratový satelit BION-M2 vyvíjí Ústav jaderné fyziky v rámci projektu CRREAT přístroje schopné měřit časově rozlišená spektra lineárního přenosu energie (LPE), absorbovanou dávku a ekvivalenty přijaté dávky během mise na podporu palubních biologických experimentů. V první polovině letoš-

ního roku pak byla dokončena montáž LPE spektrometru, který byl v červnu otestován na již zmíněném japonském urychlovači HIMAC.

Experiment Matroshka III (MTR-III), na němž spolupracují vědci z oddělení dozimetrie záření Ústavu jaderné fyziky, má být zahájen letos. Cílem MTR-III je rozšířit měření experimentů MTR-1 a 2 na palubě kosmické stanice ISS. Experiment probíhá na fantomu lidského těla, vybaveném detektory ionizujícího záření. Ústav jaderné fyziky odpovídá za pasivní detektory (termoluminiscenční detektory a detektory s leptáním) a dva aktivní pixelové detektory Minipix. Mezi loňské hlavní aktivity patřilo i zpracování a analýzy provozu simultánního měření GPS přijímače a dozimetru s křemíkovou diodou na nestabilizovaném satelitu CubeSat Lucky-7, výsledky byly porovnány s měřeními velkých vesmírných misí využívajících profesionální detektory i s radiačními modely NASA a ESA. Kosmické experimenty umožňují týmu CRREAT lépe porozumět radiační ochraně elektroniky pikosatelitů založené na součástkách COTS a společně s laboratorními testy odhadnout její životnost.

Na dalším kosmickém experimentu spolupracují v rámci projektu CRREAT vědci z Ústavu fyziky atmosféry, kteří vyvinuli širokopásmový vysokofrekvenční analyzátor IME-HF (Instrument de Mesure du champ Electrique Haute Frequency) pro mikrosatelit TARANIS (Tool for Analysis of RAdiation from lightNing and Sprites) francouzské vesmírné agentury CNES. Satelit měla loni v listopadu vynést raketa Vega na synchronní polární oběžnou dráhu



Česká část aparatury družice Sokrat-R: nahoře vzduchový detektor SpaceDOS

do výšky 700 km nad Zemí. Sonda TARANIS nesla šest vědeckých přístrojů určených ke studiu elektromagnetického záření od velmi nízkých frekvencí až do 37 MHz, optického záření, rentgenových paprsků (s cílem studovat gama záblesky v atmosféře Země) a energetických elektronů. Bohužel se družice TARANIS po selhání posledního stupně rakety VEGA nedostala na svou oběžnou dráhu.

Vývoj a testování detektorů záření

Jak jsme již uvedli, důležitou součástí projektu CRREAT je aplikace a vývoj detektorů záření. Detektory jsou kalibrovány na urychlovačích částic, jako jsou těžký cyklotron U-120M nebo urychlovač těžkých iontů HIMAC v Japonsku. Některé jevy, jako jsou vybrané fáze blesků, lze dobře studovat i na umělých generátorech vysokonapěťových a silnoproudých impulsů, které tak mohou sloužit jako testovací prostředí pro vývoj a kalibraci detektorů pro krátkodobé radiační události tohoto typu. Loni takto byly na generátoru pražského ČVUT s maximální hodnotou až 250 kA při 100 kV pro generování přímého i nepřímého bleskového proudu a na vysokonapěťovém generátoru brněnského VUT použity



Cloud profiler měří srážkové oblaky na Milešovce

jak pasivní termoluminiscenční (TLD) a bublinové detektory, tak aktivní detektor Airdos. Při některých výbojích byla zjištěna přítomnost neutronů.

Hlavní odpovědi jsou před námi

Projekt své aktivity pravidelně diskutuje s mezinárodní vědeckou komunitou v rámci sdružení EURADOS, přesněji jeho pracovní skupiny WG11 Pole vysokoenergetického záření. Mnohé z již zmíněných aktivit probíhají právě ve spolupráci s ní: postupná instalace gama spektrometrů CRREAT na vysokohorských observatořích, srovnávací měření kosmického záření na palubách letadel či v generátorech vysokonapěťových a silnoproudých elektrických impulsů. Může tedy za blesky ionizace vzduchu vyvolaná vysokoenergetickými částicemi přilétajícími z vesmíru? Jak vysokou dávku záření může člověk dostat na zemi nebo v letadle během bouřky? Konečnou odpověď na tyto a další otázky sice ještě nemáme, díky projektu CRREAT jsme se jim ale v uplynulých letech zase o něco přiblížili. ■