

Gama astronomie

Jana Žďárská

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

Gama astronomie se zabývá studiem gama záření z vesmíru, které má vlnové délky zhruba statisíkrát menší než viditelné světlo a vzniká v extrémních prostředích vesmíru, například v okolí černých děr. Zemská atmosféra je navíc pro gama fotony neprůhledná. O tom, jakým způsobem lze gama záření pozorovat, jsme hovořili s Mgr. Ing. Jakubem Juryškem, Ph.D., z Fyzikálního ústavu AV ČR.

Gama astronomie staví na výsledcích široké škály dalších vědních oborů. Gama fotony ve vesmíru vznikají při interakcích částic, urychlených na velmi vysoké energie, s okolní hmotou či s magnetickými poli. „Částicová fyzika nám říká, jak přesně k těmto interakcím dochází a jaké další částice jsou při nich produkovány. Astrofyzika pak tyto elementární obrázky skládá do širších celků a umožňuje nám pochopit, jak přesně vypadají ony astrofyzikální objekty, které gama záření vyzařují – například okolí černých děr či rázové vlny v okolí supernov. Astronomie se potom zabývá observačními aspekty a metodami zpracování dat, které je ovšem také provázáno s astroinformatikou,“ vysvětluje Jakub Juryšek. „Ta nám dává nástroje pro správu velkých datových objemů, které na denní bázi produkují všechny velké observatoře. Role částicové fyziky je zároveň důležitá při vývoji detekčních metod pro gama astronomii, protože jak částicové detektory v urychlovačích či velké experimenty na detekci částic kosmického záření, tak také experimenty detekující kosmické gama fotony využívají podobné detekční techniky.

Pozorováním kosmických objektů v gama oboru vědci usilovně pátrají po odpovědích na mnoho klíčových astrofyzikálních otázek. „Já konkrétně bych rád přispěl k objasnění jednoho z největších otazníků astročásticové fyziky, kterým je bezpochyby původ galaktického kosmického záření, jež je tvořeno zejména protony urychlenými na velmi vysoké energie,“ připomíná Jakub Juryšek.

Těmito částicemi je naše Galaxie doslova prostoupena a v každém okamžiku bombardují naši planetu ze všech různých směrů. Trajektorie těchto nabitých



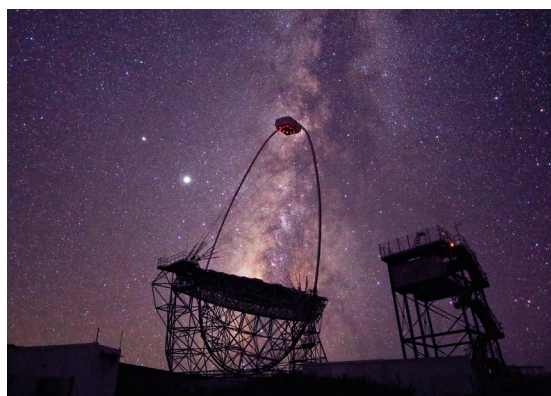
Obr. 2 Dalekohled LST-1 s meteorem v pozadí. Foto: Tomohiro Inada

částic se stáčí v magnetických polích Galaxie, a proto není snadné určit, odkud k nám přesně přiletěly. Emise gama fotonů a mechanismy urychlování nabitých částic jsou spolu úzce provázány. Proto vědci studiem astrofyzikálních procesů vyzařujících gama fotony, které na rozdíl od nabitých částic nejsou ovlivněny magnetickým polem, mohou nalézt právě potenciální zdroje nabitých částic kosmického záření. Pro tento účel jsou nejzajímavější fotony těch nejvyšších energií nad 100 TeV, jejichž detekce má svá zajímavá specifika.

Na rozdíl od fotonů viditelného světla, které je na Zemi možné pozorovat klasickými dalekohledy, fotony záření gama se až k zemskému povrchu většinou nedostanou a jsou absorbovány zemskou atmosférou. Jednou z možností, jak je tedy detekovat, je vypuštění satelitu na oběžnou dráhu Země mimo naši atmosféru.

V současné době je v provozu jednak družice Swift, nesoucí experiment BAT, který slouží ke včasné detekci záblesků gama a následnému informování dalších observatoří pro nalezení protějšků na ostatních vlnových délkách. Další významnou družicí je Fermi, která nese gama dalekohled LAT, jenž skenuje celou oblohu v přehlídkovém režimu. „S družicemi si vystačíme pro pozorování gama fotonů zhruba do 100 GeV. Na vyšších energiích je tok gama fotonů pro typické astrofyzikální zdroje příliš nízký a detekční objem družic je příliš malý na to, abychom byli schopni nasbírat dostatečnou statistiku v rozumně krátkém čase,“ dodává Jakub Juryšek.

A právě proto přicházejí na pomoc metody pozemní detekce, jimiž se zabývá oddělení astročásticové fyziky na Fyzikálním ústavu AV ČR. K pozorování gama fotonů s energiemi nad několik desítek GeV jsou v rámci



Obr. 1 Dalekohled LST-1 v průběhu pozorování s Mléčnou dráhou v pozadí. Foto: Moritz Huetten



Obr. 3 Umělecká představa budoucího pole dalekohledů LST na observatoři CTAO. Kredit CTA Consortium, Akihiro Ikeshita, Mero-TSK, International

tohoto výzkumu využívány velké pozemské observatoře. Gama fotony sice neproniknou zemskou atmosférou, ale při jejich interakcích s jádry atomů vysoko v atmosféře vzniká mnoho sekundárních elektronů a pozitronů a také fotonů s vlnovými délkami v oblasti viditelného světla. Vznikají takzvané „spršky“ sekundárních částic. Tyto částice a fotony jsou již schopny proniknout hluboko do atmosféry až k nám na Zemi, kde je lze zachytit pomocí vodních částicových detektorů nebo dalekohledů. „Tyto speciální dalekohledy skutečně nepozorují přímo zdroje záření, tak jak jsme zvyklí například z optické astronomie, ale záření generované sekundárními částicemi v atmosféře. Jedná se o tzv. Čerenkovovo záření, vznikající při pohybu nabitě částice daným médiem rychlostí vyšší, než je rychlost světla v tomto médiu, a proto těmto přístrojům říkáme čerenkovské dalekohledy,“ doplňuje Jakub Juryšek.

Tyto dalekohledy se obvykle staví ve vyšších nadmořských výškách kolem 2 500 m n. m. především kvůli lepším atmosférickým podmínkám a vysokému počtu jasných nocí. Další možností je zachytit nabitě sekundární částice v částicových detektorech, jimiž se typicky pokryje velká plocha o rozloze až několika kilometrů čtverečních. Tyto detektory je však nutné umístit ještě výše, a proto se nacházejí na náhorních planinách ve výškách až kolem 4 500 m n. m. „Výhodou této detekční metody proti přímé detekci družicovou observatoří je to, že nabitě částice a optické fotony generované každým gama fotonem dopadají na velkou plochu na Zemi. To vede k velké detekční ploše pozemních dalekohledů. Sekundární částice a optické fotony můžeme zkrátka zachytit, i když je osa spršky poměrně daleko od dalekohledu, což nám umožňuje detekovat gama fotony těch nejvyšších energií, jejichž tok je velmi malý. Díky velké detekční ploše jich však můžeme pozorovat dost na to, abychom mohli udělat nějaké fyzikální závěry,“ dodává Jakub Juryšek.

Snímek oblohy v gama oboru je výsledkem složité rekonstrukce, kde se vědci snaží získat informace o primárním gama fotonu ze snímku Čerenkovova záření, generovaného sekundárními částicemi ve spršce. Pro toto snímkování lze využít například tři velké čerenkovské observatoře H.E.S.S., MAGIC a VERITAS, a také velké částicové detektory HAWC a LHAASO. „Na Fyzikálním ústavu se nyní podílíme na přípravě budoucí největší čerenkovské observatoře CTAO (Cherenkov Telescope Array Observatory) a také velkého vodního částicového detektoru SWGO (Southern Wide-field Gamma-ray Observatory),“ připomíná Jakub Juryšek.

Dvojice čerenkovských teleskopů SST-1M funguje také na Astronomickém ústavu AV ČR v Ondřejově. Zde

jsou však umístěny ve výrazně nižší nadmořské výšce vědci Fyzikálního ústavu je provozují společně s kolegy z Univerzity Palackého v Olomouci. Zapojeni jsou též badatelé z Astronomického ústavu AV, matematicko-fyzikální fakulty Univerzity Karlovy a kolegové z polských a švýcarských institucí. „Pro umístění dalekohledů SST-1M jsme vybrali observatoř v Ondřejově jako dobře dostupnou přechodnou stanici, kde můžeme teleskopy otestovat po technické stránce předtím, než je přesuneme na finální lokalitu. Nečekali jsme od toho příliš mnoho, ale poměrně brzy se ukázalo, že i přes nepříliš vhodné počasí je nízká nadmořská výška velmi výhodná pro detekci gama fotonů těch nejvyšších energií,“ objasňuje Jakub Juryšek. „Naše výpočty ukázaly, že na energiích větších než cca 50 TeV zde v současné době provozujeme nejcitlivější čerenkovské teleskopy na světě a již nyní se nám podařilo shromáždit řadu zajímavých fyzikálních výsledků, které budeme brzy publikovat v odborných časopisech.“

Jedním z moderních čerenkovských teleskopů je takzvaný Large-Sized Telescope, označovaný také jako LST-1. Jde o první funkční dalekohled budoucí observatoře CTAO, který se nachází na kanárském ostrově La Palma v nadmořské výšce 2 200 m n. m. „Než se LST-1 stane součástí observatoře CTAO, pracuje na ostrově stále v testovacím režimu, a abychom se ujistili, že vše pracuje správně, musíme být přítomni přímo na místě. Proto se na La Palmě s ostatními astronomy střídáme ve třítydenních směnách, během kterých můžeme ve volných chvílích obdivovat i krásy tohoto fascinujícího sopečného ostrova. Za sebe musím říct, že tak krásné západy a východy slunce jako z Roque de Los Muchachos, což je vrchol kaldery, blízko jejíhož okraje dalekohled stojí, jsem nikde jinde neviděl,“ doplňuje Jakub Juryšek.

Přestože je dalekohled zatím pouze v testovacím provozu a jeho citlivost je v současnosti poměrně malá – ve srovnání s plným výkonem budoucí CTAO –, už teď konkuruje stávajícím čerenkovským observatořím. „Již nyní se nám daří produkovat vynikající vědecké výsledky. Jde například o pozorování historicky nejjasnějšího gama záblesku GRB 221009A či objev emise nejvzdálenější aktivní galaxie OP 313, která je 8 miliard světelných let daleko od Země, na velmi vysokých energiích,“ připomíná Jakub Juryšek.

Budoucí observatoř CTAO představuje další vývojový krok ve zkoumání nejextrémnějších zdrojů gama záření ve vesmíru. Bude vědcům pomáhat při odhalování záhad urychlování částic kosmického záření z okolí supermasivních černých děr, a dokonce se pokusí vnést světlo i do otázky původu temné hmoty. Navíc se bude jednat o první čerenkovskou observatoř poskytující část napozorovaných dat otevřené astronomické komunitě.



Obr. 4 Dalekohled SST-1M v Ondřejově s polární září v pozadí. Foto: Jan Štrobl

Mezi kosmické zdroje záření gama lze také zařadit tzv. *gama záblesky*. Jsou to nejenergetičtější jevy ve vesmíru, které si lze jen těžko představit. Během pár sekund se v nich uvolní tolik energie jako v našem Slunci za celou dobu jeho existence. Pozorovány jsou jak krátké gama záblesky, trvající zlomek sekundy, tak i dlouhé, které mohou trvat až jednotky hodin. Protože jsou gama záblesky na obloze rozděleny rovnoměrně, vědci se domnívají, že se jejich původci nacházejí ve velmi velké vzdálenosti, daleko od naší Galaxie. To je pro život na Zemi dobrá zpráva.

Krátké gama záblesky mají nejspíše původ v kolizi dvou neutronových hvězd, které kolem sebe obíhají a tvoří dvojhvězdný systém. Postupně však ztrácejí energii vyzařováním gravitačních vln, až spolu splynou v mohutné explozi. Dlouhé gama záblesky podle nejvíce přijímaných teorií provázejí zánik velmi hmotných hvězd a jsou průvodním jevem supernov. Přesným procesům, které vedou ke generování energetického gama záření, však stále nerozumíme.

Gama záblesky byly objeveny v šedesátých letech minulého století ve velmi napjaté atmosféře tzv. studené války. Američané tehdy vypustili na oběžnou dráhu družicový systém Vela, který měl být schopen detekovat charakteristické pulzy gama záření, jež vznikají při nukleárním výbuchu. Satelity sloužily k monitorování toho, zda Sověti dodržují dohodu o částečném zákazu jaderných zkoušek, podepsanou v roce 1963. Ta zakazovala jakékoli testy jaderných zbraní, kromě podzemních výbuchů. Výzkum gama záření z vesmíru byl v té době v plenkách. Díky prvním experimentům se ale už



Obr. 5 Dalekohled SST-1M v Ondřejově v průběhu pozorování. Foto: Jiří Srba

věděl, že k nám z vesmíru přichází nějaké gama záření, například z některých slunečních erupcí. Přesto krátké intenzivní záblesky pozorované družicemi Vela, které proti očekávání neměly pozemský původ, vědce zaskočily. Původně byla dokonce data vyhodnocena jako instrumentální chyba, a přestože k první detekci došlo již v roce 1967, výsledek byl publikován až v roce 1973, po detekci několika dalších podobných událostí.

„Gama záblesky jsou velmi zajímavé jevy,“ podotýká Jakub Juryšek. „Vznikají při nich výtrysky částic, které jsou urychlené téměř na rychlost světla a do kterých je soustředěna většina energie, a tyto potom vyzařují tvrdé fotony záření gama. Zároveň jsou od nás miliardy světelných let daleko.“ Na Zemi můžeme gama záblesk pozorovat pouze tehdy, pokud jeden z těchto výtrysků míří přímo na nás. I proto je pravděpodobnost, že k tomu dojde v nějaké malé vzdálenosti, poměrně malá. V současné době satelity umístěné na oběžné dráze detekují přibližně jeden gama záblesk každý den. U některých z nich se podaří napozorovat i protějšek na jiných vl-

Mgr. Ing. Jakub Juryšek, Ph.D., se narodil v roce 1989 v Ostravě, kde absolvoval Fakultu elektrotechniky a informatiky Vysoké školy báňské (obor biomedicínské inženýrství, Ing. 2013). Již v průběhu tohoto studia začal studovat na Filozoficko-přírodovědecké fakultě Slezské univerzity, obor astrofyzika (Bc. 2014), a dále pokračoval v navazujícím magisterském studiu na Matematicko-fyzikální fakultě Univerzity Karlovy (obor astronomie a astrofyzika, Mgr. 2016), kde dále pokračoval v doktorském studiu (obor teoretická fyzika a astrofyzika, Ph.D. 2020). Disertační práci na téma „*The observations of gamma ray sources and calibration of the Cherenkov Telescope Array Observatory*“, kterou vypracoval na Fyzikálním ústavu Akademie věd České republiky, obhájil v roce 2020.

Mezinárodní zkušenost získal v letech 2020–22, kdy pracoval na Ženevské univerzitě na vývoji nových metod zpracování dat z dalekohledu The Large-Sized Telescope. Po návratu do České republiky začal pracovat na Fyzikálním ústavu Akademie věd České republiky, kde od roku 2024 vede výzkumnou skupinu zabývající se studiem vysokoenergetického gama záření z vesmíru. Je členem několika mezinárodních vědeckých kolaborací – Cherenkov Telescope Array Consortium, The Southern Wide-field Gamma-ray Observatory, Large-Sized Telescope Collaboration, Single-Mirror Small-Size Telescope Collaboration. Ve dvou posledně jmenovaných také v posledních letech vede pracovní skupiny galaktické fyziky a analýzy dat. Věnuje se i popularizačním přednáškám pro veřejnost, učí na Univerzitě Palackého v Olomouci a úspěšně vedl studentské a absolventské práce řady studentů. Od roku 2011 pravidelně jezdí na Astronomickou expedici, kde přednáší kurz základů astronomie, a mezi lety 2014–20 vedl skupinu CCD astronomie. Je členem Mezinárodní astronomické unie a České astronomické společnosti, kde mezi lety 2018–22 působil ve výkonném výboru Sekce proměnných hvězd a exoplanet.

Jakub Juryšek se zabývá výzkumem zdrojů vysokoenergetického záření gama ve vesmíru, a to jak modelováním fyzikálních mechanismů vyzařování, tak praktickými aspekty pozorování a zpracování dat s využitím metod umělé inteligence a vývojem komplexních softwarů. Je autorem či spoluautorem řady vědeckých prací, publikovaných v renomovaných mezinárodních časopisech.

S manželkou Aizou žijí v Kralupech nad Vltavou.

nových délkách pomocí pozemských dalekohledů. Ty jsou totiž ve velmi krátké době po družicové detekci schopny se nasměrovat do požadovaného směru. Díky těmto pozorováním dnes již máme poměrně dobrou představu o původu těchto jevů.

„Pokud by k tomuto jevu došlo v naší Galaxii a výtrysk nabitých částic by byl namířený na Zemi, pravděpodobně by to mělo katastrofické následky pro zdejší život. Dokonce existuje hypotéza, že jedno z velkých vymírání na konci ordoviku před 440 miliony lety má na svědomí právě takový gama záblesk, který byl zřejmě průvodním jevem zániku některé hmotné hvězdy v naší Galaxii,“ dodává Jakub Juryšek. „Taková událost by významně poškodila vrstvu ozonu v naší atmosféře, což by vystavilo organismy na Zemi extrémním dávkám UV záření, a mohlo by následně vést k vyhynutí většiny života na Zemi. Ale myslím, že můžeme čtenáře uklidnit zopakováním, že pravděpodobnost, že k něčemu takovému dojde v dohledné době, je opravdu mizivá. Dokonce se zdá, že ani nejbližší hvězdní sousedé Sluneční soustavy nemají potenciál při svém zániku v budoucnosti vytvořit takto energetický gama záblesk.“

Za redakci Československého časopisu pro fyziku přejeme vědcům Fyzikálního ústavu, aby se jim úspěšně podařilo odhalit další nejasnosti provázející gama záření, pocházející z vesmíru.

