

Kosmické záření a jeho detekce stanicí CZELTA

J. Slabý

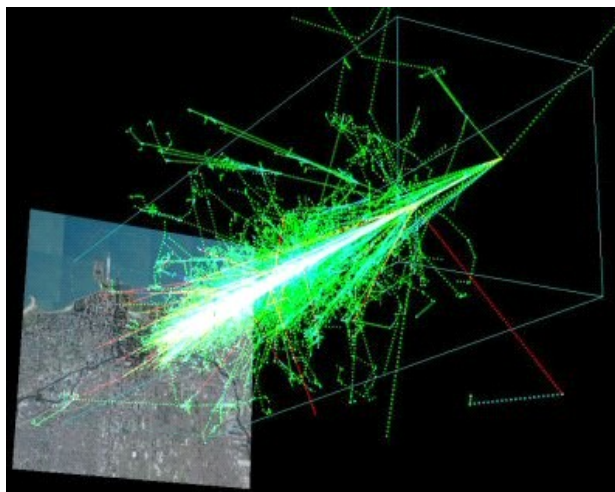
Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská, Břehová 7, 115 19 Praha 1
slabyji2@fjfi.cvut.cz

Abstrakt

Projektů na detekci kosmického záření je ve světě mnoho, přímo v Česku však jediný – projekt CZELTA. První výsledky potvrzují izotropii kosmického záření energií nad 10^{14} eV, shledávají pravdivou také myšlenku, že atmosférické podmínky ovlivňují průchod spršek k zemskému povrchu. Také byly zaznamenány zajímavé události a směry k možným zdrojům vysokoenergetického kosmického záření.

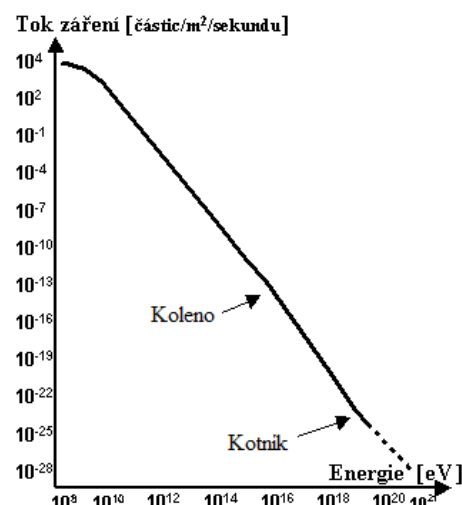
1 Kosmické záření

Planeta Země je doslova bombardována částicemi vesmírného původu. Tento objev se datuje k počátku 20. století a je spojen s bádáním po vysvětlení jevu, proč i ve velmi dobře stíněných ionizačních komorách dochází k samovolnému vybíjení. Otázku objasnily až balónové lety rakouského fyzika Victora Franze Hesse v roce 1912, který zjistil, že se zvyšující se nadmořskou výškou se od určité výšky vybíjení elektroskopu urychluje, takže částice nemají zemský původ. Zajímavostí může být, že Hess vzlétal i z okolí Ústí nad Labem.



Obr. 1 Modelace sekundární spršky [1]

Kosmické záření (KZ) není zářením v pravém slova smyslu. Jedná se o jednotlivé částice, které putují vesmírem téměř rychlostí světla. Nejvíce se jedná o protony 88 %, dále jádra helia 9 %, těžší jádra 1 %, elektrony a pozitrony 1 %, nepatrně fotonů. Když toto tzv. primární KZ dorazí do zemské atmosféry, interaguje prvně zhruba ve výšce 30 km s částicemi plynů a vznikají sekundární spršky částic. Mimo jiné tu vzniká radioaktivní ^{14}C , který se používá k dataci odumření u živých organismů. Sprškou míníme relativistické částice uspořádané v rovině, můžeme si je představit jako pomalu se rozšiřující lánec pohybující se téměř rychlostí světla k zemskému povrchu. Velikost kužele spršky je závislá na energii primární částice. U částic 10^{14} eV se jedná o kužel s průměrem podstavy 10 m, pokud se obrátíme na extrémně vysokoenergetické částice (10^{20} eV) může být průměr až jednotky kilometrů. Objev spršek je spojen se jménem Pierra Augera. Ze složení sekundárních spršek lze také zjistit, jaká byla primární částice. Byl-li primární částicí foton, tak bude sprška obsahovat elektrony, pozitrony a fotony γ záření. Pokud primární částicí bylo nějaké jádro, bude navíc obsahovat i miony, neutrina a hadrony (tj. protony,



Obr. 2 Energetické spektrum KZ [2]

neutrony a piony). Tyto částice jsou ionizující a přispívají tak k přirozenému radioaktivnímu pozadí, které působí na náš organismus.

Proč je kosmické záření aktuálním a zajímavým fyzikálním tématem? Ne všechny procesy spojené se vznikem KZ byly objasněny, a tak se dostáváme na samotnou hranici lidského poznání. Nejneprozkoumanější je část týkající se částic vysokých příp. extrémně vysokých energií. Míjíme tím částice i přes 10^{20} eV, kde už se s energií dostáváme do oblasti jednotek joulů, tzn. mikroskopická částice má makroskopickou energii! Jedna z nejenergičtěších částic byla registrována observatoří Fly's eye v roce 1991 a to $3 \cdot 10^{20}$ eV, což odpovídá 50 J neboli tenisovému míčku letícímu rychlostí 80 km/h. Ale i přes tento výsledek zatím nebyl dostatek naměřených dat. Nyní jsou již projekty, které tento fakt mohou změnit (např. Pierre Auger Observatory v Argentině). Nutné je také říci, že člověk dokáže vytvářet částice s energiemi podstatně nižšími, např. v současné době na urychlovači LHC v evropské laboratoři CERN by měly mít energii někde kolem 10^{14} eV.

Zdrojem KZ je i Slunce, nazýváme ho sluneční vítr, jedná se o částice energií do 10^{10} eV. Toto záření je ale „odstíněno“ magnetickým polem Země a zachycuje se v tzv. Van Allenových pásech. Supernovy také poskytují energetické částice a to řádově do 10^{15} eV. Pokud postoupíme o několik řádů výše, lze u energií do 10^{19} eV nalézt částice vzniklé v kvasarech nebo aktivních galaktických jádrech. Můžeme sem zařadit i výtrysky gama záření (gamma ray burst). U částic nad $5 \cdot 10^{19}$ eV mluvíme již o extrémně vysokých energiích. Tyto částice jsou nad tzv. GZK limitem a rychle ztrácejí energii interakcí s fotony reliktního záření, takže v případě pozemské detekce by měly mít zdroj ve vzdálenosti zhruba do 500 Mpc (záleží na přesné energii). U nich je právě otázka vzniku velkou neznámou.

2 Projekt CZELTA

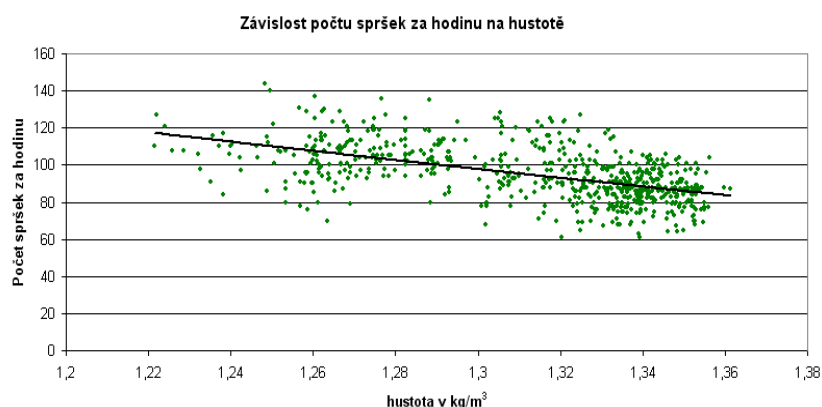
Projekt CZELTA je jediný projekt na detekci sekundárních spršek kosmického záření umístěný v České republice. Jeho zakladatelem je Ústav technické a experimentální fyziky ČVUT v Praze, který v roce 2004 převzal platformu stanic projektů ALTA ze Severní Ameriky. Zkratka CZELTA (CZEch Large-area Time-coincidence Array) znamená ve volném překladu „celorepubliková časově koordinovaná detekční síť“. Kromě vědeckého účelu zapojuje do výzkumu střední školy, a tak se snažit obohatit výuku fyziky, informatiky a dalších předmětů.



Obr. 3 Boxy s detektory

Základ detekční stanice tvoří tři scintilační detektory usazené v rozích trojúhelníku o stranách zhruba 10 m, které mohou detekovat spršky vzniklé z primární částice s energií minimálně 10^{14} eV. Každý detektor je důkladně izolován a uložen v boxu. U každé scintilační desky je fotonásobič, který převádí fotonový záblesk na elektrický impuls. Ke stanici patří i vytápěcí kabel (desky nesmí přemrznout), meteorologická stanice a GPS přijímač. Data jsou svedena do vyhodnocovací elektroniky, která má za úkol vyhodnotit příchod spršky (tj. zásah všech tří detektorů v časovém okně) a převést potřebné údaje o spršce do počítače, který ji zapisuje.

Následné zpracování dat zahrnuje především vyhodnocení směru spršky a přepočtení do různých souřadnicových systémů. Jako první jsme se do toho pustili my na gymnáziu v Pardubicích v Dašické ulici. Nejjednodušší souřadnice jsou obzorníkové – azimut a výška nad obzorem. Ze zpoždění na jednotlivých detektorech není problém pomocí analytické geometrie tyto souřadnice vypočítat. Složitější je to ale se souřadnicemi rovníkovými druhého druhu, tzv. ekvatoreálními, které odstraňují vliv otáčení Země kolem své osy, a tak jsou používány astronomy. Nazývají se deklinace (δ) a rektascenze (α) a k jejich vypočítání potřebujeme i algoritmus na získání juliánského data a místního hvězdného času. Tyto náročnější výpočty obsahující množství konstant jsme samozřejmě museli ověřit z různých zdrojů a postupně odladit všechny skryté chyby. Dále jsme vyvíjeli různá zobrazení plochy na kouli do roviny. Z prvních výsledků se zdá, že dlouhodobá směrová izotropie příchodu spršek KZ není ničím narušena.



Obr. 4 Závislost počtu spršek za hodinu na hustotě atmosféry

Pro dlouhodobé sledování počtu spršek by bylo dobré odstranit vliv stavu atmosféry na měření. Hodnoty tlaku a teploty vzduchu pro výpočet poskytne meteorologická stanice. Z těchto údajů zjistíme hustotu vzduchu, která by přímo měla ovlivnit průchod spršek atmosférou: hustější atmosféra vede k rychlejší ztrátě energie a „vymření“ spršky před za-

sažením detektoru. Námi získaná data tento trend potvrzují.

Když už byla řeč o otaznících týkajících se zdrojů, je samozřejmé, že jsme se pokoušeli o detailní analýzu dat a hledání možných směrů, kde by se mohly tyto zdroje nacházet. Jedna možnost je hledání clusterů, což je neobvykle zvýšený počet spršek v krátkém čase. Můžeme pak lehce zjistit, zda nepřišly z míst na obloze blízkých. Podařilo se nám zachytit a analyzovat zajímavou trojici spršek, které jsme detekovaly v patnácti vteřinách. Jejich vzdálenost je nejvíce $8,2^\circ$. Vezmeme-li v úvahu, že z celé oblohy (!) přijde zhruba jedna sprška za minutu (!), je tato událost velmi neobvyklá a zajímavá. Poissonovým rozdělením pravděpodobnosti získáme pro tento cluster hodnotu náhodného příchodu $5 \cdot 10^{-8}$, je tedy velmi nepravděpodobný. Pokud ho zobrazíme na hvězdnou oblohu, obkloží otevřenou hvězdokupu M-52 v souhvězdí Kasiopeja.

Druhý způsob, který jsme použili, je korelace s daty z družic detekujících primární KZ v oblasti gama záblesků (GRB) na oběžné dráze Země. Gama fotony nejsou vychylovány magnetickými poli, a tak jsou pro vědce ideální, protože v sobě stále nesou informaci o jejich zdroji. Družicová data lze snadno získat na internetu. Z Možnou souvislost jsme našli v jednom případě. Jedná se o GRB 070714A detekovaný družicí Swift. Tento záblesk měl energii v řádech 10^4 eV a trvání 4 s. My jsme zaznamenali spršku 94 vteřin po záblesku zaznamenaném na oběžné dráze. Družice by ovšem nedokázala tak energetickou spršku zaregistrovat. Můžeme tak nastolit otázku, zda mohla částice 10^4 eV doprovázet i ener-



Obr. 5 GRB 070714A a sprška CZELTA

getičtější částice o energii 10^{14} eV či více, která by vyvolala spršku detekovanou naší stanicí. Úhlová vzdálenost mezi těmito body na obloze je $6,2^\circ$.

3 Závěrem

Projekt CZELTA je velmi zajímavým počinem, díky němuž se může student střední školy podílet na reálném výzkumu, řešit opravdové vědecké problémy a setkat se se zajímavými osobnostmi. Jako příklad bych uvedl setkání a přednášku s panem Jiřím Grygarem, který se podílí na projektu Pierre Auger Observatory v Argentině, kde sledují spršky extrémně vysokých energií, tedy právě v oblasti, kde je nejméně zaznamenaných dat.

Kosmické záření je z hlediska budoucího přežití lidstva nezbytnou vědní odnoží. Bez znalostí jeho vlastností a možných zdrojů je téměř nemožné se mu co nejvíce vyhnout či před ním vybudovat účinnou ochranu a dlouhodobě cestovat vesmírem ať už na Mars nebo ve chvíli, kdy naše Slunce začne žhnout tak silně, že život na Zemi bude nemyslitelný.

Podrobnější informace o projektu naleznete ve vítězné práci Středoškolské odborné činnosti 2008 [3].



Obr. 6 Návštěva pana Grygara na střeše Gymnázia Pardubice

4 Poděkování

Chtěl bych poděkovat všem, kteří se zasloužili o projekt CZELTA a jeho umístění v Pardubicích, jmenovitě pak především RNDr. Vladimíru Víchovi, dále svým spolupracovníkům z gymnázia Petrovi Bouchnerovi a Petrovi Šedivému a též celému Ústavu technické a experimentální fyziky ČVUT.

5 Reference

[1] ÚTEF, Obrázek spršky, http://www.utef.cvut.cz/document/utef_projects/1000006_protonshower.jpg

[2] V. Ullmann, Kosmické záření, <http://www.sweb.cz/AstroNuklFyzika/KosmickeZa-reni.gif>

[3] J. Slabý, P. Šedivý, P. Bouchner. Detekce vysokoenergetického kosmického záření CZELTA, <http://gypce.wz.cz/czelta.pdf>