

Posudok na dizertačnú prácu Mgr. Michaela Prouzu “Ultra-High Energy Cosmic Rays and Theirs Detection in AUGER Project”

Predložená dizertačná práca je venovaná aktuálnej tématike, o ktorú záujem výrazne vzrástol po roku 1998, keď experiment AGASA publikoval neočakávané zvýšenie toku kozmických častíc s energiou nad 10^{20} eV, t.j. v oblasti nad tzv. GZK limitom. Nástojčivo tak nastolil predovšetkým otázku skutočnej existencie a veľkosti toku extrémne vysoko energetických častíc v okolí Zeme a v prípade ich existencie ďalšie otázky, napr.: o aký druh častíc sa jedná, čo sú ich zdroje a ako sa šíria v kozmickom priestore?

Projekt AUGER, v ktorého rámci táto práca vznikla, by mal dať alebo aspoň priblížiť odpovede na viaceré z týchto otázok. Po dobudovaní bude mať viacnásobne väčšiu apertúru ako doterajšie detektory. Očakáva sa, že ním zaregistrovaná vzorka prípadov s energiou nad 10^{19} eV bude väčšia ako súčet všetkých doteraz zaregistrovaných. Navyiac tým, že v projekte AUGER sú interakcie kozmických častíc v atmosfére Zeme registrované dvomi nezávislými metódami, súborom pozemných čerenkovských detektorov (SD) a fluorescenčnými detektormi (FD), môže projekt objasniť prípadné systematické chyby vlastné jednej alebo druhej metodike. Súčasný stav experimentov v tejto oblasti je totiž taký, že doteraz publikované merania získané fluorescenčnými detektormi v projekte HiRes nepotvrdzujú zvýšenie toku kozmických častíc nad GZK limitom, namerané pozemnými detektormi v experimente AGASA.

Dizertačná práca je napísaná prehľadne, autor jej dal logickú štruktúru. Po krátkom úvode, v druhej kapitole popisuje súčasný stav poznatkov, uvádza metódy používané na detekciu extrémne vysokocenergetických kozmických častíc a dáva prehľad o doterajších, súčasných aj novo pripravovaných experimentoch v tejto oblasti. Pokračuje úvahami o možných zdrojoch častíc a ich propagácii v extragalaktickom priestore. Detailnejšie sa venuje vplyvu galaktického magnetického poľa (GMP) na trajektórie častíc. Autor použil počítačový model s “konzervatívnym” GMP, ktorý rozšíril o doteraz na popis propagácie UHECR neaplikované toroidné a dipólové komponenty a o turbulentné pole spojené so špirálovými ramenami. Obrátenou propagáciou častíc ukázal v akej miere GMP ovplyvňuje trajektórie protónov a niektorých jadier. V zhode s niektorými predošlými prácami prichádza k záveru, že u protónov môže dôjsť k ovplyvneniu klastrovania v malých uhloch, avšak pre rovnako energetické jadra železa model predpovedá výrazné smerové zmeny. Znamená to teda, že ak by extrémne vysoko energetické atmosférické spŕšky boli vyvolané jadrami Fe mimogalaktického pôvodu, nemusí izotropia smerov ich dopadu do atmosféry znamenať izotropiu pri ich vstupe do GMP. Prezentované výsledky bezosporu prispievajú k poznávaniu propagácie častíc v prostredí našej galaxie.

V tretej kapitole autor prehľadne popísal koncepciu Pierre Auger-ovho observatória. Stručne a výstižne v nej charakterizuje podstatné vlastnosti detektorov, aj metódu, ktorou bola určená energia primárnych kozmických častíc z merania SD. Uvádza v nej prevzaté “kolaboračné” výsledky merania energetického spektra aj s ocenením systematických chýb merania. Doteraz registrovaná vzorka prípadov nevykazuje anizotropiu smerov dopadov častíc. Zo spracovania kapitoly je zrejme, že autor ma dobrý prehľad o faktoroch ovplyvňujúcich kvalitu merania. K tejto časti mám len jednu pripomienku. Úvital by som obrázok, ktorý by energetické rozlíšenie pre hybridne merané spŕšky charakterizoval

rozdelením $2 \cdot (E(\text{FD}) - E(\text{SD})) / (E(\text{FD}) + E(\text{SD}))$, a umožnil vidieť nakoľko sú chyby merania rozdelené normálne.

Štvrtá kapitola je venovaná podrobnejšiemu popisu fluorescenčného detektora, s koncentráciou na časti súvisiace s autorovým príspevkom, t.j. na previerku smerových vektorov jednotlivých detekčných kanálov a na predĺženie aktívneho času fluorescenčného detektora, t.j. čiastočne aj o čas, keď je Mesiac nad horizontom.

Program napísaný autorom je použitý na určenie času, keď daný teleskop, resp. jeho časť musí byť operátorom zavretá, pretože Mesiac je v jeho zornom poli alebo bližšie ako 5° od neho. Expozícia FD sa tak môže predĺžiť, v porovnaní so zberom dát len za bezmesačných nocí, až o 20%. Ako autor v práci uvádza, s týmto výrazným zvýšením aktívneho času FD a odpovedajúcim zvýšením registrácie hybridne registrovaných spršiek, je však spojené aj zvýšenie pozadia detektora a zníženie jeho citlivosti v čase, keď je Mesiac nad horizontom. Oboje, a k tomu ešte možný odraz svetla od oblakov, zrejme komplikuje určenie apertúry detektora. Keďže v práci tento problém nie je diskutovaný, uvítal by som, keby autor pri obhajobe zaujal stanovisko k jej určeniu za takýchto podmienok.

Verifikáciu smerových vektorov a ich dlhodobé monitorovanie založil autor na dvoch metódach vyhodnocujúcich pohyb jasných hviezd naprieč kamerou teleskopu. V práci ukázal, že obe metódy dávajú v rámci chýb zhodné výsledky a ich presnosť je na úrovni $0,1^\circ$. Na príklade FD Coihueco - bay 4, je vidieť, že rekonštrukcia "dráhy" hviezdy pomocou smerových vektorov určených autorom dáva, na rozdiel od použitia pôvodne stanovených hodnôt, očakávaný priebeh. Príklad dokumentuje nesporný príspevok autora k spresneniu merania FD, k zmenšeniu chyby, s ktorou sú stanovené smery priletu primárnych kozmických častíc.

K tejto kapitole mám dve poznámky. Prvá sa týka porovnania hybridnej apertúry AUGER detektora s HiRes apertúrou na strane 100. Uvedená hodnota HiRes stereo apertúry ($2250 \text{ km}^2 \cdot \text{sr}$) je platná pre energiu $\sim 8 \cdot 10^{18}$ eV, avšak stereo apertúra HiRes-u, podobne ako AUGER detektoru, je závislá na energii častíc, rastie s ich energiou a v oblasti GZK limitu ($\sim 7600 \text{ km}^2 \cdot \text{sr}$) je porovnateľná s uvedenou hybridnou AUGER apertúrou. Pre energie nad 10^{20} eV presahuje $14000 \text{ km}^2 \cdot \text{sr}$. Druhá poznámka je formálneho rázu a týka sa subsekcie "Intensity scintillations" na strane 125. Jedná sa zrejme o "Intensity fluctuations" ?

Piata kapitola pojednáva o transmisii svetla atmosférou, o meraní stavu atmosféry a jej vplyve na interpretáciu svetelného toku nameraného FD. Znalosť stavu atmosféry, t.j. teploty, tlaku ale najmä prítomnosti aerosolov a ich vlastností je pre interpretáciu merania FD veľmi podstatná - použitie nesprávnych parametrov atmosféry môže viesť aj k 100% chybe v určení energie častíc. Uplatnenie pri meraní stavu atmosféry preto nachádzajú viaceré, navzájom sa dopĺňajúce prístupy. V práci sú popísané metódy ktorými sa v projekte AUGER charakterizuje rozptyl a transmisia svetla atmosférou. Niektoré z nich už boli v podobnej forme použité v experimentoch Fly's Eye a HiRes (LIDARs, cloud camera), iné (HAMs, FRAM) sú/budú v tomto type experimentov použité prvýkrát. Jedna z nových, používajúca "Fotometrický Robotický Atmosféricky Monitor", je vyvíjaná autorom dizertácie. Je založená na fotometrickom meraní zmien jasů vybraných hviezd po prechode svetla atmosférou. Argumenty o jej výhodach uvedené na strane 165 nie sú však veľmi presvedčivé. Jednak pravdepodobnosť časovo priestorovej koincidencie spŕšky s laserovým zväzkom je malá (pri rozumných početnostiach laserových zväzkov a pri nízkych početnostiach častíc v oblasti meraných energií) a z vlastnej skúsenosti viem, že identifikácia umelých svetelných stôp pri HiRes stereo rekonštrukcii tiež nerobí ťažkosti

a tým menej by mala byť problémom pri hybridnom meraní. Podľa mňa prínosom tejto metódy bude predovšetkým meranie transmisie atmosféry pri viacerých vlnových dĺžkach. Metóda je komplementárna k meraniam vychádzajúcim z rozptylu svetla laserových zväzkov a ak sa ňou podarí dosiahnuť porovnateľnú presnosť (čo aj podľa autora je ešte treba preukázať), môže pomôcť vylúčiť neurčitost' v meraní, ktorá vzhľadom na možné zmeny spektrálnej závislosti rozptylu svetla na aerosoloch existuje ak je transmisia atmosféry meraná len pri jednej vlnovej dĺžke.

K tejto kapitole mám pripomienku/otázku súvisiacu s použitými filtermi (tabuľka 5.1 v prípade FRAM a strana 159 pre HAMs), konkrétne k výberu ich vlnových dĺžok. Iba jeden zo štyroch HAM filtrov má vlnovú dĺžku (šírka pásma nie je uvedená) v rozsahu spektrálnej citlivosti FD (obr. 4.2). Aká je preto motivácia? Vzhľadom na pásovú štruktúru fluorescenčného spektra N_2 , nebolo by vhodné merať transmisiu filtermi odpovedajúcimi práve emisným pásmam ?

V šiestej kapitole autor realisticky formuluje ďalšie pokračovanie práce v oblastiach popísaných v dizertácii, s dôrazom na úplné sfunkčnenie fotometrického robotického atmosférického monitora a v siedmej kapitole zhrnul ním dosiahnuté výsledky.

Vychádzajúc z prv uvedeného môžem konštatovať , že predložená dizertačná práca obsahuje originálny príspevok autora k poznávaniu propagácie častíc GMP a dokumentuje podstatný prínos jej autora k realizácii projektu AUGER. Preukázal samostatný tvorivý prístup pri riešení problémov v štyroch oblastiach. Dosiahnuté výsledky sú predmetom jednej časopiseckej publikácie, dvoch konferenčných príspevkov a viacerých vnútorných dokumentov projektu AUGER. Pripomienky, ktoré som k práci uviedol nijako neznižujú jej kvalitu.

Navrhujem preto, aby po úspešnej obhajobe dizertačnej práce bola Mgr. Michaelovi Prouzovi udelená vedecká hodnosť *Philosophiae Doctor*.



Košice, 26.1.2006

