

Posudek školitele

Název práce: Connection between Arrival Directions and Mass of Ultra-high-energy Cosmic Rays

Autor práce: Ing. Alena Bakalová
Typ práce: disertační
Fakulta: Jaderná a fyzikálně inženýrská
Katedra: fyziky

Školitel: Ing. Jakub Vícha, Ph.D.
Pracoviště: Oddělení astročásticové fyziky, Fyzikální ústav AV ČR, v. v. i.

Školitel specialista: RNDr. Petr Trávníček, Ph.D.
Pracoviště: Oddělení astročásticové fyziky, Fyzikální ústav AV ČR, v. v. i.

Disertační práce Aleny Bakalové obsahuje souhrn jejího výzkumu vlivu propagace kosmického záření na jeho pozorované vlastnosti na Zemi. Po úvodu, kde nastiňuje dlouhotrvající otázky ve fyzice kosmického záření, popisuje v první kapitole základní charakteristiky spršek kosmického záření ultra-vysokých energií, které jsou důležité pro pochopení zbytku práce. Ve druhé kapitole se studentka věnuje Observatoři Pierra Augera, jejíž data ve svém výzkumu použila, včetně detailní rekonstrukce relevantních vlastností spršek. Stěžejní oblast fyziky kosmického záření, jeho propagace ve vesmírném prostoru, je detailně popsáno a vysvětleno ve třetí kapitole, včetně popisu modelů magnetických polí, která ve svém výzkumu používá. Čtvrtá kapitola shrnuje naše současné poznání ohledně energetického spektra, složení a směrů příletů kosmického záření.

Zbývající část práce se již věnuje studentčinu původnímu výzkumu. **V páté kapitole** rozšiřuje výzkum, který byl prezentován na největší konferenci o kosmickém záření *ICRC 2019*, dále na *ICHEP 2020* a finálně publikován v časopise *Journal of Cosmology and Astroparticle Physics*. Navíc oproti publikaci uvádí v disertační práci doplňující kontroly výsledků, které byly v publikaci jen okrajově zmíněny. Studentka na základě simulované propagace částic ve dvou modelech magnetického pole, včetně jejich různých variací, ukázala souvislost mezi složením částic nad 8 EeV a možnými směry a amplitudami extragalaktického dipólu částic vnikajících do naší Galaxie. Limituje tak oblasti na obloze, ze kterých by extragalaktický dipól mohl pocházet pro všechny možné kombinace složení 4 jader nejčastěji uvažovaných prvků - vodíků, helií, dusíku a želez. Tyto výsledky jsou velmi zajímavé pro všechny, kdo se snaží odhalit původ kosmického záření na nejvyšších energiích.

Šestá kapitola se zabývá testováním kompatibility dat Observatoře Pierra Augera s hypotézou jediného zdroje záření nad ~ 40 EeV na jižní obloze. Tento výzkum vlastně navazuje na studentčinu diplomovou práci a své výsledky prezentovala na konferencích *ICRC 2021* a *UHECR 2022*. V kapitole porovnává tvar konce energetického spektra pro různé vlastnosti možného jediného zdroje záření - jeho maximální urychlovací schopnost, složení produkovaných částic a jeho vzdálenost od Země pomocí simulace energetických ztrát ve vesmírném prostoru. Dodatečným omezením na složení pozorované na Observatoři Pierra Augera výrazně snížila množství kombinací vlastností takového zdroje. Velmi zajímavým výsledkem je prakticky vyloučení jediného zdroje kosmického záření na jižní obloze, který by produkoval pouze železo. Nicméně tyto závěry by bylo potřeba ještě potvrdit s nedávno navrženým modelem magnetického pole, který předvídá ještě silnější vliv, než použité dva modely ve studentčině práci.

V **sedmé kapitole** popisuje studentka svůj přínos k výzkumu vysokoenergetického gama záření. Jako členka nově vznikajícího experimentu SWGO, byla zodpovědná za porovnání výstupů dvou simulačních programů odezvy vodního čerenkovského detektoru, který je vybaven čtyřmi fotonásobiči umístěnými na dně sudu a obsahuje méně vody, než konkurenční koncepční návrhy. V rámci spolupráce s kolegy z Lisabonského LIP napomohla odhalit chyby v implementaci útlumové délky světla v oficiálním simulačním kódu. Dále se podílela na ověření výkonnosti takového detektoru s pouze třemi fotonásobiči, jehož koncepční návrh byl publikován v časopise *European Physics Journal C*. V závěru kapitoly popisuje svůj přínos k nalezení analytického přiblížení zesílení fotonové intenzity v okolí kompaktního objektu jako je např. černá díra. Tento aproximativní analytický popis výrazně snižuje časovou náročnost simulací fotonové intenzity pro takovéto objekty a byl publikován v časopise *Astronomy&Astrophysics*. V samotném závěru práce shrnuje své získané poznatky.

Studentka se během doktorského studia aktivně zapojila do nabírání dat fluorescenčního detektoru na Observatoři Pierra Augera, dvakrát vzdáleně a jednou přímo na Observatoři. Byla součástí týmu, který navštívil několik kandidátských lokalit pro experiment SWGO kvůli jejich zhodnocení. V rámci tohoto úkolu došlo i k instalaci celooblohové kamery a zařízení na měření atmosférických podmínek na jedné z těchto lokalit. Zúčastnila se rovněž několika mezinárodních škol o astročásticové a částicové fyzice. V roce 2022 dokonce pomáhala jednu takovou organizovat v Olomouci. Celkem vystoupila na 5 mezinárodních konferencích, z toho dvakrát měla přednášku, a mnoha interních meetinzích Observatoře Pierra Augera. Je spoluautorkou 4 interních článků kolaborací Pierra Augera a SWGO.

Velmi si vážím studentčina aktivního přístupu k výchově dalších studentů. Nyní vede 2 bakalářské studenty a byla konzultankou magisterského studenta. Od roku 2020 přednáší o zdrojích, propagaci kosmického záření a Observatoři Pierra Augera v rámci předmětu Astročásticová fyzika 1 na FJFI. Rovněž se pravidelně účastnila výuky fyzikálních praktik na FJFI. Je také velmi aktivní v popularizaci našeho oboru, přednášela nebo vedla středoškolské studenty na akcích Částicová Praha, Veletrh Vědy, Staň se na den vědkyní, Dny otevřených dveří FZU, Colours of Ostrava a Auger Masterclasses, kde je dokonce součástí organizačního týmu.

Závěrem předloženou disertační práci jednoznačně **doporučuji k obhajobě**. Studentka prokázala během doktorského studia schopnost samostatně vědecky pracovat i schopnost kritického myšlení při pronikání do detailů prováděných analýz. Pevně věřím, že bude přínosem jako postdoktorand pro jakékoliv pracoviště v oblasti výzkumu kosmického záření.

18. 2. 2024

Ing. Jakub Vícha, Ph.D.