

Kraków, 4-06-2024

Prof. dr hab. Stanisław Zoła  
Obserwatorium Astronomiczne UJ  
ul. Orla 171, 30-244 Kraków  
e-mail: [szola@oa.uj.edu.pl](mailto:szola@oa.uj.edu.pl)

## Opinia

o pracy doktorskiej zatytułowanej: **Developing low-energy data analysis methods for Large-Sized Telescopes and observations of Flat-Spectrum Radio Quasars with Cherenkov telescopes** autorstwa magistra Pawła Gliwnego, napisanej pod kierunkiem prof. dr hab. Juliana Sitarka.

Przedstawiona mi do oceny praca składa się z sześciu rozdziałów i została napisana w języku angielskim a streszczenie zamieszczono także w języku polskim. Dwa pierwsze rozdziały to wstęp teoretyczny, pierwszy poświęcony zapoznaniu czytelnika rozprawy z astrofizyką najwyższych energii. W drugim doktorant pokrótce opisał wyniki badań kwazarów, skupiając się na ich klasie nazywanej radio-kwazarami o płaskim widmie, które są głównym tematem badań naukowych rozprawy Pana Gliwnego. We wstępie omówione zostały procesy fizyczne zachodzące w obiektach astronomicznych, które przyspieszają cząstki do ogromnych energii oraz ich oddziaływanie z materią. Kolejne podrozdziały Autor poświęcił na przybliżenie czytelnikowi procesów generowania fotonów w zakresie gamma. Opisane zostały modele leptonowe i hadronowe, a wstęp kończy się opisem technik obserwacyjnych umożliwiających detekcję fotonów o najwyższych energiach, zarówno przez detektory umieszczone na satelitach, jak również w obserwatoriach naziemnych.

W kolejnym rozdziale Pan Gliwny przedstawił model galaktyk aktywnych wynikający z dotychczasowych badań, klasy tych obiektów oraz ich unifikację. Bardziej szczegółowo opisane zostały kwazary o płaskich widmach (FSRQ), a zwłaszcza własności tych obiektów w zakresie najwyższych energii. Kolejne podrozdziały opisują modele obszarów emisji wysoko energetycznych fotonów, a także procesy pochłaniania fotonów w różnych zakresach widma elektromagnetycznego. Ostatnia część tego rozdziału poświęcona jest programowi „agnpy”, używanego do modelowania emisji fotonów z jąder aktywnych galaktyk, kluczowego w postaniu tej dysertacji. Ten kod, rozbudowywany również przez Doktoranta, użyty został do modelowania obserwacji próbki obiektów typu FSRQ zebranych teleskopami MAGIC. a wyniki przedstawione zostały w przedostatnim rozdziale rozprawy.

Rozdział trzeci jest najbardziej obszerny i Autor zawarł w nim opis technik obserwacji promieniowania gamma z wykorzystaniem obserwatoriów naziemnych. Początkowe podrozdziały tej części pracy doktorskiej to opis mechanizmu powstawania w atmosferze promieniowania Czerenkova oraz działających w oparciu o jego detekcję naziemnych teleskopów trzeciej generacji. W dalszej części

Doktorant szczegółowo opisał kolejne etapy opracowania obserwacji fotonów gamma z zastosowaniem technik uczenia maszynowego i metod Monte Carlo. Detekcja fotonów gamma wymaga oddzielenia ich od promieniowania tła, by docelowo wyznaczyć ich zakres energetyczny, strumień i widmo. W kolejnych podrozdziałach opisane zostało oprogramowanie wykorzystywane do niskopoziomowej redukcji obserwacji z teleskopów MAGIC oraz prototypu teleskopu LST-1, które będą wykorzystane w macierzy obserwatorium CTA. Jest to część pracy wykonanej przez Pana Gliwnego w ramach jego doktoratu. Wykonana przez niego praca to wkład programistyczny w niskopoziomowe procesowanie surowych danych poprawiające stosunek S/N. Jak wynika z podrozdziału 3.6.1, procedury napisane przez Doktoranta działają obecnie online. Kolejną jego zasługą jest wprowadzenie poprawek do procedury *1stchain* poprawiających wiarygodność zbieranych danych.

Rozdział czwarty to analiza obserwacji zebranych teleskopem LST-1 obiektu BL Lac, progenitora klasy blazarów. Analiza ta miała na celu sprawdzenie jednoznaczności otrzymania parametrów fizycznych: liczby detekcji w szerokim zakresie energii, SED oraz krzywej zmian blasku źródła. Stosując symulacje Monte Carlo dla 2 linii deklinacji, pokazał on zbieżność wyników dla wysokich energii ( $> 300\text{GeV}$ ), ale systematyczne różnice występujące dla niższych wartości energii (10-300Gev).

Ostatni rozdział (nie licząc podsumowania otrzymanych w rozprawie wyników) zawiera analizę próbki 8 radiokwazarów typu FSRQ oraz jednego klasyfikowanego jako blazar, ale również z cechami grupy FSRQ. Autor wraz ze współpracownikami wykorzystał do tej analizy obserwacje tej próbki wykonane przez teleskopy MAGIC w latach 2008-2020, a także dane zebrane przez obserwatoria FERMI-LAT (gamma), SWIFT (UV oraz X) oraz naziemne dane optyczne. W wyniku analizy danych MAGIC nie stwierdzono statystycznie istotnej aktywności w najwyższym zakresie energii, co pozwoliło jedynie na oszacowanie limitów strumienia w zakresie najwyższych energii. W kolejnym kroku wykonana została ekstrapolacja strumienia w oparciu o dane Fermi-LAT w kierunku do najwyższych energii i porównanie tych ekstrapolowanych wartości z górnymi limitami emisji w tym zakresie. Zakładając, że fotony o najwyższych energiach są pochłaniane w ośrodku międzygalaktycznym, otrzymano zgodność dla 7 analizowanych obiektów. Dla 2 pozostałych kwazarów (CTA 102 i B2 2234+28A) wymagane są dodatkowe procesy absorpcji. Autor wskazując, że może ona zachodzić w obszarze szerokich linii emisyjnych (BPR), modelował obszary emisji z tych 2 kwazarów wykorzystując publicznie dostępny kod *agnpy*, w modyfikacjach którego również on sam brał udział (np. poprawiając stabilność rozwiązań). W wyniku modelowania otrzymał ograniczenia na rozmiar obszaru emisji oraz jego odległość od super masywnej czarnej dziury. Modelowanie wielozakresowe z założonym modelem leptonowym emisji dla tych 2 obiektów jednak dało wynik sprzeczny z wynikami modelu fenomenologicznego.

Doktorant wykonał w ramach swojego doktoratu dwa rodzaje prac. Pierwszy polegał na wkładzie w przygotowanie oprogramowania do niskopoziomowej redukcji danych zbieranych przez teleskopy Czerenkova, w szczególności teleskopu LST-1. Druga część to interpretacja danych już zredukowanych prowadząca do

poznania procesów fizycznych prowadzących do emisji fotonów o najwyższych energiach oraz ich absorpcji na drodze do obserwatora. Ta pierwsza część jest nie do przecenienia, gdyż poprawne działanie instrumentu zaczynając od oprogramowania jego działania, przez oprogramowanie redukujące surowe dane jest absolutnie konieczne do późniejszej prawidłowej interpretacji zbieranych danych. Doktorant pokazał również, że potrafi interpretować obserwacje astronomiczne, także samodzielnie je modelując i uzyskując wyniki o wartości naukowej. Pomimo, że nie wyjaśniły one rozkładu strumienia w pełnym zakresie widma elektromagnetycznego, mogą być wskazówką w dalszych pracach z zastosowaniem bardziej zaawansowanego modelu.

Zaangażowanie Pana Pawła Gliwnego w projektach MAGIC i CTA zaowocowało współautorstwem w 40 recenzowanych pracach opublikowanych w najlepszych czasopismach astronomicznych. O ile tu jego wkład jest trudny do oszacowania, to udział w prace opisane w rozprawie doktorskiej oceniam jako znaczący. Doktorant modyfikując kod *agnpy* jest jednym z ośmiu współautorów tego kodu zamieszczonego na serwerach ZENODO w 2023 roku i do dnia pisania tej recenzji ściąganego ponad 900 razy.

Zawartość merytoryczna rozdziału piątego rozprawy jest podstawą pracy przygotowywanej do druku i zamieszczonej jako preprint. Pan Gliwny jest PI tego projektu i jego wkład w jej powstanie jest dominujący. Doceniam również fakt, że publikowany jest wynik negatywny, co obecnie jest rzadkością, a moim zdaniem takie wyniki również są użyteczne dla środowiska naukowego i powinny być upubliczniane.

Układ pracy jest logiczny i w większości zrozumiały. Tym niemniej, Autor nie ustrzegł się pewnych usterek typograficznych oraz niezręczności lingwistycznych, z których w tej opinii wymienię tylko część zauważonych. Te niedoróbki sprawiają wrażenie, jakby pewne części tekstu pisane były w dużym pośpiechu. Niektóre sformułowania są sztuczne, głównie przez niewłaściwy dobór słów, czasem trudne do zrozumienia. Kilka przykładów poniżej:

„cosmic rays have been explored using balloons, spaces, and ground-based and underground methods”

„In the rest of the frame of the neutral pion,”

„The flux of gamma rays is very low, typically below a per mile of the one from the background of „

„For instruments like Fermi-LAT, this residual hadronic background is negligible (less than 1%) due to the veto layer and is often overlooked.”

„is needed to reduce the participation of those noise photons”

„The light curve from Fermi-LAT for BL Lac is shobardzo wysokich energiwn in Fig 4.1.” (str 67)

„Select dedicated periods based on MAGIC observations.” - niedokończone zdanie? (str 78)

„In this procedure, all the individual days were stacked together as a single time window.” - tu nie jest dla mnie jasne na czym polegała ta procedura.

„It is equipped with three telescopes, namely the Ultraviolet and Optical Telescope UVOT [273] is capable of performing optical and ultraviolet photometry, the Burst Alert Telescope BAT [274] is dedicated to detecting gamma-ray bursts and provide fast alerts to other, due to multiple instruments and rapid alert response, the Swift observatory is ideal for gathering simultaneous data in MWL campaigns.” (str 78) – brak interpunkcji lub podzielenia na kilka zdań

„I determined that a logarithmic function accurately describes the spectrum in the him/VHE range.” (str 70)

„but the monitoring sample has since expanded over the years.” (str 78)

„The comparison stars were calibrated for other sources using observations of sources with known comparison star magnitudes from the same night.” - po tym opisie nie jestem w stanie powiedzieć jak to zostało zrobione i czego dotyczy

„hugely bright”, „variability from the past time”

„This extrapolation operates under the assumption that” → is valid assuming that

„Each line has individual intensity and distance from the accretion disk.” (str 91)

„The radii and luminosities of individual lines of the BLR” (str 91)

„measuring the radius of individual lines” – co to takiego jest promień linii?

„The distances and luminosities of the remaining lines are scaled” (jw.)

„and CTA 102-like valu” (str 97)

Doktorant masowo używa w rozprawie skrótów. O ile sama idea nie jest zła, to ich nadużycie czyni pracę hermetyczną i trudną do zrozumienia dla nie specjalistów. Np. w 17 liniach tekstu na stronie 103 znalazłem 11 skrótów (nie licząc nazw własnych teleskopów i obiektów). Użyte zostały również skróty, które nie zostały w liście skrótów zdefiniowane, albo ich definicja pojawia się później niż pierwsze użycie, np. GZK (str 3), LP (str 74, 75, 79, 86, 87, 94), EED (str 100).

Rys. 3.12 – opis tego rysunku jest bardzo minimalistyczny, brak wyjaśnienia dlaczego przedstawia on 3 linie.

Odwołanie do rysunku 3.17 pojawia się w tekście przed odwołaniem do rysunku 3.16 (str 64)

Rys. 5.16 przedstawia 4 modele EBL a Autor napisał w tekście (str 99): „I evaluated three alternative EBL models to analyze the HE/VHE SED...”

Wymienione powyżej niedoskonałości tekstu rozprawy nie wpływają na jej zawartość merytoryczną, w tym na wyniki uzyskane przez Pana Pawła Gliwnego w trakcie pracy nad nią.

**W konkluzji stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr Pawła Gliwnego spełnia ustawowe i zwyczajowe wymogi stawiane pracom doktorskim i wnoszę o dopuszczenie go do dalszych etapów przewodu doktorskiego.**

S. Z. A.