

Dr hab. Dorota Sobczyńska

Łódź , 7 luty 2019r.

Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej

Uniwersytetu Łódzkiego

**Recenzja pracy doktorskiej mgr Zbigniewa Plebaniaka  
z tytułu**

**„Badanie wpływu parametrów modeli oddziaływań  
wielkich energii na rozwój WPA i możliwości pomiarowe  
eksperymentu JEM-EUSO”**

Praca doktorska mgr Zbigniewa Plebaniaka poświęcona jest analizie wpływu wartości przekrojów czynnych na rozwój wielkich pęków atmosferycznych (WPA) wysokich energii - w szczególności na wielkości mierzalne w eksperymentach takie jak średnia i odchylenie standardowe głębokości maksimum pędu. Pomiar cząstek o najwyższych energiach ma dać odpowiedź na pytania dotyczące składu masowego promieniowania kosmicznego (PK) czy też potwierdzenia istnienia tzw. obcięcia GZK. Analiza takich danych eksperymentalnych prowadzona jest w oparciu o pełne symulacje zarówno rozwoju WPA w atmosferze jak i odpowiedzi detektorów. Brak danych akceleratorowych w tym zakresie energetycznym wymusza na badaczach korzystanie z ekstrapolacji modeli oddziaływań (głównie fenomenologicznych) zaimplementowanych w programach symulacyjnych. Prezentowane przez doktoranta zastosowanie ekstrapolacji otrzymanych przez niego przekrojów czynnych na zderzenia protonów i jąder żelaza z jądrami atmosfery do istniejących modeli oddziaływań pokazuje, że eksperyment JEM-EUSO nie jest wystarczająco czuły aby rozstrzygnąć, które przekroje lepiej opisują oddziaływania wysokich energii. Pokazany w pracy wynikiem o dużym znaczeniu nie tylko w badaniach PK, ale w fizyce wysokich energii jest zaproponowanie dwuskładnikowego rozkładu materii hadronowej w protonie i zastosowanie go do modelu geometrycznego oddziaływań p-p. Należy zwrócić uwagę, iż te właśnie wyniki zostały już opublikowane w renomowanym czasopiśmie Physics Letters B 761, 2016, strony 469-474.

Recenzowana praca doktorska magistra Zbigniewa Plebaniaka składa się ze wstępu, 7 rozdziałów oraz podsumowania, w którym zawarte są końcowe wnioski. Ponadto doktorant w swojej pracy zamieścił 4 dodatki. Zastosowany tutaj podział jest uzasadniony - dzięki temu czytelnik po wprowadzeniu do badanych zagadnień (rozdziały 1 do 4), zapoznaje się z przedstawionym modelem oddziaływań hadronowych, a następnie wynikami otrzymanymi w tym modelu (rozdziały 5 do 7 oraz dodatki B i C). Bardzo dobrze oceniam fakt, iż do porównań swoich wyników z danymi autor zebrał bogaty zestaw danych zarówno

akceleratorowych jak i wielkopękowych co ma odzwierciedlenie w spisie literatury - 142 pozycje. Cytowania w pracy sa poprawne, chociaż niestety część literatury nie jest ogólnie dostępna.

Wyniki pracy zawarte w rozdziale piątym mają podstawowe znaczenie dla dalszej części badań. Przedstawiono tutaj nowe podejście do rozkładu materii hadronowej w protonie oraz zastosowano go w modelu geometrycznym. Stosowane wcześniej rozkłady, które były opisywane jedną funkcją, nie prowadzą do wyników zgodnych z danymi przy najwyższych mierzonych obecnie w akceleratorach energiach. Magister Plebaniak w podrozdziale 5.2 zaproponował użycie do opisu rozkładu materii barionowej sumy dwóch eksponentyjalnych funkcji. Cztery parametry tych funkcji, które są zależne od energii zderzenia, zostały przez autora znalezione w taki sposób aby wyniki dobrze opisywały zmierzone elastyczne różniczkowe przekroje czynne w szerokim zakresie  $\sqrt{s}$  od  $\sim 19$  GeV do 8 TeV. Wcześniejsze wyniki tego modelu zostały już opublikowane w Physics Letters B. Doktorant dokonał ekstrapolacji parametrów zaproponowanych funkcji na wyższe energii co jest na obecnym etapie badań najbardziej naturalnym sposobem opisu oddziaływań hadronowych wysokich energii przy pomocy modelu geometrycznego. Dodatkowo w tym samym rozdziale 5 przedstawiona została parametryzacja stosunku części rzeczywistej do urojonej amplitudy rozpraszania jako funkcji  $s$ . Na rysunku 5.9 została pokazana zgodność otrzymanych przy pomocy modelu wartości całkowitego, elastycznego i nieelastycznego przekroju czynnego z danymi eksperymentalnymi w tym również estymowanymi z pomiarów wielkich pęków atmosferycznych zakresie  $\sqrt{s}$  rzędu  $10^6$  GeV. Ta zgodność wskazuje na poprawność znalezionej ekstrapolacji. Szkoda, że wartości nachylenia różniczkowego elastycznego przekroju oraz całkowitych przekrojów (tj. tabele 5.2 i 5.3) znalazły się w pracy na końcu rozdziału tj. około 10 stron po odwołaniu się do nich w tekście.

Podrozdział 5.3 poświęcony został opisowi optycznego modelu nieelastycznych rozproszeń proton-jądro oraz jądro-jądro. Na uwagę zasługuje tutaj fakt, iż doktorant do obliczeń stosuje nie tylko dokładnie teorię Glaubera, ale również dwa przybliżenia tj przybliżenie punktowych nukleonów oraz przybliżenie probabilistyczne. We wszystkich trzech przypadkach korzysta ze wzoru Woods-Saxona do opisu potencjału w jądrze. Otrzymane rezultaty zostały zaprezentowane w podrozdziale 5.4, na wykresach 5.10 (p-powietrze) oraz 5.11 (Fe-powietrze). W przypadku oddziaływań Fe-powietrze porównanie dokonane zostało wyłącznie z przekrojami używanymi w modelach Sybill, EPOS-LHC oraz QGSJET-II-0. Moim zdaniem, w tym miejscu dodatkowo należało pokazać wykres względnych wartości przekrojów zarówno przypadku protonów jak i żelaza, tak aby pokazać o ile procent zmienione zostały oryginalne przekroje stosowanych w CORSICE modeli. Dałoby to możliwość ciekawej i być może pełniejszej interpretacji wyników przedstawionych w następnym rozdziale.

W rozdziale 6-tym autor przedstawia uzyskane przy pomocy programu CONEX (uproszczona wersja CORSIKI) wartości średnie i odchylenia standardowe rozkładów głębokości położenia maksimum pęku w zakresie energii  $10^{17}$  -  $10^{20}$  eV. Otrzymane wcześniej nowe wartości przekrojów na zderzenia proton-powietrze

i Fe-powietrze zostały przez doktoranta zaimplementowane do trzech modeli, które są najczęściej używane przez program symulujący rozwój WPA. Porównanie średnich oraz odchyłeń standardowych rozkładu głębokości maksimum pęku z danymi oraz tymi, które dostajemy przy użyciu oryginalnych przekrojów jest wynikiem końcowym pracy doktorskiej. Podobne rezultaty zostały przedstawione w Dodatku D, z tą jednak różnicą, iż zostały otrzymane z programu CORSIKA, lecz ze względu na czas potrzebny do symulacji MC zawierają one mniejszą liczbę przypadków. Wpływ zmiany wartości przekroju na  $X_{max}$  łatwiej dałoby się ocenić, gdyby dodatkowo sporządzić wykresy względnych wartości.

W mojej ocenie praca zawiera jednak pewne niedoskonałości. Na stronie 34 - prawdą jest, że analityczne równania dobrze opisujące rozwój średniej kaskady elektromagnetycznej, wykorzystywane są w CORSICE wyłącznie przy stosowaniu opcji NKG. Procedura nazywana EGS4 to pełne symulacje rozwoju kaskady czyli poza efektem LPM (istotnego wyłącznie przy wysokich energiach) symulowany jest każdy proces produkcji par, bremstrahlungu, rozpraszania Columbowskiego z równoczesnym uwzględnieniem strat na jonizację.

Nie znalazłem w pracy informacji na temat wersji CORSIKI, użytej do symulacji WPA. Nie wiadomo również jaki kąt zenitalny został wybrany do symulacji. Wartość tego kąta jest istotna przy wyborze "płaskiego" lub „zakrzywionego” modelu atmosfery, co z kolei bardzo wpływa na czas generacji pojedynczych przypadków.

Brakuje mi oszacowania jakie potencjalne różnice w przekrojach (oryginalny z jednego wybranego modelu i jakiś nowy) mogłyby prowadzić do takiej zmiany  $\langle X_{max} \rangle$ , która byłaby większa niż dokładność wyznaczenia głębokości maksimum w eksperymencie JEM-EUSO. Nie chodzi tutaj o przeprowadzenie symulacji z ekstremalnymi przekrojami, a raczej o wnioskowanie na podstawie uzyskanych przez doktoranta wyników.

Trzeba też stwierdzić, że omawianą pracę charakteryzuje niestaranna korekta edytorska. Te błędy edycyjne dotyczą nie tylko tekstu, ale również tabel i rysunków. Przykłady błędów w tekście to: str. 13 „mały promień Larmora” czy też informacja w opisie eksperymentu, że zliczane są pojedyncze fotony na każdym pikselu. W tabeli 5.1 (str. 44) - dwukrotnie pojawia się parametr A1, a brak jest A3. Rysunki 5.10 oraz 5.11- w podpisach są elastyczne przekroje, a z tekstu wynika, że powinny to być nieelastyczne. Uważam, że w swojej pracy doktorant niezbyt starannie przedstawił niektóre równania przez co można je nawet uważać za błędne. Jako przykłady mogę tutaj podać: równania: 1.1 (znak proporcjonalności zastąpiony znakiem w przybliżeniu równy), 1.2 (znak  $\rightarrow$  zastąpiony +), równania 5.10 do 5.11, 5.12 (gdzie powinny być lub nie symbole całek?).

Mam też zastrzeżenia do niektórych sformułowań, które pojawiają się w pracy. Najbardziej rażące z nich to „pozycja maksimum pęku”, która jest literalnym tłumaczeniem z angielskiego, chociaż w języku polskim używamy „położenie

maksimum pęku". W przypadkach „transmisji” (str. 37) i „medium” (str. 36,37) w odniesieniu do polskich określeń na przezroczystość i ośrodek można uważać, że żadnego tłumaczenia nie ma.

Pomimo tych potknięć praca dowodzi wysokiego poziomu umiejętności i sprawności obliczeniowej mgr Zbigniewa Plebaniaka w zakresie prowadzonych przez niego prac. Wyniki pracy i stosowane metody świadczą o dojrzałości Autora oraz obszernej i rzetelnej wiedzy w omawianej dziedzinie. W pełni spełnione zostały wymagania określone w art. 13. ust. 1 Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. Nr 65, poz. 595, z późn. zm.). Wniosuję zatem o przyjęcie pracy doktorskiej Pana mgr Zbigniewa Plebaniaka oraz o dopuszczenie go dalszych etapów przewodu doktorskiego.

D. Sobayinka