

16 stycznia 2018

Recenzja rozprawy doktorskiej
dla Rady Wydziału Fizyki Politechniki Warszawskiej

tytuł rozprawy: **Study of Quarkonium Production in Relativistic Proton-Proton Collisions in the STAR Experiment**

Autor rozprawy: **mgr Leszek Krzysztof Kosarzewski**

Tematyka rozprawy doktorskiej mgr. Leszka Kosarzewskiego dotyczy produkcji mezonów w zderzeniach proton-proton: mezonów J/ψ przy energii 200 GeV i Υ przy energii 500 GeV w układzie środka masy. Pomiary były zrealizowane na przeciwbieżnych wiązkach Relativistic Heavy-Ion Collider (RHIC) przez współpracę STAR.

Odkrycia mezonów $c\bar{c}$ ¹ i $b\bar{b}$ ² stanowiły kamień milowy dla fizyki cząstek elementarnych, a spektroskopia ich stanów wzbudzonych jest elementem rozwoju chromodynamiki kwantowej³. W wysokoenergetycznych zderzeniach jądro-jądro (AA) poszukuje się nietrywialnych efektów będących konsekwencją powstania plazmy quarkowo-gluonowej (QGP) lub stanu do niej zbliżonego. Odniesieniem dla tych procesów jest zderzenie dwóch protonów (NN), które jednakże może się okazać zjawiskiem niekoniecznie fundamentalnym. Kilka efektów, takich jak tłumienie dżetów czy tłumienie produkcji różnych cząstek w oddziaływaniach AA względem odpowiednio przeskalowanych oddziaływań NN to podstawowe zjawiska mające świadczyć o zmianie stanu materii wytworzonej w (centralnych) zderzeniach AA. Szczególną rolę odgrywają tu właśnie mezony J/ψ i Υ , będące tematem recenzowanej rozprawy doktorskiej. Tłumienie produkcji mezonów J/ψ zostało zaproponowane już

¹ https://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1976/press.html

² <http://www.wolffund.org.il/index.php?dir=site&page=winners&cs=363>

³ QCD Parameters Corelations from Heavy Quarkonia, Stephan Narison, Nuclear and Particle Physics Proceedings (2018). [arXiv:1801.00592](https://arxiv.org/abs/1801.00592)

ponad trzy dekady temu⁴. Zjawisko to jest nadal badane doświadczalnie i teoretycznie⁵. Stąd też uważam, że praca doktorska mgr. Kosarzewskiego dotyczy ważnego i aktualnego problemu fizycznego.

Recenzowana rozprawa, pomimo swej obszerności (173 strony), jest bardzo skondensowanym opisem teoretycznych i eksperymentalnych zagadnień związanych z produkcją ciężkich mezonów. Po ogólnym wprowadzeniu (Rozdział 1) i opisie zjawisk fizycznych związanych z produkcją kwarkoniów (Rozdział 2) autor w trzecim rozdziale bardzo klarownie przedstawił cele pracy. Na końcu Rozdziału 4, który jest poświęcony budowie i parametrom detektora STAR, znajduje się opis wkładu autora do tego eksperymentu. To bardzo ważny element rozprawy doktorskiej, która została wykonana ramach licznej współpracy (STAR liczy ponad 600 uczestników) i z natury rzeczy musiała korzystać ze wspólnego dorobku. Autor rozprawy nie tylko brał udział w realizacji pomiarów (od 2010 roku) ale także pracował nad symulacją funkcjonowania pozycyjnego detektora krzemowego oraz nad rozwojem układu wyzwalania dla wybranego trybu rozpadu mezonu B.

Kilka uwag i wątpliwości dotyczących tych pierwszych rozdziałów rozprawy:

1. Skoro Color Singlet Model „describes a large fraction of the quarkonium cross section”, jak napisano w Rozdziale 2.1.1, to jak interpretować zdanie, że Color Octet Model „describes the quarkonium production” zamieszczone w następnym rozdziale?
2. Wzór 4.1 jest błędny, powinien być zapisany jako $\beta = \frac{l}{ct}$.
3. W Rozdziale 4.4.3.1 używana jest zmienna N_{hotpix} . Czy warunki (4.4) i (4.5) są tożsame? Jest to niejasne.
4. Używane w Rozdziałach 4.4.3.2 i 4.4.3.3 liczby typu 1000 , 960 albo 928 powinny być wyjaśnione.
5. W równaniu 4.10 zmienna N_S występuje zarówno w liczniku jak i w mianowniku, czyli ulega skróceniu. Ten zapis wymaga korekty.

Bardzo ciekawy jest Rozdział 5, w którym można znaleźć mnóstwo szczegółów eksperymentalnych dotyczących pomiarów mezonów Υ . Detekcja polegała na pomiarze widma masy niezmienniczej par elektron-pozyton. Szczegółowo opisane są warunki, jakie spełniać musiały dane eksperymentalne. Za szczególnie ważny uważam warunek eliminujący rozłączone tory („split tracks”), które mogły bardzo niekorzystnie wpłynąć na wyniki pomiarów masy niezmienniczej. Dość niezręcznie zdefiniowany jest parametr R_{SMD} , który jest określany jako odległość („distance”), podczas gdy jest to miara kątowna (zapewne 0,028 radiana w tabeli 5.5).

⁴ J/ψ suppression by quark-gluon plasma formation, T.Matsui, H. Satz, Physics Letters B178 (1986) 416-422

⁵ Charmonium and bottomonium in Heavy-Ion Collisions, R. Rapp, D. Blaschke, P. Crochet, Progress in Particle and Nuclear Physics 65 (2010) 209-266

Położenie elektronu jest określone z wykorzystaniem dwóch największych energii zarejestrowanych w modułach dookoła modułu wskazanego przez algorytm wyznaczający tor cząstki. Energie te brane są do wyznaczenia pozycji z wagą liniową. Dla rekonstrukcji położenia centrum kaskady elektromagnetycznej czasami stosuje się wagi logarytmiczne, które uwzględniają zanik poprzeczny deponowanej energii⁶. Czy takie rozwiązanie miałoby wpływ na pozycyjną zdolność rozdzielczą? Powszechnie w tym rozdziale pojawia się określenie „Crystall Ball function” jako kształt funkcji używanej do dopasowania obserwowanego sygnału. Są dwa odnośniki literaturowe dotyczące tej funkcji, ale niezbyt łatwo dostępne. Uważam, że w rozprawie ten ważny kształt powinien być explicite wypisany, zwłaszcza że nie jest bardzo skomplikowany a jest, jak się przekonałem, powszechnie używany⁷ przez wiele współprac naukowych:

$$f_{CB}(m) = \frac{N}{\sqrt{2\pi}\sigma} \begin{cases} \exp\left(-\frac{(m-m_0)^2}{2\sigma^2}\right) & \frac{m-m_0}{\sigma} > -\alpha \\ \left(\frac{n}{|\alpha|}\right)^n \exp\left(-\frac{\alpha^2}{2}\right) \left(\frac{n}{|\alpha|} - \alpha - \frac{m-m_0}{\sigma}\right)^{-n} & \frac{m-m_0}{\sigma} \leq -\alpha \end{cases}$$

Autor wykonał dopasowania dla danych podzielonych na wiele zakresów pędu poprzecznego, pospieszności oraz krotności.

Zauważyłem niespójność warunku na masę niezmienniczą przy eliminacji par elektron-pozyton z konwersji promieniowania gamma. W tekście paragrafu 5.6.1 jest podane, że takie pary mają $m_{ee} < 0,3 \text{ GeV}/c^2$, podczas gdy w Tabeli 5.7 jest warunek $m_{ee} < 0,04 \text{ GeV}/c^2$.

Rozdział 5 zawiera także bardzo bogatą dyskusję spraw związanych z wydajnością oraz oceną niepewności pomiarowych. W rozdziale 5.6.2 przedstawiane na Rysunku 5.11.b współczynniki nachylenia widm pędu poprzecznego pozwalają, ze względu na szeroki zakres $s^{1/2}$, na interpolację dla 500 GeV. Autor rozprawy nazywa to ekstrapolacją, a to określenie używane raczej gdy wykraczamy poza zakres znany z pomiarów. Czy wydajności dla pozytonów i elektronów przedstawione na Rysunku 5.12 są identyczne?

Rozdział 6 dotyczy badań nad produkcją mezonów J/ψ przy energii 200 GeV. Wyniki te zostały już opublikowane przez współpracę STAR, toteż autor słusznie napisał ten rozdział w formie bardziej skrótowej niż poprzedni. W ten sposób pominął okazję, by pochwalić świetną rozdzielczość detektora STAR (Rysunek 6.3).

⁶ A simple method of shower localization and identification in laterally segmented calorimeter, T.C. Awes *et al.*, Nuclear Instruments and Methods A311 (1992) 130

⁷ Suppression of non-prompt J/ψ , prompt J/ψ , and $Y(1S)$ in PbPb collisions at $s_{NN}^{1/2}=2.76$ TeV, CMS Collaboration, JHEP 05 (2012) 63

Dyskusja dotycząca rezultatów przeprowadzonych pomiarów jest zawarta w Rozdziale 7. Autor przeprowadził porównanie wyników doświadczalnych z przewidywaniami kilku modeli teoretycznych, wykazując czasami poważne odstępstwa rezultatów obliczeń modelowych od danych. Na rysunkach (przykładowo rysunki 7.3 a i b) wyniki eksperymentalne są wręcz zdominowane przez rezultaty obliczeń modelowych, gdyż skala pionowa została dobrana do rezultatów teoretycznych oraz ich opisów. Utrudnia to dokładniejszą ocenę czy, zauważony przez autora rozprawy, spadek przekroju czynnego w „midrapidity” jest istotny względem niepewności pomiarowych.

Na szczególną uwagę zasługują zmierzone stosunki $Y(3S)/Y(1S)$ i $Y(2S)/Y(1S)$ przedstawione na Rysunku 7.4. Wyniki mgr. Kosarzewskiego są pierwszymi w niezbadanym dotąd obszarze, którego zakres to czynnik około 40 w energii dostępnej $s^{1/2}$. Uważam ten wynik za bardzo istotny i to osiągnięcie stanowi dla mnie uzasadnienie wniosku o uznanie recenzowanej rozprawy za wyróżniającą się.

Rozprawę kończy zwięzłe podsumowanie (Rozdział 8). Praca uzupełniona jest licznymi dodatkami, w tym szczegółowymi danymi dotyczącymi stosunków $Y(3S)/Y(1S)$ i $Y(2S)/Y(1S)$.

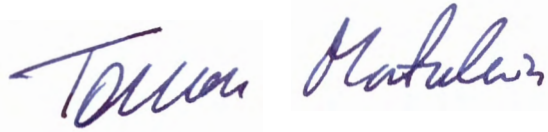
Warto podkreślić, że autor zamieścił w spisie literatury nie tylko odnośniki, ale także pełne tytuły artykułów. Jest to bardzo przydatne dla czytelnika – łatwiej jest dokonać odpowiedniego wyboru przeszukując literaturę zagadnienia. Kilka drobnych uwag:

1. Dziwne formy zapisu współprac CMS jako „C. CMS” i ATLAS jako „A. ATLAS”
2. Cytując pozycję opublikowaną w czasopiśmie autor podawał często adres w arXiv. Niedawne artykuły mają tylko adres w arXiv. Są też takie, które zostały wysłane do arXiv kilka (np. pięć) lat temu. Zastanawiam się, jaka powinna być forma podkreślenia tego faktu („unpublished“?).
3. Nie wszystkie pozycje literaturowe pozwalają na znalezienie dostępu (np. 152, 157).

Wymienione w tej części uwagi oraz zauważone niezręczności nie mają wpływu na ogólnie pozytywny obraz przeprowadzonych badań oraz samej rozprawy. Są to często niezręczności, które w przypadku procedury stosowanej w wielu krajach (Francja, Hiszpania) by zniknęły, gdyż tamże ostateczna wersja rozprawy jest drukowana dopiero po otrzymaniu uwag od recenzentów.

Stwierdzam, że rozprawa przedstawiona przez mgr. Leszka Krzysztofa Kosarzewskiego z naddatkiem **spełnia wymagania** stawiane pracom doktorskim przez ustawę o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki.

Ze względu na wagę uzyskanych wyników, a zwłaszcza wyznaczenie stosunków $\Upsilon(3S)/\Upsilon(1S)$ i $\Upsilon(2S)/\Upsilon(1S)$ w zderzeniach proton-proton przy energii 500 GeV wnioskuję o uznanie tej rozprawy za wyróżniającą się. Otrzymane wyniki są pierwsze w ogromnym niezbadanym dotąd zakresie energii zderzeń, od około 50 GeV do 2000 GeV.

A handwritten signature in dark ink, reading "Tomasz Matulewicz". The signature is written in a cursive style with a large initial 'T'.