

prof. dr hab. Maciej Rybczyński
Instytut Fizyki
Uniwersytet Jana Kochanowskiego
w Kielcach

Kielce, 26 sierpnia 2024 roku

Recenzja pracy doktorskiej

Rupama Samanty

pod tytułem "Study of the hottest droplet of fluid through correlations and fluctuations of collective variables", przygotowanej pod kierunkiem prof. dr. hab. Piotra Bożka

1. Podstawa opracowania

Recenzja została wykonana na zlecenie Rady Dyscypliny Nauki Fizyczne Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie.

Podstawa prawna: art. 187 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” (z późn. zm.)

Opinia dotycząca przedmiotowej rozprawy doktorskiej zawiera trzy elementy:

- 1) Ocenę wraz z uzasadnieniem czy w rozprawie doktorskiej zaprezentowano ogólną wiedzę teoretyczną Doktoranta w dyscyplinie nauki fizyczne;
- 2) Ocenę wraz z uzasadnieniem czy w rozprawie doktorskiej wykazano umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej przez Doktoranta ubiegającego się o nadanie stopnia doktora;
- 3) Ocenę wraz z uzasadnieniem czy rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego.

2. Charakterystyka i opis rozprawy

Rozprawa doktorska przygotowana przez pana Rupama Samantę poświęcona jest badaniu dynamiki kolektywnego przepływu cząstek wyprodukowanych w zderzeniach relatywistycznych ciężkich jonów. Temat rozprawy jest aktualny i ważny dla najnowszych badań w zakresie relatywistycznych zderzeń jądrowych. Zderzenia relatywistycznych jąder atomowych są głównym źródłem naszej wiedzy o materii jądrowej w stanach charakteryzujących się ekstremalnie wysoką gęstością energii i bardzo wysoką temperaturą, w których możliwe staje się przejście fazowe do nowego stanu materii - plazmy kwarkowo-

gluonowej (QGP). Proces przejścia zwykłej materii jądrowej w stan plazmy kwarkowo-gluonowej, jak też własności QGP są przedmiotem szczegółowych badań eksperymentalnych w CERN (ALICE, ATLAS, CMS, NA61/SHINE) i BNL (STAR), a w przyszłości w GSI (FAIR). Pomiary korelacji i fluktuacji wielkości fizycznych w zderzeniach relatywistycznych jąder atomowych stały się w ostatnich latach jednym z głównych tematów zainteresowania, ponieważ mogą dostarczyć w szczególności sygnałów o formowaniu QGP.

Autor rozprawy skoncentrował się na fluktuacjach i korelacjach między kolektywnymi obserwabliami takimi jak średni pęd poprzeczny na wyprodukowaną w zderzeniu cząstkę, $[p_T]$ i współczynniki harmoniczne przepływu, v_n . Pokazał, że fluktuacje współczynników harmonicznych można badać za pomocą współczynników łamania faktoryzacji między wektorami przepływu w różnych przedziałach pędu poprzecznego a trudności eksperymentalne z tym związane można zmniejszyć biorąc jeden z wektorów przepływu jako średnio pędowy. Zbadał fluktuacje $[p_T]$ w ultra-centralnych zderzeniach ołów-ołów i wyjaśnił szybkie zmniejszanie się wariancji rozkładu $[p_T]$ obserwowane w danych eksperymentu ATLAS. Przedstawił prognozy dla skośności i kurtozy rozkładu $[p_T]$ oraz opisał istotną rolę fluktuacji parametru zderzenia w ultra-centralnych oddziaływaniach ciężkich jąder atomowych. Dodatkowo zbadał współczynniki korelacji Pearsona między $[p_T]$ a v_n^2 , które mogą odwzorowywać korelacje stanu początkowego między kształtem a rozmiarem obszaru produkcji cząstek. Skonstruował wyższe rzędy znormalizowanych i symetrycznych kumulantów między tymi obserwabliami, które dostarczają dodatkowych, użytecznych ograniczeń na właściwości stanu początkowego zderzenia ciężkich jonów. Zbadał również zależną od pędu korelację Pearsona między $[p_T]$ a poprzecznie zależnym od pędu przepływem, która wykazuje wrażliwość na wielkość fluktuacji w stanie początkowym. W końcu pokazał że korelacje i fluktuacje kolektywnych obserwabli w wysokoenergetycznych zderzeniach jądrowych mogą być z sukcesem używane do badania deformacji jąder atomowych i otrzymywania ograniczeń na parametry tych deformacji.

Od strony formalnej dysertacja liczy sto dziewięćdziesiąt trzy strony tekstu wraz z rysunkami i składa się z sześciu rozdziałów, streszczenia, imponującej, bo liczącej aż trzysta siedemdziesiąt dziewięć pozycji bibliografii oraz dwóch dodatków.

Rozdziały rozprawy opisujące badania nad przepływem kolektywnym poprzedzone są krótkim rozdziałem wprowadzającym w tematykę relatywistycznych zderzeń jądrowych. Następnie opisano anizotropowy przepływ w zderzeniach relatywistycznych jonów, jego genezę oraz teoretyczne i eksperymentalne metody analizy przepływu. Przedyskutowano najbardziej specyficzną, zdaniem autora rozprawy, cechę przepływu kolektywnego mianowicie jego fluktuacje od przypadku do przypadku zderzenia.

W rozdziale czwartym przedyskutowano fluktuacje pędu poprzecznego w ultra-centralnych zderzeniach ołów-ołów. W szczególności pokazano, że szybkie zmniejszanie się wariancji rozkładu $[p_T]$ obserwowane z danych eksperymentu ATLAS może być wytłumaczone w ramach prostego modelu zakładającego gaussowskie korelacje między liczbą wyprodukowanych cząstek w zderzeniu a średnim pędem poprzecznym na wyprodukowaną cząstkę. Następnie przeanalizowano wyższe momenty rozkładu $[p_T]$, skośność i kurtozę. Przedstawiono przewidywania modelu autora dla tych wielkości w ultra-centralnych zderzeniach jądrowych i porównano je z istniejącymi danymi eksperymentalnymi.

W rozdziale piątym zbadano korelacje pomiędzy $[p_T]$ a kwadratami współczynników harmonicznych przepływu, v_n^2 . Wyznaczono współczynnik korelacji Pearsona między tymi wielkościami. Zaproponowano nowe, znormalizowane i skalowane symetryczne kumulanty wyższych rzędów, które mogą stać się użytecznymi miarami korelacji wyższego rzędu. Dodatkowo, wyznaczono współczynnik korelacji pomiędzy $[p_T]$ a zależnym od pędu przepływem harmonicznym, który jest niezależny od wybranego do analizy zakresu pędu poprzecznego i może być czuły na pewne wielkości charakteryzujące stan początkowy, jak rozmiar nukleonu. Na koniec zaproponowano mierzalne eksperymentalnie sposoby wyznaczenia tych korelacji poprzez użycie znormalizowanej kowariancji. Dlaczego użyto v_n^2 a nie, na przykład, v_n ?

W rozdziale szóstym przedyskutowano sposoby wyznaczania współczynników deformacji kształtu jąder atomowych w zderzeniach relatywistycznych jonów. W szczególności pokazano jak współczynnik deformacji kwadrupolowej β_2 jądra uranu 238 może być wyznaczony poprzez badanie korelacji pomiędzy $[p_T]$ a kwadratami współczynników harmonicznych przepływu, v_n^2 oraz współczynników łamania faktoryzacji w centralnych zderzeniach uran-uran.

Warto zaznaczyć, że cała rozprawa doktorska, napisana w języku angielskim, została zredagowana w sposób bardzo staranny i logiczny. Bibliografia jest trafnie dobrana i uwzględnia najnowsze prace z tematyki dotyczącej fluktuacji i korelacji w zderzeniach relatywistycznych jonów, co wskazuje, że autor na bieżąco śledzi najnowsze osiągnięcia i postęp w badaniach. Materiał graficzny zawarty w rozprawie dobrze ilustruje omawiane badania i osiągnięte wyniki. Rozprawa jest przejrzysta, prezentowane zagadnienia są jasno omawiane. W ocenianej rozprawie znalazłem kilka punktów, które wymagają komentarza autora:

1) W rozdziale 2.3 autor opisuje modele typu Glauber Monte Carlo. W szczególności podaje dwie postacie profilu ranienia nukleon-nukleon: przybliżenie twardej sfery i tak zwany „gaussowski” profil ranienia. Jeśli założymy możliwość fluktuacji od zderzenia do zderzenia

nieelastycznego przekroju czynnego nukleon-nukleon, σ , w postaci $\omega = Var(\sigma)/\langle\sigma\rangle^2$, to dyskutowane w dysertacji profile ranienia są wartościami granicznymi: dla $\omega \rightarrow 0$ mamy przybliżenie twardej sfery; dla $\omega \rightarrow 1$ – profil gaussowski. W tym scenariuszu możliwe są, oczywiście, również kształty profili ranienia dla $\omega > 1$ (duże fluktuacje w porównaniu z maksymalnymi wartościami obserwowanymi eksperymentalnie $\omega \approx 0.4$). Czy możliwe są profile ranienia pomiędzy profilem zadanym przybliżeniem twardej sfery a profilem gaussowskim (dla $0 < \omega < 1$)? Jaka jest ich postać analityczna?

2) Jakie może być źródło „falek” (zagięcie rozkładu w okolicy $p_T = 10 \text{ GeV}/c$) obserwowanych w rozkładach pędu poprzecznego zmierzonych w eksperymentach ALICE i ATLAS (Rys. 3.4)?

3) W przeciwieństwie do tego co pisze autor na stronie 141 dysertacji, w eksperymentach badających zderzenia ciężkich jonów wykorzystywane są nie tylko jądra o zdeformowanym kształcie. Jaki kształt będą miały jądra sferycznie symetryczne a jaki jądra zdeformowane w układach środka masy i laboratoryjnym w trakcie relatywistycznego zderzenia?

4) W dodatku B.3, na 191 stronie rozprawy autor pisze, że rozkład prawdopodobieństwa liczby wyprodukowanych cząstek w zderzeniach relatywistycznych jonów przy ustalonym parametrze zderzenia jest w przybliżeniu gaussowski. Rozkłady krotności są rozkładami dyskretnymi...

5) W tym samym dodatku autor pokazuje niezwykle interesujący rysunek (Fig. B.2), na którym przedstawiona jest zależność wariancji rozkładu krotności od wartości średniej krotności w zderzeniu. Ewidentnie, wariancja jest nieliniową funkcją średniej krotności. Ciekawe byłoby zobaczyć rysunek, na którym widać zależność skalowanej wariancji rozkładu krotności $Var(N_{ch})/\langle N_{ch} \rangle$ w funkcji centralności zderzenia wyrażonej, na przykład, liczbą uczestniczących w zderzeniu nukleonów? Jak (czym) można wyjaśnić niemonotoniczną zależność skalowanej wariancji rozkładu krotności w funkcji centralności zderzenia?

Rozprawa doktorska pana Rupama Samanty jest oparta na sześciu publikacjach naukowych, które ukazały się w jednym z najlepszych specjalistycznych czasopism naukowych, Physical Review C. Cztery publikacje zostały przygotowane we współpracy z promotorem pracy - prof. Bożkiem, a dwie pozostałe we współpracy z innymi wybitnymi ekspertami w tematyce dynamiki kolektywnego przepływu, w tym prof. Ollitrault, który uważany jest za jednego z odkrywców zjawiska kolektywnego przepływu cząstek wyprodukowanych w zderzeniach relatywistycznych jonów. Forma przedstawionej rozprawy doktorskiej stanowi bezsprzecznie wartość dodaną, będąc dowodem, iż przeprowadzone badania zostały już przyjęte, pozytywnie zrecenzowane, co stanowi potwierdzenie ich istotności w przestrzeni naukowej.

3. Wniosek końcowy

Z przyjemnością zapoznałem się z rozprawą doktorską pana Rupama Samanty. Odwaga i bardzo duża samodzielność w formułowaniu problemów badawczych oraz waga uzyskanych wyników nie budzą u mnie wątpliwości, że mamy do czynienia z dysertacją na bardzo wysokim poziomie. Wyniki przedstawione w rozprawie jednoznacznie wykazują na istotne osiągnięcia Rupama Samanty w dziedzinie fizyki teoretycznej. Zbadał ważne problemy dynamiki kolektywnego przepływu cząstek wyprodukowanych w zderzeniach relatywistycznych ciężkich jonów i rozwiązał zagadnienia związane z fluktuacjami i korelacjami między kolektywnymi obserwabłami. Rezultaty naukowe opisane w rozprawie pokazują, że Rupam Samanta jest specjalistą w tej dziedzinie, wykazującym oryginalne podejście i techniczne umiejętności. Potrafi z sukcesem analizować i rozwiązywać skomplikowane problemy badawcze. Jestem pod wrażeniem jasności treści przedstawionych w jego rozprawie doktorskiej. Badania wykonane przez pana Samantę i jego współpracowników pozwoliły wyjaśnić podstawowe pojęcia w skomplikowanym problemie dynamiki kolektywnej w zderzeniach relatywistycznych ciężkich jonów.

Podsumowując stwierdzam, że recenzowana rozprawa spełnia wymagania ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki określonej w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (z późn. zm.) i wnioskuję o jej dopuszczenie do dalszych etapów postępowania o nadanie stopnia doktora w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych w dyscyplinie nauki fizyczne. Jednocześnie, ze względu na wysoki poziom naukowy dysertacji oraz rangę naukową opublikowanych wyników wnoszę o jej wyróżnienie.



Signed by /
Podpisano przez:

Maciej Andrzej
Rybczyński

Date / Data:
2024-08-26 11:10

