

Prof. dr hab. Grzegorz Wilk
Departament Badań Podstawowych
Narodowe Centrum Badań Jądrowych
Ul. Hoża 69; 00-681 Warszawa

15 maja 2015 r.

RECENZJA

pracy habilitacyjnej Dra Adama Bzdaka

p.t. Warunki początkowe i ewolucja materii w zderzeniach jądro-jądro, proton-jądro i proton-proton.

Na przedstawioną pracę habilitacyjną składa się cykl jedenastu wybranych publikacji (kopie których zostały załączone) stanowiących osiągnięcie naukowe pod zbiorczym tytułem: *Warunki początkowe i ewolucja materii w zderzeniach jądro-jądro, proton-jądro i proton-proton*. Uzupełnia go autoreferat będący przewodnikiem po tych publikacjach i zawierający również inne potrzebne dane o dr A. Bzdaku. Załączony jest też osobny spis wszystkich publikacji habilitanta wraz z informacją o jego osiągnięciach dydaktycznych i popularyzatorskich.

Dr Bzdak jest absolwentem UJ gdzie w 2003 r. uzyskał (z wyróżnieniem) stopień magistra a w r. 2007 się doktoryzował (również z wyróżnieniem). W tym okresie uczestniczył w 3 dwumiesięcznych programach dla młodych studentów (w King's College w Londynie, w DESY w Hamburgu oraz w ETS² w Trento). Po doktoracie przebywał na trzech stażach podoktorskich: na Uniwersytecie Alberta w Edmonton (5 miesięcy w 2007/2008 r.), w LBNL, Berkeley, CA (w sumie 20 miesięcy w latach 2009-2011, częściowo jako stypendysta FNP, program KOLUMB – 1 rok, częściowo jako zatrudniony w LBNL) oraz w RIKEN BNL (w sumie 40 miesięcy w latach 2011-2014). W przerwie pomiędzy tymi stażami pracował ponad rok (w latach 2008/2009) w IFJ PAN w Krakowie a od końca 2014 r. pracuje w AGH, w Krakowie.

Dr Adam Bzdak jest autorem lub współautorem 40 publikacji (nie licząc opublikowanych doniesień konferencyjnych), w tym 13 jest tylko jego autorstwa, 17 to publikacje z dwoma autorami, 8 z trzema autorami, a 2 z czterema. Trzy dalsze publikacje są wysłane do druku. Po doktoracie powstało 28 z tych publikacji. Należy nadmienić, że w większości są to prace na wysokim poziomie. Ich sumaryczny impact factor według listy Journal Citation Reports, zgodnie z rokiem publikacji, wynosi 147; liczba cytowań (według Web of Science, bez autocytowań), wynosi 427, a indeks Hirscha 14.

Na cykl przedstawionych 11 prac (wybranych z lat 2008-2014) składają się: dwie prace samodzielne, 7 prac z jednym współautorem i dwie prace z dwoma współautorami. Wszystkie prace pochodzą z najbardziej renomowanych czasopism naukowych w tej dziedzinie (3 z Phys.Rev.Lett., 4 z Phys.Rev.C., 3 z Phys.Lett.B i 1 z Nucl.Phys.A). Z przedstawionych oświadczeń wynika, iż w żadnej z tych prac udział habilitanta nie był mniejszy niż 50%.

Przedłożony cykl prac przedstawia wkład habilitanta w jedno z podstawowych zagadnień fizyki ultra-relatywistycznych zderzeń AA, pA i pp, badanych ostatnio na akceleratorach RHIC (Brookhaven) i LHC w CERN-ie. Jest to pytanie jak właściwie wygląda wyprodukowana tam materia zaraz po zderzeniu, jak można ją zdefiniować, jak opisać, jakie

ma własności, w jaki sposób można ją doświadczalnie zobaczyć i jak ewoluuje aby w końcu stać się obserwowanymi w doświadczeniach cząstkami. Wiedza ta jest niezbędna do wszelkich dalszych oszacowań, stanowi bowiem warunki początkowe wszelkich podejść typu termodynamicznego ukierunkowanych na badanie ewentualnych przejść fazowych pomiędzy różnymi formami tej materii (np. pomiędzy hadronami a tzw. plazmą kwarkowo-gluonową). Dr Bzdak posłużył się w swoich analizach tego problemu bardzo prostym, ale jak udało mu się pokazać, pełnym niewykorzystanych poprzednio możliwości, modelem tzw. "zranionych nukleonów" (WNM). W najprostszym do pomyślenia scenariuszu, zderzenia pA lub AA przedstawiane są jako superpozycja zderzeń proton-proton (pp). W wyniku tego liczba produkowanych cząstek powinna być proporcjonalna do liczby elementarnych zderzeń nukleon-nukleon, N_{coll} . Szybko jednak okazało się, że tak jest tylko (w przybliżeniu) dla cząstek produkowanych z dużym pędem poprzecznym p_T . Większość cząstek, produkowanych z $p_T \leq 500$ MeV, nie spełnia tego oczekiwania. To doprowadziło do wprowadzenia modelu WNM, w którym liczba wyprodukowanych cząstek skaluje się z liczbą nukleonów, które choć raz oddziały nieelastycznie, N_{part} , czyli „zranionych”. Model ten, sformułowany bardzo dawno temu, bo jeszcze w 1976 r., okazał się być, po odpowiednich modyfikacjach, bardzo pożyteczną platformą do opisu wielu ważnych aspektów procesów zderzeń pA i AA. W pracy [H11] rozszerzono dalej WNM wprowadzając pojęcie „zranionych” w stanie początkowym kwarków i dikwarków (składających się na nukleon). W ten sposób otrzymano szybszy wzrost liczby wyprodukowanych cząstek w porównaniu z klasycznym WNM i lepszą zgodność z doświadczeniem. Dobierając odpowiednio funkcje fragmentacji kwarku i dikwarku w rapidity, model ten, mimo swojej nadal wyjątkowej prostoty, pozwala na jednoczesne wytłumaczenie danych d+Au i Au+Au dla wszystkich centralności i wartości rapidity y .

W pracy [H10] wprowadzono do WNM następną modyfikację, a mianowicie uwzględniono możliwość fluktuacji, od przypadku do przypadku, liczby zranionych nukleonów w zderzeniach A+A. Tego typu fluktuacje prowadzą w sposób naturalny do wystąpienia długozasięgowych korelacji krotności w rapidity (w szczególności korelacji cząstek produkowanych "do przodu" (F) i "do tyłu" (B)) obserwowanych doświadczalnie. Ponieważ zaś tego typu niestatystyczne fluktuacje stanowią cenne źródło informacji o dynamice procesu produkcji, fluktuacje wynikające z samych tylko warunków początkowych powinny być eliminowane przed ostateczną analizą danych. Temu właśnie celowi służą wyniki pracy [H10], które z tego powodu są bardzo cenne dla każdej poprawnej interpretacji danych doświadczalnych.

Temat ten jest kontynuowany w pracy [H8] (o bardziej już technicznym charakterze). Pokazano tam, że współczynnik korelacji krotności pomiędzy grupami cząstek (F) i (B), b , nie może być większy niż 0.5 jeśli tylko ustala się liczbę cząstek w obszarze centralnym (dla rapidity $y = 0$), a pomiar współczynnika korelacji jest wykonany w dwóch przedziałach rapidity ulokowanych symetrycznie wokół obszaru $y = 0$. Dane STAR w centralnych zderzeniach Au+Au pokazują, że $b \sim 0.6$, co, według pracy [H8] oznacza, że dwa okna w rapidity umieszczone symetrycznie wokół $y = 0$ są mocniej skorelowane, niż bliżej położone okna rozmieszczone asymetrycznie wokół $y = 0$ (a to z kolei oznacza to, że funkcja korelacji zależy zarówno od $y_1 - y_2$, jak i od $y_1 + y_2$) i sugeruje powstawanie w obszarze centralnym dużego klastra materii hadronowej. W oparciu o ten wynik, w pracy [H6] zaproponowano badanie fluktuacji kształtu wyprodukowanej materii w rapidity poprzez rozkładanie w każdym pojedynczym przypadku liczby cząstek w rapidity, dN/dy , na wielomiany Czebyszewa, współczynniki którego niosłyby analogiczną informację jak eliptyczny czy trójkątny

współczynnik przyływu w kierunku poprzecznym. Okazuje się, że takie fluktuacje kształtu wyprodukowanej materii w rapidity prowadzą do nietrywialnych długozasięgowych korelacji w rapidity. Ta stosunkowo nowa jeszcze praca zasługuje, według mnie, na zainteresowanie tą techniką eksperymentatorów na LHC.

Prace [H9] i [H7] poświęcone są innej już tematyce, ale nadal z fluktuacjami w tle. W pracy [H-9] po raz pierwszy zbadano pola elektryczne i magnetyczne powstające w zderzeniach A+A uwzględniając fluktuacje położenia nukleonów w jądrze. Pokazano, że w każdym przypadku powstaje olbrzymie pole B nie tylko w kierunku prostopadłym do płaszczyzny reakcji ale, dzięki fluktuacjom funkcji falowej jąder, także w kierunku podłużnym do płaszczyzny reakcji. Praca ta jest obecnie szeroko cytowana w literaturze zajmującej się zagadnieniami związanymi z efektami topologicznymi w QCD, a jej wartość dodatkowo podnosi fakt, że zaproponowano w niej również sposób pomiaru przewodności elektrycznej plazmy kwarkowo-gluonowej.

Kontynuacją pracy [H9] jest praca [H7]. Zaproponowano w niej nową metodę pomiarową, pozwalającą rozstrzygnąć czy obserwowany ostatnio doświadczalnie współczynnik przepływu eliptycznego dla fotonów, v_2 , pochodzi rzeczywiście od pola magnetycznego, czy jest raczej odzwierciedleniem eliptycznego kształtu wyprodukowanej materii. Nie wchodząc w szczegóły, należy tylko nadmienić, iż praca okazała się na tyle interesująca i ważna by zainteresować zaproponowaną techniką pomiarową kolaborację PHENIX, w której tego typu procesy są badane.

W pozostałej grupie prac [H1-H5] dr Bzdak zajął się innym tematem. Zderzenia pA i przypadki z dużą krotnością wyprodukowanych cząstek w zderzeniach pp pozwalają na szczegółowe badania stanu początkowego i ewolucji powstałej w nich materii. Wydaje się, że powstają małe krople gorącej materii, najprawdopodobniej silnie oddziałującej plazmy kwarkowo-gluonowej, które ewoluują zgodnie z równaniami hydrodynamiki. Konkurencyjne interpretacje, jak model kondensatu szkła kolorowego (CGC) lub modele kaskadowe (np. tzw typu AMPT – "multiphase transport model") opierają się bardziej na chromodynamice kwantowej, QCD. W pracach [H1-H5] dr Bzdak zajął się szczegółowo badaniem, czy istnieją obecnie wskazania, które z tych podejść najlepiej opisuje dane doświadczalne.

W pracy [H5] dr Bzdak powrócił znowu do WNM. Używając tego modelu pokazano, że średni pęd poprzeczny zmierzony w zderzeniach pA jest zawsze większy niż wynikałoby to z superpozycji zderzeń pp. Wynik ten sugeruje, że w zderzeniach pA mamy jednak pewną nową fizykę w stosunku do zderzeń pp, która okazuje się zależeć od rodzaju produkowanych cząstek. Jest to wynik oczekiwany w opisie hydrodynamicznym gdzie cząstki, dzięki radialnemu przepływowi, uzyskują dodatkowy pęd poprzeczny rosnący z masą cząstki. Obserwacja ta nie przesądza jednak o obecności efektów kolektywnych w zderzeniach pA, podobne zachowanie obserwuje się bowiem również w modelu CGC, jeśli przyjmiemy w nim, że tzw. skala saturacji rośnie z liczbą wyprodukowanych cząstek.

W pracy [H4] zaproponowano zatem nowy test modelu CGC w zderzeniach pA. W WNM liczba cząstek w $y = 0$ rośnie liniowo z liczbą zranionych nukleonów, N_{part} . W podejściu CGC, w tym obszarze klasyczne pola gluonowe z różnych nukleonów jądra przekrywają się, dochodzi do saturacji gluonów a wtedy uaktywniają się procesy nieliniowej fuzji gluonów

spowalniające ich wzrost z N_{part} , w wyniku czego liczba wyprodukowanych gluonów rośnie jedynie jak logarytm N_{part} . Jeśli zatem obserwowana liczba wyprodukowanych cząstek rośnie liniowo z N_{part} oznacza to, że nie obserwujemy saturacji gluonów w jądrze. Dla porównania, w obszarze fragmentacji jądra, w którym, spodziewamy się braku efektów saturacyjnych, oczekuje się, że liczba cząstek w tym obszarze rośnie liniowo z N_{part} także w modelu CGC. Wyniki te oczekują teraz na swoją weryfikację doświadczalną.

W pracy [H3] zbadano jeszcze inny sposób na rozstrzygnięcie czy stan początkowy w pA można opisać za pomocą CGC. Jest to pomiar pędu poprzecznego wyprodukowanych cząstek w funkcji rapidity y . W modelu hydrodynamicznym średni pęd poprzeczny w zderzeniach pA maleje w funkcji y , natomiast w CGC obserwuje się efekt przeciwny. Obserwacja ta powinna pozwolić na lepsze zrozumienie fizyki zderzeń pA.

Jednym z najmocniejszych argumentów przemawiających za fizyką kolektywną (do jakiej należy hydrodynamika lub model kaskadowy) jest przybliżona równość tzw. wielocząstkowych kumulantów przepływu eliptycznego dla 4, 6, 8 itd. cząstek. Dzieje się tak dlatego, że w modelach kolektywnych źródło korelacji jest globalne (w przeciwieństwie do np. rozpadu rezonansów będących lokalnym źródłem korelacji). W pracy [H2] pokazano, że w zderzeniach pA 2-cząstkowe kumulanty przepływu eliptycznego i trójkątne powinny być większe od 4-cząstkowych, które z kolei powinny być, z dobrym przybliżeniem, takie same jak 6- i 8-cząstkowe. Wynik ten jest nietrywialny z uwagi na fakt, że wyższe kumulanty są bardzo czułe na szczegóły przestrzennego rozkładu materii w stanie początkowym. W konwencjonalnym CGC taka relacja jest zupełnie nieoczywista. Wstępne dane kolaboracji CMS dla zderzeń pA i peryferycznych zderzeń AA wydają się wyraźnie wskazywać na występowanie w tych procesach zachowania kolektywnego.

Ostatnim problemem poruszonym w przedstawionej prezentacji jest pokazanie w pracy [H1], że w podejściu kaskadowym, realizowanym w ramach modelu AMPT, gdzie rygorystyczne założenia modelu hydrodynamicznego nie są w ogólności spełnione, elastyczne niekoherentne zderzenia pomiędzy partonami pozwalają na znakomity opis danych pp i pA z całkiem rozsądnym partonowym przekrojem czynnym $\sim 1.5-3$ mb. Okazuje się, że wystarcza tylko średnio dwa zderzenia na parton aby dobrze opisać dane doświadczalne, co wydaje się tłumaczyć fakt, że hydrodynamika z takim powodzeniem opisuje dane pA..

Kończąc omówienie naukowych osiągnięć dra A. Bzdaka należy koniecznie nadmienić, iż jest on też znany z innych jeszcze prac dotyczących fizyki wysokich energii, jak:

- (i) poszukiwanie punktu krytycznego QCD poprzez pomiary wyższych kumulantów liczby barionowej,
- (ii) interpretacja danych pod kątem poszukiwania magnetycznego efektu chiralnego, (iii) badanie ekskluzywnych procesów produkcji bozonu Higgsa i innych stanów końcowych z podwójną wymianą pomeronu,
- (iv) poszukiwanie tzw. odderonu w procesach ekskluzywnej produkcji cząstki J/ψ ,
- (v) badanie funkcji falowej pionu w modelu efektywnym, (vi) badanie pierwiastka z równania Diraca (pozwalające na wyprowadzenie supersymetrii wraz z równaniami Maxwella i Yang-Millsa).

Jeśli chodzi o inną działalność dra Adama Bzdaka to należy wspomnieć, że uczestniczył on (jako wykonawca) w grantie NCN (w latach 2009-2012) oraz w grantie promotorskim MNiSW podczas swojej pracy nad doktoratem (w latach 2006-2007). Obecnie jest uczestnikiem grantu NCN rozpoczętego w 2014 r. Wygłosił on również 19 referatów na różnych międzynarodowych (14) i krajowych (5) specjalistycznych konferencjach tematycznych. Jego dorobek dydaktyczny nie jest bogaty, zapewne z powodu długotrwałych staży zagranicznych, a w międzyczasie pracy w IFJ PAN. Podczas nich jedynie na Uniwersytecie Alberta prowadził zajęcia z fizyki statystycznej, a pozostałe zajęcia ze studentami prowadził w okresie studiów doktoranckich na UJ. Godne jednak odnotowania jest to, że dwie z jego prac wykonanych w RIKRN zostały uznane za na tyle istotne i ciekawe by je przedstawić, przy jego istotnym wkładzie, w postaci artykułów popularnonaukowych dostępnych w sieci. Należy też odnotować rosnącą ostatnio rozpoznawalność dra Bzdaka co przejawiało się sześcioma zaproszonymi wykładami na seminariach w różnych ośrodkach USA i Kanady (w latach 2013-2014). Był też, jako student, beneficjentem stypendium MEN-u i UJ, jako doktorant beneficjentem stypendium FNP (program START, 2006 i 2007), a po doktoracie, również beneficjentem stypendium FNP (program KOLUMB, 2009).

Podsumowując, uważam, że zarówno przedstawiona praca habilitacyjna Dra Adama Bzdaka jak i całokształt jego dorobku naukowego spełniają wszelkie warunki wymagane do nadania mu stopnia da habilitowanego.

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'P. Wiliński', written in a cursive style.

