

Kraków, 26.05.2015

Prof. dr hab. inż Mariusz Przybycień  
Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej  
Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica

**Ocena dorobku naukowo-badawczego, dydaktycznego i organizacyjnego  
oraz osiągnięcia naukowego pt. "Warunki początkowe i ewolucja  
materii w zderzeniach jądro-jądro, proton-jądro i proton-proton"**

**dr Adama Bzdaka**

**w postępowaniu kwalifikacyjnym o nadanie stopnia doktora habilitowanego**

Pan dr Adam Bzdak ukończył z wyróżnieniem studia magisterskie z fizyki teoretycznej na Uniwersytecie Jagiellońskim w Krakowie w roku 2003. Rozprawę doktorską, przygotowaną w ramach studiów doktoranckich również na Uniwersytecie Jagiellońskim, obronił (z wyróżnieniem) w roku 2007, uzyskując stopień doktora nauk fizycznych w dyscyplinie fizyka.

### **1. Ocena osiągnięcia habilitacyjnego**

Jako osiągnięcie naukowe wynikające z art. 16 ust. 2 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 ze zm.), Habilitant wskazał cykl 11 prac opublikowanych w latach 2008 - 2014 pod wspólnym tytułem "Warunki początkowe i ewolucja materii w zderzeniach jądro-jądro, proton-jądro i proton-proton". Wszystkie prace wchodzące w skład cyklu są spójne tematycznie i dają całościowy obraz dokonań Habilitanta w zakresie zadeklarowanym w tytule. Zostały opublikowane w wiodących międzynarodowych czasopismach z bazy Journal Citation Report (JCR): Physical Review Letters (3 prace), Nuclear Physics A (1), Physics Letters B (3), Physical Review C (4). Prace wchodzące w skład cyklu są bądź jednoautorskie bądź maksymalnie liczą trzech współautorów. We wszystkich wymienionych pracach wkład Habilitanta jest dominujący, co zostało potwierdzone pisemnie przez współautorów. Prace wchodzące w skład cyklu były w sumie cytowane 188 razy, w tym tylko 14 autocytowań, co świadczy o dużym zainteresowaniu pracami Habilitanta w międzynarodowej społeczności fizyków cząstek elementarnych.

Tematyka badań prowadzonych przez Habilitanta to próba zrozumienia oraz modelowego opisu stanu początkowego w ultrarelatywistycznych zderzeniach ciężkich jonów i protonów. W zderzeniach tego typu może być produkowany nowy stan materii, tak zwana plazma kwarkowo-gluonowa (QGP), która jak się przypuszcza ewoluuje zgodnie z równaniami hydrodynamiki relatywistycznej. Należy podkreślić, że jest to tematyka obecnie bardzo istotna i aktualna. Badania eksperymentalne zderzeń protonów i ciężkich jonów prowadzone są od kilkudziesięciu lat przy coraz wyższych energiach w układzie środka masy. A od kilku lat, po uruchomieniu akceleratora LHC w CERN, badania te weszły w nowy etap i w latach kolejnych oczekuje się

napływu ogromnej ilości nowych, bardzo precyzyjnych wyników eksperymentalnych przy coraz wyższych, wcześniej nieosiągalnych, energiach zderzających się wiązek ciężkich jonów i/lub protonów. Cykl prac przedstawionych przez Habilitanta jest ważnym wkładem od strony teoretycznej do tego istotnego zagadnienia z dziedziny fizyki cząstek elementarnych. Szczegółowy zakres prac Habilitanta najlepiej poznać studiując uważnie publikacje wchodzące w skład cyklu. Poniżej przedstawię tylko skrócony opis najważniejszych, moim zdaniem, zagadnień poruszanych w pracach tego cyklu.

Powszechnie zakłada się, że zasadnicza różnica pomiędzy zderzeniami jądro-jądro (AA) oraz proton-jądro (pA) a zderzeniami proton-proton (pp) bierze się z efektywnej liczby oddziałujących nukleonów. W szczególności dane eksperymentalne potwierdzają, że liczba cząstek o dużym pędzie poprzecznym ( $p_T > 500$  MeV) produkowanych w centralnym obszarze rapidity jest proporcjonalna do liczby elementarnych zderzeń nukleon-nukleon,  $N_{\text{coll}}$ . Jednak nie jest to prawdą w przypadku cząstek o małym pędzie poprzecznym produkowanych w zderzeniach pA, których liczba skaluje się z liczbą nukleonów które oddziaływały nieelastycznie (tzw. zranionych),  $N_{\text{part}}$ . W zderzeniach AA liczba produkowanych cząstek jest mniejsza niż by to wynikało ze skalowania z  $N_{\text{coll}}$ , ale większa niż przewidywania skalowania z  $N_{\text{part}}$ . Satysfakcjonujący opis danych przy różnych energiach można otrzymać zakładając skalowanie z  $N_{\text{part}}$ , uwzględniając jednak dodatkowe cząstki pochodzące z dżetów, których liczba skaluje się z  $N_{\text{coll}}$ .

W przedstawionym cyklu prac Habilitant zaproponował inne podejście pozwalające na opis danych AA, pA i pp bez rozważania członu proporcjonalnego do  $N_{\text{coll}}$ , bazujące na tzw. modelu zranionych (tzn. oddziałujących nieelastycznie) kwarków i dikwarków. W modelu tym proton wielokrotnie oddziałujący w QGP zwiększa liczbę swoich składników, które oddziaływały nieelastycznie, co w połączeniu z odpowiednią funkcją fragmentacji kwarków i dikwarków pozwala na opis danych eksperymentalnych w szerokim zakresie rapidity i centralności zderzenia.

Szeroko stosowaną metodą badania stanu początkowego w ultrarelatywistycznych zderzeniach hadronów jest obserwacja długozasięgowych korelacji w rapidity. Tego typu korelacje nie mogą pojawić się na późnym etapie ewolucji wyprodukowanego w zderzeniu układu, kiedy ekspansja w rapidity zdążyła już rozseparować cząstki. Tuż po kolizji układ jest jednak na tyle mały, że korelacje mogą powstać w całym jego obszarze. Nie wszystkie źródła długozasięgowych korelacji w rapidity mają równie istotne znaczenie przy próbie zrozumienia stanu początkowego. Jednym z takich efektów, jak pokazuje Habilitant, są długozasięgowe korelacje krotności wynikające z fluktuacji liczby zranionych nukleonów w zderzeniach AA. Eliminacja tego typu korelacji jest istotna dla poprawnej interpretacji danych eksperymentalnych. Można tego dokonać wykonując pomiar korelacji krotności przód-tył przy ustalonej liczbie cząstek w centralnym obszarze rapidity. W kolejnej pracy Habilitant pokazuje, że ustalając liczbę cząstek produkowanych w centralnym obszarze rapidity, współczynnik korelacji pomiędzy symetrycznymi wokół  $y = 0$  przedziałami rapidity nie może być większy niż 0.5.

Korelacje w kącie azymutalnym wynikające z fluktuacji kształtu wyprodukowanej materii w kierunku poprzecznym są badane w zderzeniach AA od dawna poprzez pomiar współczynnika przepływu eliptycznego i innych. Ciekawym pomysłem Habilitanta jest badanie fluktuacji kształtu wyprodukowanej materii w rapidity. Można tego dokonać mierząc odpowiednie współczynniki w rozkładzie liczby cząstek w rapidity na wielomiany Czebyszewa. Tego typu fluktuacje kształtu prowadzą do nietrywialnych korelacji długozasięgowych w rapidity.

W niecentralnych zderzeniach AA generowane jest bardzo silne pole magnetyczne. Ze względu na fluktuacje położenia nukleonów w jądrze pole magnetyczne generowane jest nie tylko w

kierunku prostopadłym do płaszczyzny reakcji, ale także w kierunku podłużnym. Z kolei silne pole elektryczne w początkowej fazie ewolucji może generować mierzalne prądy, a to można wykorzystać do pomiaru przewodności elektrycznej plazmy kwarkowo-gluonowej. Pole magnetyczne w zderzeniach AA może także prowadzić do znaczącego współczynnika przepływu eliptycznego dla fotonów. W jednej z prac cyklu Habilitant zaproponował metodę pomiarową, która pozwoli rozstrzygnąć czy współczynnik przepływu eliptycznego dla fotonów jest konsekwencją pola magnetycznego czy też odzwierciedleniem eliptycznego kształtu wyprodukowanej materii. Samo pole magnetyczne, przy ustalonej centralności zderzenia, nie zależy od kształtu systemu.

Do opisu materii produkowanej w zderzeniach protonów i ciężkich jonów, wykorzystywane są także inne niż plazma kwarkowo-gluonowa modele. Najbardziej popularne to model kondensatu szkła kolorowego (CGC) oraz modele kaskadowe. W kolejnych pracach cyklu Habilitant zajmuje się właśnie badaniem tych modeli. W szczególności np. rachunki kaskadowe w ramach modelu AMPT sugerują, że elastyczne niekoherentne zderzenia pomiędzy partonami dają bardzo dobry opis danych pp i pA. Z kolei pomiar pędu poprzecznego produkowanych cząstek w funkcji rapidity może posłużyć do weryfikacji czy stan początkowy w zderzeniach pA może być opisywany za pomocą modelu kondensatu szkła kolorowego.

Większość rachunków wykonanych przez Habilitanta dotyczy prób zrozumienia danych z eksperymentów na akceleratorze RHIC. Jest to zrozumiałe ze względu na jego wieloletni staż w BNL, podczas którego powstała większość prac wchodzących w skład cyklu. Oczekuje się, że eksperymenty na LHC pozwolą na bardziej precyzyjne pomiary korelacji niż jest to możliwe na RHIC. Dlatego prace Habilitanta będą z pewnością jeszcze przez długi czas stymulować badania eksperymentalne w tej dziedzinie. Sam jako fizyk doświadczalny pracujący w eksperymencie ATLAS na LHC wielokrotnie korzystałem z idei zawartych w pracach Habilitanta.

## **2. Ocena dorobku naukowo-badawczego, dydaktycznego i organizacyjnego**

Oprócz 11 prac wchodzących w skład omówionego cyklu, Habilitant jest autorem lub współautorem kolejnych 30 prac w czasopismach z bazy JCR, z których większość powstała po otrzymaniu stopnia doktora. Prace te dotyczą różnorodnych zagadnień nie wchodzących bezpośrednio w skład osiągnięcia habilitacyjnego, takich jak: poszukiwanie punktu krytycznego QCD, poszukiwanie magnetycznego efektu chiralnego, badanie procesów ekskluzywnej produkcji cząstek z podwójną wymianą pomeronu, poszukiwanie odderonu w procesach ekskluzywnej produkcji  $J/\Psi$ , czy też badania funkcji falowej pionu w modelu efektywnym. Świadczy to o rozległych zainteresowaniach i wiedzy Habilitanta, wykraczających daleko poza cykl publikacji przedstawiony jako osiągnięcie naukowe w postępowaniu habilitacyjnym. Prace Habilitanta były w sumie cytowane ponad 500 razy (bez autocytowań), przy czym liczba cytowań szybko rośnie w ostatnich latach, co świadczy zarówno o aktualności tematyki badań podejmowanych przez Habilitanta jak i jego międzynarodowej pozycji. Indeks  $h$  prac Habilitanta jest wysoki i wynosi 15. Habilitant wygłosił 19 referatów na międzynarodowych warsztatach i konferencjach, a także był wielokrotnie zapraszany do wygłoszenia seminariów na znanych uniwersytetach w USA. Był także recenzentem 24 publikacji w czasopismach z bazy WoS.

Po ukończeniu studiów doktoranckich na Uniwersytecie Jagiellońskim Habilitant spędził wiele lat na stażach naukowych w Kanadzie (pół roku, University of Alberta) i USA (pięć lat, laboratoria LBNL oraz BNL). Podczas pobytu w University of Alberta prowadził zajęcia

dydaktyczne z fizyki statystycznej, natomiast jeszcze w okresie studiów doktoranckich prowadził zajęcia z Podstaw Fizyki i Pracownię Fizyczną dla studentów UJ. Obecnie habilitant prowadzi zajęcia z przedmiotu Virtual Python - Symulacje fizyczne z grafiką 3D na Wydziale Fizyki i Informatyki Stosowanej AGH. Do osiągnięć Habilitanta w zakresie popularyzacji nauki zaliczyć należy dwa artykuły popularnonaukowe przygotowane w oparciu o jego prace uznane jako RIKEN Research Highlight i opublikowane na stronie phys.org.

W okresie swojej dotychczasowej kariery naukowej Habilitant był wykonawcą w trzech grantach (MNiSW oraz NCN). Został także trzykrotnie wyróżniony poprzez przyznanie mu stypendiów Fundacji na rzecz Nauki Polskiej w latach 2006, 2007 i 2009. Jest także kierownikiem w grantie OPUS przyznanym mu przez NCN w najnowszej edycji konkursów.

Podsumowując, uważam że dr Adam Bzdak jest dojrzałym i bardzo aktywnym fizykiem teoretykiem, wysokiej klasy specjalistą znanym i cenionym w środowisku międzynarodowym oraz zdolnym do samodzielnego prowadzenia działalności naukowo-badawczej. Jego dorobek naukowy, dydaktyczny i organizacyjny z nadmiarem spełnia wymagania ustawowe dotyczące uzyskania stopnia naukowego doktora habilitowanego. Dlatego z pełnym przekonaniem wnioskuję do Rady Wydziału Fizyki i Informatyki Stosowanej AGH o nadanie mu stopnia doktora habilitowanego nauk fizycznych w dyscyplinie fizyka.

*Mariusz Przybycień*

Mariusz Przybycień