

**Recenzja osiągnięć naukowo-badawczych dr Daniela Kikoły w postępowaniu habilitacyjnym pt. „Wykorzystanie pomiarów przepływów eliptycznych oraz produkcji ciężkich kwarków do badania materii w zderzeniach jądrowych w zakresie energii zderzacza RHIC”**

Pan dr Daniel Kikoła uzyskał stopień naukowy doktora nauk fizycznych na Wydziale Fizyki Politechniki Warszawskiej 27 stycznia 2011r. Rozprawę doktorską pt. „Hidden charm production in the relativistic heavy ion collisions registered in the STAR experiment”, przygotował pod kierunkiem prof. dr hab. Jana Pluty i dr Grażyny Odyniec. Po ukończeniu studiów doktoranckich w latach 2011-2013, odbył staż podoktorski w Purdue University, USA, a w 2013r. został zatrudniony na Wydziale Fizyki Politechniki Warszawskiej w Zakładzie Fizyki Jądrowej na stanowisku adiunkta, gdzie pracuje do chwili obecnej. Należy podkreślić, że w ramach studiów doktoranckich, w latach 2007-2011 przebywał w Lawrence Berkeley National Laboratory, USA, a w 2015r. uzyskał stypendium Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego dla wybitnych młodych naukowców.

Działalność naukowa dr Daniela Kikoły jest związana z fizyką zderzeń relatywistycznych ciężkich jonów przy energiach akceleratora Relativistic Heavy Ion Collider (RHIC) w Brookhaven National Laboratory, USA. Już podczas studiów doktoranckich, rozpoczyna pracę przy eksperymencie STAR, jednym z dwóch głównych eksperymentów obecnie działających przy akceleratorze RHIC. Głównym celem fizyki ciężkich jonów, w tym eksperymencie STAR jest zbadanie własności plazmy kwarkowo-gluonowej (PKG) wytwarzanej w oddziaływaniach jądrowych przy relatywistycznych energiach. Badania te są bardzo interesujące i ważne. W szczególności, w eksperymencie STAR badana jest kolektywna ekspansja gorącej i gęstej materii kwarkowo-gluonowej poprzez pomiar eliptycznego, czy też radialnego wypływu przy pomocy różnorodnych metod eksperymentalnych. Pomiaru te pozwalają określić współczynniki transportu w PKG, w szczególności współczynniki lepkości i przyczyniają się do poznania czasoprzestrzennej ewolucji układu.

Przedstawiony do recenzji cykl 9-u artykułów (oznaczonych **H1-H9**), zatytułowany „**Wykorzystanie pomiarów przepływów eliptycznych oraz produkcji ciężkich kwarków do badania materii w zderzeniach jądrowych w zakresie energii zderzacza RHIC**” stanowi główne osiągnięcie naukowe dr Daniela Kikoły w przewodzie habilitacyjnym. Wszystkie publikacje tego cyklu zostały przygotowane z dominującym wkładem Habilitanta (o udziale  $\geq 50\%$ , zgodnie z oświadczeniami o współautorstwie).

Wśród wymienionych publikacji, na szczególne wyróżnienie zasługuje artykuł wykonany w ramach eksperymentu STAR: **Physical Review C 95 (2017) 034907 (artykuł H1)**. W publikacji przedstawiono pomiar współczynnika wypływu eliptycznego,  $v_2^{\text{HF}}$ , dla elektronów ( $e^\pm$ ) pochodzących z rozpadów hadronów zawierających ciężkie kwarki  $c$  i  $b$  wytwarzanych w oddziaływaniach Au+Au przy energiach  $\sqrt{s_{NN}} = 39, 62.4$  i  $200$  GeV w układzie środka masy nukl.-nukl. Współczynniki  $v_2^{\text{HF}}$  wyznaczono przy użyciu metody dwu- i cztero-cząstkowych azymutalnych korelacji, a także w oparciu o metodę płaszczyzny reakcji (ang. event plane method). Uzyskane rezultaty są bardzo ciekawe, gdyż świadczą o występowaniu (niezerowego) wypływu eliptycznego ciężkich kwarków w oddziaływaniach Au+Au przy energii  $\sqrt{s_{NN}}=200$  GeV. Dla oddziaływań Au+Au przy energiach zderzeń  $\sqrt{s_{NN}}=39$  i  $62.4$  GeV zmierzono mniejsze wartości  $v_2^{\text{HF}}$ , aczkolwiek o dużych niepewnościach pomiarowych, które sprawiają, że uzyskane współczynniki są zgodne z zerową wartością, jak również z rezultatami uzyskanymi dla oddziaływań przy energii  $\sqrt{s_{NN}}=200$  GeV (na poziomie 1-2 sigma). Niezerowe wartości wypływu eliptycznego oznaczają, że w procesie ekspansji plazmy kwarkowo-gluonowej złożonej głównie z lekkich kwarków i gluonów, uczestniczą również ciężkie kwarki. Świadczy to o wstępowaniu

silnych sprzężeń w PKG. Przeprowadzenie tak ważnej analizy fizycznej dostarczającej cennych informacji dla modeli opisujących PKG, a następnie opublikowanie rezultatów w prestiżowym czasopiśmie jest znaczącym osiągnięciem naukowym Habilitanta. Wstępne wyniki tej analizy zostały zaprezentowane przez Habilitanta w imieniu współpracy STAR na konferencjach: SQM 2013 w Birmingham, UK, a także na konferencji DIS 2013, Marseilles, France (**artykuł H8**). Szczegóły związane z wyż. wym. analizą, w szczególności dotyczące hadronowego zanieczyszczenia próbki elektronów, czy też oszacowanie tła pochodzącego od rozpadów Dalitza zostały przedstawione w osobnej publikacji: **Advances in High Energy Physics, 2015, 385205 (artykuł H5)**. Z kolei sprawozdanie z konferencji Hot Quarks 2014 (**artykuł H9**) zawiera interesujące podsumowanie najważniejszych rezultatów eksperymentalnych dotyczących zjawisk związanych z ciężkimi kwarkami w PKG.

W publikacji **Acta Physica Polonica, B47 (2016) 2033 (artykuł H4)** Habilitant wspólnie z mgr A. Lipcem podejmują próbę oszacowania produkcji elektronów, których źródłem są tylko kwarki piękne ( $b \rightarrow e$ ) dla oddziaływań d+Au przy energii  $\sqrt{s_{NN}}=200$  GeV. W tym celu, wykorzystując widmo  $p_T$  elektronów pochodzących z rozpadów obu typów ciężkich kwarków ( $c+b \rightarrow e$ ), zmierzone przez eksperyment PHENIX, od którego odejmują oszacowany przyczynek na produkcję  $c \rightarrow e$ . Ta prosta metoda pozwala wyznaczyć oddzielne współczynniki modyfikacji jądrowej na produkcji  $c \rightarrow e$  i  $b \rightarrow e$ . Uzyskane rezultaty wskazują na niewielkie wzmocnienie produkcji  $b \rightarrow e$  w zakresie pędów poprzecznych  $3 < p_T < 7$  GeV. Rezultaty te sugerują, że tłumienie produkcji  $b \rightarrow e$  obserwowane w oddziaływaniach Au+Au przy energii  $\sqrt{s_{NN}}=200$  GeV nie jest związane z efektami zimnej materii (ang. cold nuclear effects) i świadczą, że może ono pochodzić od oddziaływań kwarków  $b$  z PKG.

Pan dr Daniel Kikoła również badał procesy fizyczne „non-flow” zaburzające pomiar azymutalnej asymetrii w oddziaływaniach jądrowych przy energii zderzeń  $\sqrt{s_{NN}}=200$  GeV. Procesy tj. produkcja dżetów, rozpady rezonansów, korelacje HBT (nie związane ze geometrią początkową układu) prowadzą do występowania dodatkowych korelacji, które utrudniają pomiar współczynników  $v_n$  związanych ze zjawiskiem wypływu. W publikacji: **Physical Review C 86 (2012) 014901 (artykuł H3)** badano procesy „non-flow” w oparciu o symulacje Monte Carlo wykorzystując program PYTHIA. Zauważono, że faktoryzacja współczynników Fouriera dla dwucząstkowej funkcji korelacji obowiązuje również dla efektów non-flow zdominowanych przez produkcję dżetów przy dużych wartościach pędów poprzecznych. Ta ciekawa obserwacja wydaje się być potwierdzona w pomiarach azymutalnego wypływu w oddziaływaniach Pb+Pb przy energii  $\sqrt{s_{NN}}=2.76$  TeV na LHC. W publikacji zaproponowano nowatorską metodę wyodrębnienia efektów non-flow poprzez globalny fit dwucząstkowych korelacji funkcją będącą superpozycją członu zależnego od współczynników wypływu i odpowiadającego mu członu użytego do opisu procesów non-flow. Wydaje się, że zastosowanie tej metody do danych doświadczalnych mogłoby dostarczyć istotnych informacji o wpływie procesów non-flow na mierzone współczynniki  $v_n$ .

Habilitant nie poprzestaje na badaniu zjawisk azymutalnego wypływu w oddziaływaniach ciężkich jonów. Zaraz po obronie pracy doktorskiej, w 2011r., dr Daniel Kikoła we wspólnej publikacji z dr G. Odyniec i dr R. Vogt: **Physical Review C 84 (2011) 054907 (artykuł H2)**, zaproponował wykorzystanie zderzeń jąder uranu do oszacowania niepewności związanych z efektami zimnej materii przy produkcji cząstek  $J/\psi$ . Ze względu na wydłużony kształt jąder U w porównaniu z kształtem jądra Au, przewidziano występowanie silniejszego efektu „cieniowania” na produkcję cząstek  $J/\psi$  dla zderzeń U+U przy orientacji podłużnej (tip-tip) niż przy orientacji poprzecznej (side-side). W publikacji tej również dokonano oszacowania gęstości energii w oddziaływaniach U+U. Przewidziano, że gęstość energii osiągnięta w oddziaływaniach U+U względem oddziaływań Au+Au przy energii zderzeń  $\sqrt{s_{NN}}=200$  GeV może wzrosnąć o 20-30%. W celu porównania produkcji mezonów  $J/\psi$  w oddziaływaniach U+U i Au+Au, w wyż.wym. publikacji zaproponowano nową wielkość fizyczną,  $R_{AuAu}^{UU}$ , zdefiniowaną jako stosunek liczby wyprodukowanych cząstek  $J/\psi$  w oddziaływaniach U+U do produkcji tych cząstek w

oddziaływaniach Au+Au, pomnożony przez  $(N_{\text{bin}}^{\text{AuAu}}/N_{\text{bin}}^{\text{UU}})^2$ , gdzie  $N_{\text{bin}}^{\text{AA}}$  jest to liczba binarnych oddziaływań nukl.-nukl. w zderzeniach AA. Zaproponowany współczynnik  $R_{\text{AuAu}}^{\text{UU}}$  pozwala na dokładniejsze badanie produkcji cząstek  $J/\psi$  w PKG niż powszechnie używany współczynnik modyfikacji jądrowej  $R_{\text{AA}}$ . Należy podkreślić, że oszacowana gęstość energii dla zderzeń U+U była wykorzystywana w innych publikacjach, a względny współczynnik modyfikacji jądrowej  $R_{\text{AuAu}}^{\text{UU}}$ , zaproponowany przez Habilitanta, został zmierzony w eksperymencie PHENIX (Phys. Rev. C93 (2016) 34903).

Pan dr Daniel Kikoła jest również aktywnie zaangażowany w przygotowanie nowego projektu: AFTER@LHC. W eksperymencie AFTER planowane jest badanie zderzeń jądrowych na stałej tarczy z wykorzystaniem dostępnych wiązek akceleratora LHC. W zderzeniach na stałej tarczy, dla wiązki protonów (jonów ołowiu) o energii 7 TeV (2.76 TeV) dostępna energia na produkcję cząstek w układzie środka masy nukl.-nukl. wynosi  $\sqrt{s_{NN}}=115$  GeV (72 GeV) – jest to wielkość porównywalna z energiami uzyskiwanymi w akceleratorze RHIC. W eksperymencie AFTER planowany jest precyzyjny pomiar asymetrii spinowej,  $A_n$ , dla produkcji stanów związanych ciężkich kwarków („kwarkoniów”), który wg. autorów projektu, pozwoli na dokładne oszacowanie poszczególnych wkładów do spinu protonu, w szczególności wkładu orbitalnego. W artykułach (**H6 i H7**) przedstawiono koncepcje projektu AFTER. Autorzy także pokazują, że pomiary w eksperymencie AFTER pozwolą uzyskać lepsze (niż w obecnych eksperymentach) oszacowanie produkcji  $b \rightarrow e$  i  $c \rightarrow e$  w oddziaływaniach jądrowych i w konsekwencji znacznie lepiej określić współczynniki  $v_2^{\text{HF}}$ .

Według bazy Web of Science (2 lipca 2018r.), na całokształt badań naukowych dr Daniela Kikoły składa się **174** publikacji z całkowitą liczbą cytowań około 6400, a indeks Hirscha = 46. Publikacje, które dr Daniel Kikoła przedstawił jako osiągnięcie naukowe w przewodzie habilitacyjnym były cytowane 46 razy.

Podsumowując, uważam, że przedłożony cykl prac w przewodzie habilitacyjnym jest istotnym osiągnięciem. W szczególności uzyskane wyniki w ramach współpracy STAR (artykuł H1) stanowią znaczny wkład Habilitanta w rozwój badań naukowych w dziedzinie fizyki zderzeń relatywistycznych ciężkich jonów. Na wyróżnienie zasługują również rezultaty przedstawione w publikacjach H2 i H3.

O znacznej aktywności naukowej Habilitanta świadczy również **udział w dwóch projektach badawczych w charakterze kierownika projektu** i w jednym projekcie badawczym w charakterze wykonawcy. Na podkreślenie zasługuje znacząca lista (14) referatów, które Habilitant wygłosił na międzynarodowych i krajowych konferencjach. Brał również udział w organizacji szeregu konferencji i spotkań naukowych.

W ramach uczestnictwa w eksperymencie STAR dr Daniel Kikoła, w latach 2011-2016, pełnił odpowiedzialną funkcję **kierownika grupy zajmującej się fizyką ciężkich kwarków**. Natomiast, od roku 2017 jest członkiem komitetu „Talks Committee” w eksperymencie STAR, którego zadaniem jest wybór prezenterów referatów na konferencjach naukowych, spośród wszystkich członków (>630) współpracy STAR. Prace te świadczą o dużym wkładzie Habilitanta w działalność eksperymentu.

Pan dr Daniel Kikoła posiada bogatą listę osiągnięć dydaktycznych. Opiekował się (samodzielnie lub wspólnie z innym opiekunem) 6-ma pracami magisterskimi i 12-ma pracami inżynierskimi. Sprawuje również opiekę na dwoma doktorantami. Aktywnie też uczestniczył w popularyzacji nauki.

Podsumowując, z pełnym przekonaniem stwierdzam, że dorobek naukowy dr Daniela Kikoły spełnia wymogi ustawy do uzyskania stopnia doktora habilitowanego i **wniosuję o dopuszczenie go do dalszych etapów postępowania habilitacyjnego**.

Adam Trzupch