

Prof. dr hab. Marek Olechowski
Instytut Fizyki Teoretycznej
Wydział Fizyki
Uniwersytet Warszawski
ul. Pasteura 5
02-093 Warszawa

Warszawa, 10.08.2017

**Ocena dorobku naukowego oraz działalności dydaktycznej i organizacyjnej
dr. Krzysztofa Rolbieckiego
w związku z postępowaniem o nadanie stopnia doktora habilitowanego
w dziedzinie nauk fizycznych, w dyscyplinie fizyka**

Podstawowe informacje o Habilitancie

Dr Krzysztof Rolbiecki ukończył studia magisterskie na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego w roku 2003, przedstawiając pracę magisterską zatytułowaną „Badanie sektora gaugin minimalnego modelu supersymetrycznego”. W tym samym roku rozpoczął na Wydziale Fizyki UW studia doktoranckie. Rozprawę doktorską pod tytułem „Poprawki pętlowe w modelu supersymetrycznym z uwzględnieniem faz CP” obronił z wyróżnieniem w roku 2008. Promotorem zarówno pracy magisterskiej jak i doktorskiej był prof. dr hab. Jan Kalinowski z Instytutu Fizyki Teoretycznej Wydziału Fizyki UW.

Po uzyskaniu stopnia doktora Habilitant odbył trzy staże podoktorskie: pierwszy w latach 2008-2010 w Institute for Particle Physics Phenomenology na Uniwersytecie Durham w Wielkiej Brytanii, w ramach europejskiej sieci naukowej HEPTools; drugi w latach 2010-2012 w Deutsches Elektronen-Synchrotron (DESY) w Hamburgu; trzeci w latach 2012-2016 w Instituto de Fisica Teorica na Uniwersytecie Autonomicznym i Consejo Superior de Investigaciones Cientificas w Madrycie. W roku 2014 dr Rolbiecki wygrał konkurs na stanowisko adiunkta i został zatrudniony w Instytucie Fizyki Teoretycznej Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego, gdzie pracuje do chwili obecnej.

Jako osiągnięcie naukowe w postępowaniu habilitacyjnym wszczętym w dniu 29 marca 2017 r., określone w art. 16 ustęp 2 Ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 r., dr Krzysztof Rolbiecki przedstawia cykl sześciu prac zatytułowany „Fizyka skwarków top w LHC”. Cel naukowy tych prac, zastosowane metody badawcze oraz podsumowanie wyników zostały przedstawione przez Habilitanta w kilkunastostronicowym autoreferacie. Do wniosku dołączone zostały także m. in.: oświadczenie Habilitanta oraz czterech współautorów o indywidualnym wkładzie w prace stanowiące zgłoszone osiągnięcie naukowe, wykaz wszystkich publikacji Habilitanta oraz opis jego pozostałych osiągnięć naukowych, dydaktycznych i organizacyjnych.

Ocena cyklu publikacji zatytułowanego „Fizyka skwarków top w LHC” stanowiącego podstawę postępowania habilitacyjnego

Cykl prac [1-6] (numeracja prac według załączonego wykazu publikacji), przedstawiony jako osiągnięcie naukowe, powstał w latach 2011-2016, czyli po uzyskaniu przez Habilitanta stopnia doktora. Wszystkie te prace zostały opublikowane w renomowanych czasopismach międzynarodowych: dwie [2, 6] w *Physical Review D*, dwie [3,4] w *Journal of High Energy Physics*, jedna [1] w *The European Physical Journal C* i jedna [5] w *Physics Letters B*. Wszystkie prace są wieloautorskie, od dwuautorskich prac [3] i [5] przez trójautorskie [1] i [2] po czteroautorską [4] oraz pracę pięcioautorską [6]. Sumaryczny Impact Factor tych publikacji wynosi prawie 30. Do kopii publikacji dołączone są, wymagane Ustawą o stopniach naukowych i tytule naukowym, oświadczenia czterech współautorów określające ich wkład w badania naukowe prezentowane we wspólnych publikacjach. Wkład Habilitanta w publikacje składające się na osiągnięcie naukowe jest w większości przypadków dominujący i wynosi od 60% dla prac [2] i [4] do 80% dla prac [1] i [5]. Tylko w przypadku pracy [6] wkład Habilitanta jest nieco mniejszy i wynosi 45%. Biorąc jednak pod uwagę fakt, że ta ostatnia praca ma pięciu współautorów, można stwierdzić, że i w jej przypadku Habilitant odegrał kluczową rolę. Z dołączonych oświadczeń wynika, że dr Rolbiecki brał aktywny udział we wszystkich etapach powstawania tych publikacji, od tworzenia koncepcji prac przez rachunki analityczne i numeryczne po prezentację uzyskanych wyników.

Zasadniczym elementem łączącym wszystkie prace prezentowanego cyklu jest analiza własności supersymetrycznych partnerów kwarków top (zwanymi też skwarkami top lub stopami) pod kątem możliwości ich eksperymentalnego odkrycia w Wielkim Zderzaczu Hadronów (*Large Hadron Collider* – LHC). Skwarki top odgrywają w modelach supersymetrycznych bardzo istotną rolę ze względu na ich ścisły związek z masą cząstki Higgsa i z problemem naturalności wielkości skali łamania symetrii elektroslabej. Zagadnienia te są jednymi z kluczowych w fizyce cząstek i oddziaływań elementarnych. Są także bardzo aktualne ze względu na eksperymenty działające przy LHC.

Praca [1] poświęcona jest badaniu możliwości doświadczalnego wyznaczenia kąta mieszania oraz fazy łamiącej symetrię CP w sektorze skwarków top. Zaproponowana została metoda wykorzystująca silną zależność niektórych stosunków rozgałęzienia (*branching ratios*) w rozpadach stopów od kąta mieszania i fazy. W celu zmniejszenia błędów związanych z trudnościami wyznaczania całkowitych przekrojów czynnych na produkcję skwarków top, autorzy badali stosunki różnych stosunków rozgałęzień, koncentrując się na rozpadach zawierających w stanie końcowym neutralina i chargina, czyli cząstki będące mieszankami, odpowiednio neutralnych i naładowanych, superpartnerów bozonów cechowania i pól skalarnych Higgsa. Rozpatrzone zostały szczegółowo trzy scenariusze różniące się własnościami sektorów neutralin i chargin. Dla każdego z nich zaproponowane zostały wielkości, których pomiar mógłby być przeprowadzony w LHC w celu wyznaczenia kąta mieszania i fazy łamiącej symetrię CP w sektorze stopów. Oszacowana też została dokładność tych pomiarów możliwa do uzyskania w LHC.

Kontynuacji badań rozpoczętych w pracy [1] poświęcona jest praca [2]. W pierwszej z nich analiza koncentrowała się głównie wokół wyznaczania kąta mieszania w sektorze skwarków top,

natomiast w drugiej zaproponowane są metody zmierzające do określenia w tym samym sektorze fazy łamiącej symetrię CP. Problem ten wydaje się trudniejszy. Metoda zaproponowana przez Habilitanta i jego współpracowników polega na dość szczegółowej analizie pewnej klasy kaskadowych rozpadów skwarków top. Najpierw skwark top rozpada się na kwark top i cięższe neutralino. Następnie kwark top rozpada się na kwark bottom i bozon pośredni W^+ , który rozpada się dalej hadronowo. Z kolei ciężkie neutralino rozpada się kaskadowo na neutralino najlżejsze i dwa leptony. Autorzy proponują asymetrie w pewnych potrójnych iloczynach pędów produktów rozpadów jako wielkości czułe na fazę łamiącą symetrię CP. Bezpośredni pomiar takich asymetrii jest trudny ze względu na to, że nie są one niezmiennikami transformacji Lorentza. Dlatego w pracy [2] zaproponowane i szczegółowo przedyskutowane zostało rozwiązanie tego problemu przez rekonstrukcję czteropędów cząstek pojawiających się w pośrednich etapach rozważanych rozpadów kaskadowych. Odpowiednia analiza została przeprowadzona zarówno na poziomie analitycznym jak i przy użyciu zaawansowanych metod numerycznych. Wyniki wykorzystano do oszacowania czułości eksperymentów LHC na zespolone fazy w wersji mSUGRA modelu supersymetrycznego.

Prace [1] i [2] zostały opublikowane w roku 2011, a więc w początkowej fazie działania LHC. Użyte w nich konkretne przykłady zestawów parametrów Minimalnego Supersymetrycznego Modelu Standardowego (*Minimal Supersymmetric Standard Model* – MSSM) dawały stosunkowo lekkie skwarki top i zostały wykluczone przez późniejsze wyniki uzyskane w LHC. Należy jednak podkreślić, że metody zaproponowane w obu pracach mogą być zastosowane w przyszłych zderzaczach hadronów.

Tematem przewodnim kolejnych trzech prac cyklu jest produkcja par bozonów cechowania W^+W^- w zderzeniach protonów w LHC. Dr Rolbiecki, z różnymi współautorami w kolejnych pracach, badał różne aspekty wpływu skwarków top na przekrój czynny na tę produkcję. Prace [3] i [4] są ściśle związane z nadwyżkami produkcji par W^+W^- zaobserwowanymi w eksperymentach ATLAS i CMS przy energii zderzenia protonów równej 7 TeV. W pierwszej z tych prac pokazano, że w ramach modelu MSSM najprawdopodobniejszym wytłumaczeniem zaobserwowanej nadwyżki jest produkcja stosunkowo lekkich skwarków top, o ile nie są one dużo cięższe od najlżejszych neutralin. Jeśli różnica mas stopów i neutralin jest zbliżona do masy bozonu W , to rozkłady kinematyczne w procesach z udziałem stopów są bardzo podobne do tych przewidywanych w Modelu Standardowym. Dlatego Habilitant zaproponował wykorzystanie rozkładów kątowych produkowanych leptonów jako metodę rozróżnienia wkładu supersymetrycznego od wkładu standardowego.

Praca [4] jest rozwinięciem analiz przeprowadzonych w pracy [3]. Uwzględniono w niej większy zestaw danych doświadczalnych i użyto nowego programu komputerowego CheckMATE. Należy podkreślić, że dr Rolbiecki jest jednym z współautorów tego programu, będącego owocem szerokiej międzynarodowej współpracy. W omawianej pracy przeprowadzona została szczegółowa analiza modelu supersymetrycznego z lekkimi stopami, charginami i neutralinami. Przewidywania tego modelu zostały porównane z dostępnymi w tamtym czasie danymi doświadczalnymi. Pokazano, że model supersymetrycznym z masą stopów około 200 GeV i masą najlżejszego neu-

tralina około 140 GeV daje zgodność lepszą niż model Standardowy nie tylko dla mierzonego przekroju czynnego na produkcję par W^+W^- , ale także w przypadku kilku innych wielkości.

Późniejszy rozwój badań w tej dziedzinie pokazał, że tak lekkie skwarki top nie są potrzebne do wyjaśnienia mierzonych wartości przekroju czynnego na produkcję par bozonów W^+W^- . Zgodność przewidywań Modelu Standardowego z danymi eksperymentalnymi znacznie się poprawiła po uwzględnieniu poprawek radiacyjnych kolejnego rzędu. W tej sytuacji dr Rolbiecki w inny sposób wykorzystał swoją głęboką wiedzę i doświadczenie dotyczące modeli supersymetrycznych z lekkimi skwarkami top. W pracy [5] przeprowadził analizę pozwalającą znacznie wzmocnić ograniczenia na skwarki top z masami poniżej około 220 GeV w dwóch bardzo trudnych rejonach przestrzeni parametrów. Zwłaszcza dla masy stop bliskiej sumie mas najlżejszego neutralina, bozonu W oraz kwarku b , a w mniejszym stopniu w przypadku masy stop zbliżonej do sumy mas najlżejszego neutralina i kwarku t . Bardzo szczegółowa analiza kanałów prowadzących do produkcji między innymi par bozonów W^+W^- i porównania ich z wynikami eksperymentu CMS została przeprowadzona przy użyciu szeregu bardzo zaawansowanych programów komputerowych. Otrzymane wyniki pozwoliły wykluczyć po raz pierwszy pewne rejony w przestrzeni mas skwarków top i najlżejszych neutralin niedostępne we wcześniejszych badaniach.

Praca [6] poświęcona jest badaniu perspektyw eksperymentalnej weryfikacji w LHC modelu tzw. naturalnej supersymetrii. Model ten zakłada, że większość supersymetrycznych partnerów znanych cząstek jest bardzo ciężka. Stosunkowo lekkie pozostają tylko te z nich, które mają decydujący wpływ na radiacyjne łamanie symetrii elektroslabej, a więc także na masę cząstek Higgsa. Szczegółowy skan przestrzeni parametrów tego modelu pozwolił zidentyfikować takie jej fragmenty, które były wykluczone przez negatywne wyniki poszukiwania supersymetrii uzyskane w LHC przy energii w środku masy równej 13 TeV i całkowitej świetlności równej 3 fb^{-1} . Następnie znaleziono przewidywane analogiczne obszary, które mogą być wykluczone dla planowanych całkowitych świetlności 20 fb^{-1} i 100 fb^{-1} oraz dla energii 14 TeV przy świetlnościach 300 fb^{-1} i 3000 fb^{-1} . Otrzymane wyniki pokazały, że LHC będzie w stanie wykluczyć na poziomie ufności 95% skwarki top z masami do około 1500 GeV i gluina do około 2500 GeV. Zbadano także przypadki, dla których odkrycie jakiejś cząstki supersymetrycznej z tego modelu na poziomie 5σ jest hipotetycznie możliwe do końca planowanego okresu działania LHC z energią 14 TeV.

Podsumowując, pragnę stwierdzić, że cykl prac przedstawionych jako osiągnięcie naukowe oceniam bardzo wysoko. Stanowi on spójny zbiór analiz badających konsekwentnie eksperymentalne sygnatury modeli supersymetrycznych ze stosunkowo lekkimi superpartnerami kwarków top. Wartościowe wyniki uzyskane przez dr. Krzysztofa Rolbieckiego świadczą o jego głębokiej wiedzy, fachowości oraz biegłości w posługiwaniu się narzędziami analitycznymi i numerycznymi. Wszystkie prace cyklu są wieloautorskie, ale dominujący wkład Habilitanta świadczy o jego naukowej dojrzałości i samodzielności. Tematy poruszone w tych pracach są bardzo ważne i aktualne. Wzbudziły one duże zainteresowanie środowiska naukowego, co przejawia się między innymi liczbą cytowań, których do chwili obecnej zebrały łącznie 160. Omawiane badania

naukowe przeprowadzone przez dr. Krzysztofa Rolbieckiego stanowią istotny wkład w rozwój fizyki cząstek i oddziaływań elementarnych.

Ocena całego dorobku naukowego Habilitanta

Cały dorobek naukowy Habilitanta jest obszerny i wartościowy. W chwili składania wniosku dr Krzysztof Rolbiecki był współautorem 34 oryginalnych publikacji naukowych (35 według bazy Inspire) w uznanych czasopismach międzynarodowych o sumarycznym Impact Factorze równym 166.6. Liczba cytowań tych prac bardzo silnie zależy od źródła informacji. Według Web of Science było to 343, a według bazy Inspire aż 1413, czyli ponad 4 razy więcej. Także duża różnica dotyczy indeksu Hirscha: Web of Science podaje indeks $h=12$, a Inspire $h=20$. Te ogromne dysproporcje są wynikiem aktualności i znaczenia badań prowadzonych przez dr. Rolbieckiego. Jego prace są najczęściej cytowane już jako preprinty znajdujące się w archiwum elektronicznym arXiv nim jeszcze ukażą się oficjalnie w czasopismach. O dużej aktywności naukowej Habilitanta i uznaniu, jakim jego prace cieszą się w środowisku naukowym, świadczy też to, jak dane bibliograficzne zmieniły się w ciągu paru miesięcy od złożenia wniosku. Web of Science pokazuje wzrost liczby opublikowanych artykułów o 3, wzrost liczby cytowań o 24 i wzrost indeksu Hirscha o 1. Według bazy Inspire liczba publikacji wzrosła o dwa, indeks Hirscha o jeden, a liczba cytowań aż o 75.

Przed uzyskaniem stopnia doktora, dr Krzysztof Rolbiecki opublikował cztery prace w renomowanych czasopismach naukowych, w tym jedną przeglądową, oraz kilka doniesień konferencyjnych. Głównym tematem tych prac jest łamanie symetrii CP w modelach supersymetrycznych, zwłaszcza w MSSM oraz związanych z tym sygnatur eksperymentalnych w LHC i Międzynarodowym Zderzaczu Liniowym e^+e^- (*International Linear Collider – ILC*). Przeanalizowane tam zostały między innymi procesy produkcji chargin oraz trójciałowe, leptonowe rozpady cięższych neutralin. Tematem kolejnej z tych prac było badanie czułości eksperymentów możliwych do przeprowadzenia w ILC w przypadku modeli supersymetrycznych ze stosunkowo ciężkimi superpartnerami fermionów oraz wynikającej z tego komplementarności wyników z LHC i ILC.

Dorobek naukowy Habilitanta po uzyskaniu przez niego stopnia doktora, nie włączony do cyklu przedstawionego jako osiągnięcie habilitacyjne, jest dość jednorodny i ściśle związany z eksperymentalnym poszukiwaniem Nowej Fizyki wykraczającej poza Model Standardowy. Można go podzielić na trzy kategorie. Pierwsza dotyczy takich poszukiwań przy użyciu już dostępnych i spodziewanych w przyszłości danych z eksperymentów w LHC. Prace z drugiej kategorii wybiegają dalej w przyszłość, badając potencjał eksperymentów planowanych w ILC. W końcu trzecia kategoria zawiera prace czysto techniczne dotyczące numerycznych programów narzędziowych służących do porównywania przewidywań modeli teoretycznych z danymi doświadczalnymi. Część prac w każdej z tych kategorii dotyczy łamania symetrii CP, a więc jest rozwinięciem badań zapoczątkowanych przez Habilitanta jeszcze przed doktoratem.

Do tej pory w LHC nie zaobserwowano przekonujących przejawów istnienia Nowej Fizyki. Nie jest to jednak dowód, że takiej Nowej Fizyki nie ma. Poszukiwania z konieczności odbywały

się przy przyjęciu pewnych upraszczających założeń i dotyczyły tylko wybranych klas modeli. Negatywny wynik dotychczasowych poszukiwań wskazuje na potrzebę rozszerzenia ich zakresu. Wiele prac z dorobku dr. Rolbieckiego jest odpowiedzią na taką potrzebę. Na szczególną uwagę zasługują prace poświęcone porównywaniu przewidywań różnych, mniej popularnych modeli lub ich wersji z zebranymi do tej pory danymi eksperymentalnymi. Są to np. prace [8] i [24] z wykazu publikacji. Ważne z podobnego powodu są także te prace, w których analizowane są te fragmenty przestrzeni parametrów bardziej popularnych modeli, które prowadzą do trudnych do doświadczalnej obserwacji sygnałów. Przykładem są prace [25] i [31]. Dr Rolbiecki, publikując prace [11], [13] i [14], włączył się także bardzo aktywnie w ożywioną na przełomie lat 2015/2016 działalność poświęconą analizom zaobserwowanej wtedy przez eksperymenty ATLAS i CMS nadwyżki produkcji par fotonów z masą inwariantną około 750 GeV.

Dr Rolbiecki jest bardzo aktywny na arenie międzynarodowej. Współpracuje z fizykami z wielu różnych ośrodków i często prezentuje wyniki swoich badań. Do tej pory wygłosił ponad 50 konferencyjnych i seminaryjnych referatów. Bierze także aktywny udział w działalności kilku międzynarodowych projektów naukowych, zwłaszcza poświęconych rozwojowi różnorodnych zaawansowanych komputerowych programów narzędziowych. Jest współautorem programu CheckMATE, który służy do porównywania przewidywań modeli fizycznych z danymi dostarczonymi przez LHC. Bierze również aktywny udział w rozwoju programu SUSY-IA, który wykorzystuje metody uczenia maszynowego do analizy ograniczeń doświadczalnych na parametry modeli supersymetrycznych.

Ocena działalności dydaktycznej i organizacyjnej

Działalność dydaktyczną dr. Krzysztofa Rolbieckiego należy ocenić pozytywnie. W czasie studiów doktoranckich na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego prowadził ćwiczenia do trudnych wykładów z elektrodynamiki i mechaniki kwantowej. Zajęcia dydaktyczne prowadził także w czasie staży podoktorskich w Durham i w Madrycie. Jego bardziej intensywne prace dydaktyczne rozpoczęła się po zatrudnieniu na Wydziale Fizyki UW. W ciągu ostatnich paru lat prowadził ćwiczenia do kilku różnych wykładów. Prowadzone przez niego zajęcia są bardzo dobrze oceniane przez studentów. Dr Rolbiecki nie opiekował się do tej pory formalnie żadnymi studentami, ale deklaruje istotny udział w opiece nad kilkoma doktorantami w czasie swoich staży podoktorskich.

Dorobek Habilitanta w działalności organizacyjnej jest następujący: Dr Rolbiecki jest obecnie członkiem Rady Naukowej Instytutu Fizyki Teoretycznej i opiekunem studiów II stopnia na Wydziale Fizyki. Recenzuje prace dla dwóch uznanych czasopism międzynarodowych: *Journal of High Energy Physics* i *The European Physical Journal C*. Był wykonawcą w dwóch polskich projektach badawczych, w trzech hiszpańskich oraz w jednym projekcie finansowanym przez Komisję Europejską. Od ponad roku jest kierownikiem projektu „Odchylenia od Modelu Standardowego a Nowa Fizyka” finansowanego w wysokości ponad 230 tys. zł. ze środków Narodowego Centrum Nauki. Na szczególne uznanie zasługuje udział Habilitanta w komitetach organizacyjnych międzynarodowych konferencji: jednej w Madrycie i dwóch w Warszawie.

Ostatnią z nich była dwudziesta konferencja z serii „International Conference From the Planck Scale to the Electroweak Scale” organizowanej wspólnie przez kilka europejskich ośrodków, w tym przez Wydział Fizyki UW. Dr Rolbiecki pełnił w niej funkcję sekretarza naukowego. Jako współprzewodniczący komitetu organizacyjnego miałem okazję dokładnie obserwować jego pracę i jestem pod ogromnym wrażeniem jego zaangażowania i sprawności organizacyjnej. Biorąc powyższe pod uwagę, działalność organizacyjną i dydaktyczną dr. Krzysztofa Rolbieckiego oceniam bardzo dobrze.

Ocena końcowa

Moja ocena dorobku naukowego dr. Krzysztofa Rolbieckiego jest bardzo wysoka. Jest on dojrzałym, samodzielnym i bardzo aktywnym naukowcem. Prowadzone przez niego badania należą do najbardziej aktualnych w dziedzinie fizyki cząstek elementarnych i stanowią istotny wkład w jej rozwój. Dr Rolbiecki prowadzi bardzo ożywioną i owocną współpracę z fizykami z wielu ośrodków zagranicznych. Pokazał, że potrafi także zdobywać środki na finansowanie swoich badań. W mojej opinii jego osiągnięcia naukowe po uzyskaniu stopnia doktora, dorobek dydaktyczny i organizacyjny oraz cykl prac zatytułowany „Fizyka skwarków top w LHC”, przedstawiony jako osiągnięcie naukowe, spełniają wymagania w postępowaniu habilitacyjnym.

Konkluzja

Biorąc pod uwagę wymienione w niniejszej recenzji fakty, stwierdzam, że osiągnięcie naukowe dr. Krzysztofa Rolbieckiego dokonane po uzyskaniu stopnia doktora stanowi istotny wkład w rozwój fizyki cząstek elementarnych oraz że jego dorobek naukowy, dydaktyczny i organizacyjny spełniają wymagania Ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 r. z późniejszymi zmianami oraz Rozporządzenia Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 1 września 2011 r. w sprawie kryteriów oceny osiągnięć osoby ubiegającej się o nadanie stopnia doktora habilitowanego. W związku z tym wnoszę o nadanie dr. Krzysztofowi Rolbieckiemu stopnia naukowego doktora habilitowanego w dziedzinie nauk fizycznych.

