

Prof. dr hab. Zygmunt Lalak
Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego
Instytut Fizyki Teoretycznej

DZIEKANAT WYDZIAŁU FIZYKI
WPŁYNEŁO

2019 -04- 15

Recenzja dorobku naukowego i rozprawy habilitacyjnej
doktora Kazuki Sakurai

1. Uwagi wstępne

Doktor Kazuki Sakurai przedstawił jako rozprawę habilitacyjną osiągnięcie naukowe „Poszukiwanie egzotycznych sygnałów nowej fizyki w LHC” w formie cyklu siedmiu artykułów opublikowanych w czasopismach o zasięgu międzynarodowym. W skład cyklu wchodzi 2 artykuły napisane wraz z jednym współautorem, 2 napisane z dwoma współautorami, 2 napisane wspólnie z trzema współautorami i 1 napisany w towarzystwie 4 współautorów.. Prace wchodzące w skład rozprawy oznaczone są w autoreferacie symbolami H1-H7. Spośród prac wchodzących w skład rozprawy wszystkie opublikowane zostały w czasopismach z czynnikiem wpływu $IF > 4.5$, zaś w przypadku czterech prac $IF > 6$, co jest bardzo dobrym wynikiem w teoretycznej fizyce cząstek. Wszystkie te prace powstały po uzyskaniu doktoratu i dotyczą nowej tematyki. Autor zadeklarował swój udział w pracach wieloautorskich na poziomie od 60% do 80%, a deklaracje te, w tym opis udziału Autora, są zgodne z oświadczeniami nadesłanymi przez współautorów. W sumie prace wchodzące w skład rozprawy cytowane są wg bazy Web of Science 230 razy. Wszystkie prace habilitanta cytowane były 687 razy, co daje indeks $h=17$. Wg powszechnie używanej w fizyce wysokich energii bazy Inspire hepnet te liczby równe są odpowiednio 1406 i $h=21$ (dla 56 prac).

Oprócz 7 prac tworzących rozprawę dr Kazuki Sakurai opublikował po doktoracie jeszcze 42 prace z dziedziny fizyki wysokich energii oraz 5 doniesień konferencyjnych. Przed uzyskaniem doktoratu habilitant opublikował 7 artykułów, wszystkie z dziedziny fizyki wysokich energii.

2. Rozprawa habilitacyjna

Tematyka rozprawy dotyczy bardzo ciekawej i aktywnie rozwijanej w ostatnich latach problematyki poszukiwania wskazówek na istnienie nowej fizyki (NP), wykraczającej poza Model Standardowy oddziaływań fundamentalnych. Podstawowym narzędziem w tych poszukiwaniach jest Wielki Zderzacz Hadronów (LHC) w laboratorium CERN pod Genewą i zlokalizowane tam eksperymenty, przede wszystkim dwa największe detektory ATLAS i CMS. Dotychczasowe badania prowadzone w CERNie doprowadziły do odkrycia cząstki Higgsa i precyzyjnego pomiaru wielu parametrów Modelu Standardowego, jednak nie potwierdziły do tej pory żadnej z teorii wykraczających poza ten model. Wobec ogromnej ilości danych zbieranych przez eksperymenty przy LHC pojawia się problem szybkiego i efektywnego porównywania z tymi danymi przewidywań różnorodnych modeli przewidujących

pojawienie się nowej fizyki. Zazwyczaj porównania takie opierają się na pewnej ograniczonej klasie modeli uproszczonych lub wymagają żmudnych analiz porównujących efekty symulacji Monte Carlo z danymi. Na obecnym etapie poszukiwań nowej fizyki wykraczającej poza MS kluczowe staje się rozszerzenie metody modeli uproszczonych o poszukiwanie rzadkich egzotycznych sygnałów pochodzących od NP oraz przyspieszenie i zoptymalizowanie analiz opartych o symulacje MC. Ważnym i ciekawym aspektem poszukiwania nowych zjawisk i zarazem potwierdzenia opartego o metody kwantowej teorii pola zrozumienia zjawisk elektroślabych jest poszukiwanie zdarzeń powodowanych przez procesy nieperturbacyjne, np procesy z udziałem sfaleronów. Tym zagadnieniom poświęcone są prace składające się na rozprawę habilitacyjną dr. K. Sakurai.

Pierwsza grupa prac, na którą składają się prace oznaczone jako H1-H4, poświęcona jest badaniu sygnatur modeli supersymetrycznych. Prace H1 i H2 dotyczą nowej propozycji doświadczalnego poszukiwania interesującej klasy modeli supersymetrycznych znanych jako modele z „naturalną” supersymetrią. W modelach takich skalarnie kwarki stop (supersymetryczni partnerzy kwarka top) mają masę zbliżoną do masy LSP, najlżejszej cząstki supersymetrycznej. W pracy H1 wskazano na użyteczność procesu $pp \rightarrow \tilde{t}t\chi_0$, z produkcją pojedynczego kwarka t, w poszukiwaniu cząstek supersymetrycznych. W modelach z naturalną supersymetrią w takim procesie stop jest cząstką niewidzialną i stan końcowy wygląda jak produkcja pojedynczego kwarka t z brakującą energią poprzeczną. Proces ten jest stosunkowo łatwy do odróżnienia od tła Modelu Standardowego, ponieważ wyraźnie widoczny jest leptonowy kanał rozpadu kwarka t lub stan końcowy w szerokim dzetem hadronowym. Pierwszą z tych możliwości przeanalizowano w pracy H1, gdzie dodatkowo pokazano, że możliwy jest pomiar skrętności produkowanego kwarka t i tym samym lewo- i prawoskrętnej składowej w funkcji falowej skwarka stop. Procesy te są najbardziej wydajne gdy LSP w znacznym stopniu pokrywa się z higgsinem. W pracy H2 przeanalizowano dokładnie proces z produkcją dżetu. Poszukiwanie supersymetrii w takich procesach nazywane jest obecnie metodą sygnatury pojedynczego kwarka top.

W kolejnych pracach cyklu, oznaczonych jako H3 i H4, badano możliwości odkrycia sygnałów pochodzących od cząstek supersymetrycznych w modelach z ciężkimi, znacznie cięższymi od gaugin i niemożliwymi do bezpośredniego odkrycia w LHC sfermionami (i niekiedy również higgsinami). Jest to ważna klasa modeli, konsistentnych z brakiem obserwacji nowej fizyki w LHC. W pierwszej z tych prac poszukiwano najlżejszej cząstki supersymetrycznej w postaci oddziałującego tylko elektroślabo neutralina, które mogłaby być cząstką ciemnej materii. W eksperymentach akceleratorowych takiej cząstce odpowiadałyby przypadki z brakującą energią poprzeczną, w detektorach dedykowanych poszukiwaniu ciemnej materii metodą detekcji jest rozpraszanie na jądrach atomowych. Uzyskane przez Autora wyniki praktycznie wykluczają ciemną materię, której dominującą komponentą jest bino (superpartner bozonu cechowania hiperładunku), gdyż dawałoby ono zbyt dużą w porównaniu z obserwacjami gęstość reliktową. Udowodniono jednak, że w przypadku niewielkiego rozszczepienia mas pomiędzy binem i innymi cząstkami supersymetrycznymi możliwa jest koanhilacja redukująca

gęstość reliktową ciemnej materii. Zauważono również, że w przypadku neutralina, które byłoby mieszaniną wina i higgsina eksperymenty dedykowane bezpośredniej detekcji tracą czułość gdy skład neutralina pokrywa się z winem albo higgsinem, natomiast w LHC można spodziewać się wyraźnych efektów (np zanikających śladów cząstek czy pojedynczych dżetów). W pracy H4 zbadano interesujące sygnatury doświadczalne oparte o poszukiwanie cząstek długożyciowych, pomijane we wcześniejszych analizach. Skoncentrowano się na poszukiwaniu długożyciowych gaugin oddziałujących tylko elektroślabo. Okazało się, że istnieje część przestrzeni parametrów, odpowiadająca ciężkim sfermionom i higgsinom, gdzie czas życia drugiego po najlżejszym neutralina może odpowiadać drodze swobodnej nawet rzędu centymetra. Doświadczalnym efektem takiej sytuacji jest przesunięty wierzchołek (displaced vertex) np z produkcją pary kwarków $b\bar{b}$.

Praca oznaczona jako H5 nie dotyczy tylko modeli supersymetrycznych, ale poświęcona jest ogólnej analizie skalarnego i pseudoskalarnego sprzężenia cząstki Higgsa do kwarka top metodami efektywnej teorii pola. W efektywnym Lagrangianie sprzężenie pseudoskalarne narusza w sposób maksymalny symetrię CP. W pracy pokazano, że stosunek stałych sprzężenia tych operatorów wpływa istotnie na przekrój czynny na stowarzyszoną produkcję cząstki Higgsa i jednego lub dwóch kwarków t, które to procesy mogą być w przyszłości zmierzone w LHC. Pozytywny pomiar byłby przekonującym argumentem za istnieniem fizyki wykraczającej poza Model Standardowy.

Kolejne praca z cyklu habilitacyjnego, H6, dotyczy śladów doświadczalnych pochodzących od efektów nieperturbacyjnych. W Modelu Standardowym efekty takie mogą pojawić się w sektorze oddziaływań silnych, ale także w sektorze elektroślabym, gdzie teoria przewiduje interesujące procesy zachodzące z udziałem tzw. sfaleronów. Procesy takie są dobrze ugruntowane w teorii oddziaływań z cechowaniem, mogą odgrywać fundamentalną rolę w procesach bario- i leptogenezy, ale pytanie o ich sygnatury doświadczalne pozostaje otwarte. Tym większe znaczenie ma próba przeanalizowania pod kątem poszukiwania zdarzeń powodowanych przez sfalerony danych doświadczalnych, które można zebrać w eksperymentach. Autorowi udało się znaleźć ograniczenia na przekrój czynny na procesy z dwoma kwarkami w stanie początkowym i trzema leptonami oraz siedmioma lub jedenastoma kwarkami w stanie końcowym. Stan końcowy takich procesów zawiera kilka dżetów oraz leptony i przypomina przypadki z produkcją miniaturowych czarnych dziur, poszukiwane przez eksperyment ATLAS.

Wyniki uzyskane przez Autora są poważnym krokiem naprzód w badaniach elektroślabyh procesów nieperturbacyjnych i spotkały się z zainteresowaniem grup doświadczalnych.

Bardzo ciekawym i ważnym, a także niezwykle użytecznym osiągnięciem Autora jest opracowanie oryginalnej półanalizycznej metody porównywania modeli teoretycznych z danymi doświadczalnymi. Standardowe podejście wymaga wykonania dla każdego modelu żmudnych symulacji numerycznych, których wynik porównać można z danymi. W metodzie zaproponowanej przez Autora można uniknąć części symulacji dzięki pomysłowej topologicznej klasyfikacji wkładów do

sygnału stanu końcowego. W pracy H7 opisano tę metodę i udostępniono program Fastlim umożliwiający analizę ograniczeń doświadczalnych na procesy produkcji nowych cząstek kolorowych. W pracy H7 wykorzystano program Fastlim do zbadania ograniczeń na modele naturalnej supersymetrii. Metoda zaproponowana przez Autora może służyć nie tylko do prowadzenia nowych analiz, ale także do istotnego uzupełnienia analiz już istniejących. Praca H7 zasługuje na szczególne wyróżnienie ponieważ program Fastlim stał się w czasie, który minął od jego publikacji uznanym narzędziem badawczym, w szczególności stał się częścią międzynarodowego projektu MasterCode, którego celem jest szerokie i wyczerpujące badanie modeli przewidujących nową fizykę.

Wybór różnorodnej, ciekawej i ważnej z punktu widzenia aktualnych potrzeb środowiska zajmującego się fizyką cząstek w epoce LHC tematyki oraz widoczna duża samodzielność w prowadzeniu badań to bez wątpienia mocne strony recenzowanej rozprawy i całej twórczości naukowej habilitanta. Przedstawiane prace powstały w różnych ośrodkach i w zespołach badawczych o różniących się od siebie składach, co pokazuje na niezwykle cenną zdolność habilitanta do nawiązywania owocnej współpracy w celu skutecznego realizowania określonej przez niego tematyki badawczej.

Rozprawa zawiera nowe i oryginalne wyniki, definiuje również interesującą perspektywę dalszych badań. Można mieć uzasadnioną nadzieję na znaczący postęp w prowadzonych przez Autora badaniach i na szerokie zastosowanie przedstawionych wyników.

3. Ocena dorobku naukowego

Doktor Kazuki Sakurai ma dziś 38 lat. Stopień magistra fizyki uzyskał w roku 2006 na Uniwersytecie w Nagoi (Japonia), zaś pracę doktorską obronił na tym samym uniwersytecie w roku 2009. Zarówno praca magisterska jak i doktorska dotyczyły fenomenologii modeli supersymetrycznych. W latach 2009-2011 dr K. Sakurai odbył staż podoktorski na Uniwersytecie w Cambridge (Wielka Brytania), w latach 2011-2013 staż podoktorski w laboratorium DESY w Hamburgu (Niemcy), w latach 2013-2015 był pracownikiem naukowym w King's College w Londynie, w latach 2015-2017 pracował naukowo w Instytucie Fenomenologii Cząstek (IPPP) na Uniwersytecie w Durham (Wielka Brytania) zaś od roku 2017 jest adiunktem w Instytucie Fizyki Teoretycznej na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego. Wszystkie te instytucje są znakomitymi ośrodkami fizyki cząstek elementarnych. W trakcie bogatej i różnorodnej kariery zawodowej już na jej wczesnym etapie dr K. Sakurai uzyskał znakomite wykształcenie i duże doświadczenie badawcze w tej dziedzinie fizyki. Dorobek naukowy dr K. Sakurai pozostały po wyłączeniu rozprawy habilitacyjnej także budzi uznanie. Składają się nań prace poświęcone poszukiwaniu nowej fizyki w modelach wykraczający poza Model Standardowy (niekoniecznie w kierunku supersymetrii). Pośród uzyskanych przez habilitanta rezultatów wymienić trzeba badania nad związkiem naruszenia symetrii CP w sprzężeniach cząstki Higgsa i zachowania unitarności, które doprowadziły do przewidywania istnienia nowych

stanów o masach niższych niż 8 TeV przy znaczącym naruszeniu CP w sprzężeniu z kwarkiem top. Inny wartościowy rezultat, to wyniki badań nad możliwością potrójnej produkcji cząstki Higgsa w LHC, co umożliwiłoby bezpośredni pomiar kwartycznego sprzężenia pola Higgsa. Habilitant uczestniczył w badaniach nad potencjałem eksperymentu IceCube do poszukiwania nieperturbacyjnych procesów z udziałem sfaleronów. Trzeba też podkreślić zaangażowanie habilitanta we współpracach zajmujących się globalnymi analizami konsekwencji doświadczalnych modeli nowej fizyki, w ramach których jest on uznanym specjalistą w dziedzinie analizy modeli supersymetrycznych.

Na całkowity dorobek naukowy doktora Kazuki Sakurai w dziedzinie fizyki wysokich energii składa się 56 regularnych prac badawczych opublikowanych w czasopiśmie o międzynarodowym zasięgu oraz 22 referaty przedstawione na międzynarodowych konferencjach. Jest znanym i uznanym fizykiem młodego pokolenia. Biorąc pod uwagę okres 9 lat, które upłynęły od uzyskania przez habilitanta doktoratu, wyniki jego pracy naukowej należy uznać za bardzo dobre.

Dr K. Sakurai dwukrotnie, w latach 2018 i 2019, otrzymał wyróżnienie Rektora Uniwersytetu Warszawskiego za wybitne osiągnięcia naukowe. Znaczącym osiągnięciem dr. K. Sakurai jest z pewnością uzyskanie przez niego prestiżowego grantu NCN Sonata-bis, realizowanego obecnie na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego.

Z całą pewnością na podstawie przedstawionej rozprawy i całego dorobku naukowego można uznać doktora Kazuki Sakurai za dojrzałego specjalistę w dziedzinie fizyki teoretycznej cząstek elementarnych.

4. Ocena działalności dydaktycznej i organizacyjnej

Dr K. Sakurai prowadził ćwiczenia z Mechaniki Kwantowej (w języku angielskim) ze studentami Wydziału Fizyki UW w latach 2016/17 oraz 2017/18, w roku akademickim 2018/19 współprowadzi doświadczalne seminarium magisterskie. Dr K. Sakurai był także wykładowcą i tutorem na kilku konferencjach i szkołach letnich (w Hamburgu, Pekinie, Fermilabie, Dajeon, Manchesterze, Londynie), sprawował również nieformalnie opiekę nad dwoma doktorantami (w Nagoi i Durham). Habilitant opiekował się jednym ukończonym licencjatem na WF UW. Moim zdaniem dorobek doktora K. Sakurai w zakresie dydaktyki jest wystarczający na obecnym etapie jego kariery.

W zakresie dorobku organizacyjnego wymienić należy realizację w roli kierownika dużego projektu badawczego uzyskanego w konkursie NCN Sonata-bis (z budżetem ponad 1620 tys. zł), poza tym dr K. Sakurai był lub jest wykonawcą w 4 innych projektach finansowanych przez NCN.

Dr K. Sakurai był członkiem komitetu organizacyjnego dwóch dużych międzynarodowych konferencji: "PLANCK 2017" na Uniwersytecie Warszawskim

oraz "BUSSTEPP 2015 Summer School" w roku 2015 w King's College w Londynie.

Osiągnięcia te na obecnym etapie kariery doktora K. Sakurai, zwłaszcza biorąc pod uwagę jego aktywność naukową, uważam za wystarczające.

5. Uwagi końcowe

Doktor Kazuki Sakurai przedstawił bardzo ciekawą i nowatorską rozprawę habilitacyjną dotyczącą trudnej i kluczowej z punktu widzenia rozwoju fizyki cząstek dziedziny poszukiwania nowej fizyki wykraczającej poza Model Standardowy w eksperymentach przy Wielkim Zderzaczu Hadronów (LHC).

Stwierdzam, że w świetle uwag wypowiedzianych w tej opinii osiągnięcia naukowe wnioskodawcy spełniają kryteria określone w art. 16. ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym i wnoszę o dopuszczenie doktora Kazuki Sakurai do dalszych etapów postępowania habilitacyjnego.

Z. Lasak