

# Tematy projektów (2017)

Każdy temat wykonywany będzie w parach, chyba, że zostało zaznaczone inaczej.

## 1 Badanie sprzężeń bozonu Higgsa i bozonów $W$ z użyciem rozkładów kątowych naładowanych leptonów

Prowadzący: dr Magdalena Sławińska

Czas trwania: 2 tygodnie

Rozpady bozonu Higgsa na dwa bozony  $W$  pozwalają mierzyć współczynniki sprzężenia cząstki Higgsa do pary  $W^+W^-$ , które są ważnym parametrem Modelu Standardowego. Analizowane będą przypadki, w których oba bozony  $W$  rozpadają się na lekkie leptony i neutrino. Badanie rozkładów kątowych naładowanych leptonów umożliwia rekonstrukcję kierunków spinów bozonów  $W$  i pomiar współczynników sprzężeń zależnych od polaryzacji bozonów  $W$ . W ramach projektów zostaną wykonane optymalizacje parametrów analizy takie jak: optymalizacja kryteriów selekcji przypadków, wybór zmiennych kinematycznych lub przybliżona rekonstrukcja układu własnego cząstki Higgsa.

## 2 Pomiar przekroju czynnego dla procesu $Z \rightarrow \tau\tau$ w eksperymencie ATLAS

Prowadzący: dr Paweł Malecki

Czas trwania: 2 tygodnie

Dzięki zebraniu przez LHC ogromnej ilości danych eksperymentalnych możliwe jest przeprowadzenie pomiaru przekroju czynnego na produkcję bozonu  $Z$  w rozpadzie na parę leptonów tau-antytau. Proces ten stanowi podstawowe nieredukowalne tło dla rozpadu bozonu Higgsa na parę tau-antytau i dlatego bardzo ważna jest znajomość jego właściwości od strony eksperymentalnej. Studenci mogą przejść przez pełny cykl analizy i porównać otrzymany wynik z tym, jaki uzyskała współpraca ATLAS.

## 3 Poszukiwanie ciężkiego bozonu Higgsa w rozpadzie na kwarki $b$ w eksperymencie ATLAS

Prowadzący: dr Paweł Malecki

Czas trwania: 2 tygodnie

Po odkryciu bozonu Higgsa w 2012 roku Model Standardowy został niejako „domknięty”, jednak ciągle poszukiwane są zjawiska wykraczające poza jego ramy. Jednym z możliwych rozszerzeń Modelu Standardowego jest istnienie dodatkowych, ciężkich bozonów Higgsa, naładowanych ( $H^\pm$ ) i obojętnych ( $H^A$ ), których poszukiwaniem zajmuje się ta analiza. Studenci mogą wziąć udział we fragmencie prawdziwej analizy optymalizującej eksperymentalną czułość poszukiwań tych cząstek.

## 4 Optymalizacja selekcji dla pomiaru tzw. asymetrii przód-tył kwarków $b$ , w przypadkach wysymulowanych dla przyszłych zderzaczy $e^+e^-$

Prowadzący: dr Paweł Sopicki

Czas trwania: 2 tygodnie

Rozważane zderzacz elektron-pozyton dostarczyć mogą możliwości bardzo czystych i precyzyjnych pomiarów Modelu Standardowego (np. Higgs) jak i zaobserwowania efektów wykraczających poza ten model (tzw. Nowa Fizyka). Pomiar asymetrii przód-tył dla kwarków  $b$  jest obserwabłą wpisującą się w oba wspomniane obszary zainteresowania. Selekcja przypadków odbywać się będzie na bazie przygotowanych drzewek ROOT, bazujących na wysymulowanych przypadkach oraz zawierających własności zrekonstruowanych cząstek. Do optymalizacji parametrów selekcji wykorzystany zostanie pakiet TMVA.

## 5 Badane własności torów cząstek naładowanych w przyszłym detektorze wewnętrznym (ITk) eksperymentu ATLAS

Prowadzący: dr hab. Adam Trzupek

Czas trwania: 2 tygodnie

Bardzo duża świetlność akceleratora HL-LHC (*ang.* High Luminosity LHC) wymaga nowego detektora wewnętrznego eksperymentu ATLAS. Detektor ten, zwany ITk, jest obecnie budowany przez Współpracę ATLAS. Rozpocznie on pracę w roku 2025. Celem praktyki jest sprawdzenie poprawności działania programu do rekonstrukcji śladów cząstek naładowanych w detektorze ITk dla oddziaływań ołów-ołów przy energii zderzenia 5 TeV.

## 6 Uczenie maszynowe w zastosowaniu do fizyki cząstek – automatyczny dobór parametrów algorytmów uczenia maszynowego

Prowadzący: dr hab. Marcin Wolter

Czas trwania: 2 tygodnie

Fizycy cząstek elementarnych coraz częściej sięgają po metody analizy wielu zmiennych. W wielu przypadkach okazują się one bardzo skuteczne, w związku z tym stają się rutynowymi metodami analizy danych. Typowymi zastosowaniami są separacja sygnału i tła (klasyfikacja) oraz znalezienie wartości parametru (regresja), gdzie fizyczna wielkość (np. energia cząstki) obliczana jest na podstawie kilku bezpośrednio obserwowanych wielkości. Algorytmy analizy wielu zmiennych wykorzystują metody uczenia maszynowego, czyli uczą się na przykładach,

nie wymagając znajomości matematycznych zależności pomiędzy obserwowanymi wielkościami a zmienną, którą chcemy zmierzyć. Typowymi przykładami takich metod są sieci neuronowe (Neural Networks) czy wzmocnione drzewa decyzyjne (Boosted Decision Trees, BDT).

W ramach praktyk spróbujemy na początku przeprowadzić klasyfikację na danych z dziedziny fizyki wysokich energii za pomocą pakietu TMVA (<http://tmva.sf.net>), popularnego wśród fizyków wysokich energii, oraz/lub XGBoost (Large-scale and Distributed Gradient Boosting <https://github.com/dmlc/xgboost>).

Przeprowadzając uczenie maszynowe, wybieramy zestaw parametrów charakteryzujących używaną metodę. Mówią one, z jaką dokładnością algorytm ma dostosowywać się do danych treningowych. Dokładne podążanie za danymi odbywa się zawsze kosztem uogólnienia. Parametry muszą być odpowiednio dobrane, aby uzyskać optymalne wyniki. Spróbujemy zautomatyzować ten proces, szereg algorytmów jest omówionych tutaj:

[http://aad.informatik.uni-freiburg.de/papers/13-BayesOpt\\_EmpiricalFoundation.pdf](http://aad.informatik.uni-freiburg.de/papers/13-BayesOpt_EmpiricalFoundation.pdf)

Stosunkowo łatwym w użyciu jest np. algorytm hyperopt <https://jaberg.github.io/hyperopt/>, pozwalający znaleźć parametry zastosowanych metod.

## 7 Uczenie maszynowe w zastosowaniu do fizyki cząstek – zastosowanie Deep Neural Network (głębokiej sieci neuronowej)

Prowadzący: dr hab. Marcin Wolter

Czas trwania: 2 tygodnie

Fizycy cząstek elementarnych coraz częściej sięgają po metody analizy wielu zmiennych. W wielu przypadkach okazują się one bardzo skuteczne, w związku z tym stają się rutynowymi metodami analizy danych. Typowymi zastosowaniami są separacja sygnału i tła (klasyfikacja) oraz znalezienie wartości parametru (regresja), gdzie fizyczna wielkość (np. energia cząstki) obliczana jest na podstawie kilku bezpośrednio obserwowanych wielkości. Algorytmy analizy wielu zmiennych wykorzystują metody uczenia maszynowego, czyli uczą się na przykładach, nie wymagając znajomości matematycznych zależności pomiędzy obserwowanymi wielkościami a zmienną, którą chcemy zmierzyć. Typowymi przykładami takich metod są sieci neuronowe (Neural Networks) czy wzmocnione drzewa decyzyjne (Boosted Decision Trees, BDT).

Kilka lat temu odbyły się otwarte zawody dla ekspertów i pasjonatów uczenia maszynowego polegające na jak najlepszej identyfikacji bozonu Higgsa w symulowanych danych eksperymentu ATLAS (<https://www.kaggle.com/c/higgs-boson>).

W Higgs Boson Machine Learning Challenge najlepsze (choć nieznacznie) rezultaty uzyskały algorytmy Deep Neural Network (omówione np. w wikipedii: [https://en.wikipedia.org/wiki/Deep\\_learning](https://en.wikipedia.org/wiki/Deep_learning)). Pisząc w skrócie: algorytmy tego typu najpierw dokonują ekstrakcji pewnych abstrakcyjnych cech danych, a dopiero na ich podstawie w następnej kolejności (czyli w następnych warstwach sieci neuronowej), dokonuje klasyfikacji.

W ostatnim czasie popularność wśród fizyków zdobywa pakiet KERAS (<http://keras.io/>), będący biblioteką sieci neuronowych, umożliwia szybkie testowanie wyników. Jest również dostępny interfejs umożliwiający używanie Keras z poziomu TMVA (<http://tmva.sf.net>), popularnego wśród fizyków wysokich energii. Proponuję uruchomić pakiet na prostych, przykładowych danych i porównać wyniki Deep Neural Network z wynikami uzyskanymi za pomocą zwykłej, płytkiej sieci neuronowej.

## 8 Poszukiwanie niewidzialnych cząstek ciemnej materii w procesach ekskluzywnych na LHC

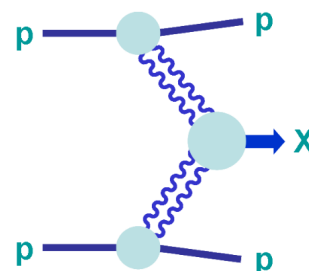
Prowadzący: dr Bartłomiej Żabiński, dr Rafał Staszewski

Czas trwania: 3 tygodnie

W eksperymentach prowadzonych na zderzaczach hadronowych zazwyczaj nie jest możliwa rejestracja wszystkich cząstek produkowanych w zachodzących oddziaływaniach. Jest to spowodowane tym, że miejsca, w których następują zderzenia, nie da się całkowicie zabudować detektorami. Musi pozostać pusta przestrzeń – rura akceleratora – przez którą przepływają wiązki.

Istnieje jednak specjalna klasa oddziaływań, nazywanych procesami ekskluzywnymi, dla których jest możliwa rejestracja wszystkich wyprodukowanych cząstek. Na przykład, ekskluzywna produkcja bozonu Higgsa to proces, którego stan końcowy to tylko bozon Higgsa i dwa protony:  $p + p \rightarrow p + H + p$ . Wprawdzie protony produkowane są pod bardzo małymi kątami wprost w rurę akceleratora, jednak ich energia jest inna niż energia protonów wiązki. Dzięki temu odchylane są one od wiązki w magnesach akceleratora i możliwy jest ich pomiar w detektorach umiejscowionych w odpowiednio dużej odległości od miejsca oddziaływania.

Celem projektu jest zbadanie możliwości pomiaru procesu  $p + p \rightarrow p + X + p$ , w którym X jest cząstką, lub parą cząstek, które nie oddziałują ani elektromagnetycznie, ani silnie. Powoduje to, że ucieka ona z detektora niezabudowana. Przykładem takich cząstek mogłyby być neutrino, lub nieznanne jeszcze cząstki ciemnej materii. Ponieważ jednak produkcja zachodzi w procesie ekskluzywnym, mierząc pędy protonów i wykorzystując zasady zachowania energii i pędu, można obliczyć masę wyprodukowanej cząstki. Problemem w pomiarze jest duże tło, pochodzące od innych procesów z protonami w stanie końcowym. W ramach wykonania zadania będzie trzeba stworzyć model przypadków sygnałowych oraz model tła. Z porównania tych dwóch modeli będzie można uzyskać informację o czułości metody.



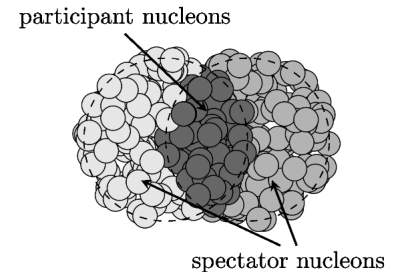
## 9 Pomiary spektatorów w oddziaływaniach ciężkich jonów na LHC

Prowadzący: dr Rafał Staszewski

Czas trwania: 3 tygodnie

Na akceleratorze LHC badane są nie tylko oddziaływania proton–proton, ale również oddziaływania zjonizowanych jąder ciężkich pierwiastków – zarówno proton–jądro, jak i jądro–jądro. W tego typu procesach część nukleonów oddziałuje z nukleonami z drugiego jądra lub protonem – są to tak zwani partycypanci. Pozostałe nukleony – spektatorzy – nie biorą udziału w procesie, lecz fragmentują w lżejsze jądra i uciekają w rurę akceleratora razem z resztą wiązki.

Celem projektu jest zbadanie możliwości pomiarów spektatorów z wykorzystaniem detektorów dedykowanych pomiarom protonów produkowanych pod małymi kątami w oddziaływaniach proton–proton. Zadanie polega na połączeniu generatora przypadków oddziaływań ciężkich jonów z programem do symulacji transportu cząstek przez struktury magnetyczne akceleratora LHC. Umożliwi to zbadanie jakie jądra są produkowane, po jakich torach się poruszają, jakie są możliwości ich pomiarów w istniejących detektorach, oraz jakie informacje można z takich pomiarów uzyskać.



**Wymagania:** doświadczenie w programowaniu, najlepiej znajomość kilku różnych języków programowania

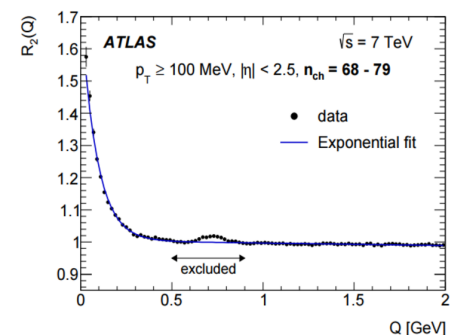
## 10 Pomiar korelacji Bosego–Einsteina w przypadkach dyfrakcyjnych mierzonych w eksperymencie ATLAS

Prowadzący: dr Rafał Staszewski

Czas trwania: 3 tygodnie

Oddziaływania dyfrakcyjne to specjalna klasa oddziaływań silnych, w których nie występuje przekaz ładunku kolorowego (związanego z oddziaływaniami silnymi) pomiędzy oddziałującymi cząstkami (w normalnych oddziaływaniach silnych, w których pośredniczy gluon – kwant oddziaływania silnego, sam niosący ładunek kolorowy – ładunek ten jest przekazywany). Oddziaływania dyfrakcyjne należą do najslabiej zrozumianych aspektów oddziaływań silnych.

Korelacje Bosego–Einsteina to efekt nierozróżnialności cząstek tego samego typu i wynikającej z tego symetrii ich wielocząstkowej funkcji falowej. Zachodzą one dla identycznych bozonów i są efektem analogicznym do zasady Pauliego, która zachodzi dla identycznych fermionów. Korelacje Bosego–Einsteina obserwuje się eksperymentalnie patrząc na produkcję par cząstek o podobnym pędzie. Przy malejącej różnicy między cząstkami ( $Q$ ) daje się widoczne jest wzmocnienie produkcji. Wielkość tego wzmocnienia zależna jest od rozmiaru obszaru, z którego emitowane są cząstki. Poprzez dopasowanie odpowiedniej funkcji, możemy uzyskać rozmiar obszaru oddziaływania.



Pomiary rozmiaru obszaru oddziaływania były w przeszłości wykonywane wielokrotnie, dla różnego rodzaju oddziaływań. Nigdy jednak nie zostały one przeprowadzone dla oddziaływań dyfrakcyjnych. Celem projektu jest wykonanie takiego pomiaru i porównanie go do wyniku uzyskanego w oddziaływaniu niedyfrakcyjnym. Przypadki dyfrakcyjne zostaną zidentyfikowane z wykorzystaniem danych pochodzących z detektorów AFP, które zbierają dane na LHC od ubiegłego roku.

## 11 Produkcja cząstek naładowanych w zderzeniach proton-proton przy energii 13 TeV

Prowadzący: dr hab. Krzysztof Woźniak

Czas trwania: 3 tygodnie

Energia protonów zderzających się w akceleratorze LHC wystarcza do wyprodukowania wielu różnych cząstek. W detektorze eksperymentu ATLAS cząstki naładowane rejestrowane są jako sygnały poszczególnych typach detektorów. Sygnały te są analizowane przez program komputerowy, którego zadaniem jest łączenie tych punktów w ślady odpowiadające torom wyprodukowanych w zderzeniu cząstek. Taka rekonstrukcja nie jest jednak doskonała, pewna część cząstek nie zostaje wykryta, zdarza się także połączenie w jeden ślad sygnałów pochodzących od więcej niż jednej cząstki. W ramach ćwiczeń analizowane będą symulacje działania detektora w celu zbadania efektywności rekonstrukcji wyprodukowanych cząstek, a następnie tak wyznaczona efektywność zostanie zastosowana do odtworzenia własności cząstek w prawdziwych zderzeniach protonów przy najwyższej energii.

**Wymagania:**

podstawowa znajomość C++ i programu ROOT (nie wykraczająca poza materiał, który będzie omawiany w pierwszym tygodniu praktyk).

## 12 Detektor promieniowania kosmicznego – poszukiwanie optymalnej konstrukcji

Prowadzący: dr hab. Krzysztof Woźniak

Czas trwania: 3 tygodnie

Promieniowanie dolatujące ze Wszechświata do Ziemi zawiera cząstki o energiach znacznie wyższych, niż dostępne w akceleratorze LHC. Takie cząstki oddziałują już w górnych warstwach atmosfery tworząc "deszcz" cząstek wtórnych, który może być rejestrowany w detektorach rozmieszczonych na terenie o rozmiarach kilkudziesięciu kilometrów. Jeśli jednak pierwsze oddziaływania zachodziłyby jeszcze przed dotarciem w bezpośrednie sąsiedztwo Ziemi, to cząstki wtórne byłyby rozłożone na znacznie większym obszarze, co wymaga innego rodzaju detektorów. Celem tego ćwiczenia będzie sprawdzenie, jakie własności powinny mieć detektory, by dawały szansę na odkrycie takiego typu zjawisk.

## 13 Kalibracja paskowego detektora krzemowego na podstawie testów na wiązce

Prowadzący: dr hab. Andrzej Bożek

Czas trwania: 3 tygodnie

Współpraca Belle II przetestowała nowy paskowy detektor krzemowy na wiązce w laboratorium w DESY. Zadanie będzie polegało na badaniu otrzymanych wyników i kalibracji ładunku pozostawionego w detektorze w zależności od tego gdzie przeszła cząstka w stosunku do paska sygnałowego. Pozwoli to na dokładniejsze pomiary położenia oraz zdeponowanego ładunku w trakcie działania eksperymentu Belle II w KEK, Japonia.

## 14 Opracowanie algorytmu do poszukiwania neutrina Majorany w eksperymencie LHCb

Prowadzący: prof. dr hab. Mariusz Witek

Czas trwania: 3 tygodnie

Celem jest przeprowadzenie jednego z elementów analizy danych zebranych przez eksperyment LHCb działający na akceleratorze LHC w CERN. Punktem wyjścia będą dane w formacie zredukowanym pakietu ROOT tzw. ntuple, które zawierają informacje o poszukiwanym rozpadzie. Na bazie danych pochodzących z symulacji rozpadu (sygnał) oraz tła przeprowadzona zostanie optymalizacja kryteriów rozpadu za pomocą wielowymiarowej analizy danych.

## 15 Selekcja oddziaływań neutrin z wymianą prądów naładowanych/neutralnych w eksperymencie T2K

Prowadzący: dr Tomasz Wąchała

Czas trwania: 3 tygodnie

Eksperyment T2K, który zlokalizowany jest w Japonii, wykorzystuje wiązkę neutrin akceleratorowych, aby badać zjawisko oscylacji neutrin oraz ich oddziaływania z materią. W detektorze bliskim eksperymentu T2K bada się oddziaływania neutrin z wymianą prądów naładowanych (CC) oraz z wymianą prądów neutralnych (NC). Oddziaływania typu CC stanowią sygnał dla badań oscylacji neutrin podczas gdy oddziaływania typu NC, to główne tło. Zadanie będzie polegać na optymalizacji metod selekcji oddziaływań typu CC/NC w kanałach inkluzywnych lub ekskluzywnych (np. CC-0pi, CC-pi0). Optymalizacja będzie polegała na doborze możliwie jak najlepszego zestawu cięć/parametrów, tak, aby uzyskać jak największą wydajność selekcji oraz czystość próbki. Możliwe jest wykorzystanie w procesie selekcji metod analizy wielowymiarowej takich jak sieci neuronowe, drzewa decyzyjne itp. (pakiet TMVA).

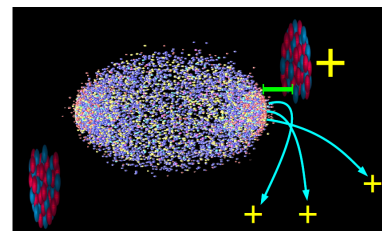
## 16 Oddziaływania elektromagnetyczne - nowe źródło informacji o zderzeniach jąder atomowych. Analiza danych z eksperymentu SHINE w CERN

Prowadzący: dr Iwona Sputowska, mgr Sneha Rajaram Bhosale, prof. Andrzej Rybicki

Czas trwania: 3 tygodnie

Mogłoby się wydawać, że w zderzeniach jąder atomowych przy bardzo wysokich energiach które badamy w CERN, zdominowanych przez oddziaływania silne, siły elektromagnetyczne nie mają żadnego znaczenia. To nieprawda. Jak wynika z naszych badań, siły elektryczne zmieniają trajektorie wyprodukowanych cząstek, a to niesie bezpośrednią informację o czasoprzestrzennej ewolucji systemu ekstremalnie gorącej materii tworzonego w zderzeniu. Ten „czasoprzestrzenny mikroskop” jest dość precyzyjny, bo działa na odległościach rzędu 0.00000000001 mm i w czasach rzędu  $10^{-23}$  s.

Eksperyment SHINE w CERN, poszukujący punktu krytycznego silnie oddziałującej materii kwarkowej i hadronowej, na naszą propozycję prowadzi również badania **czasoprzestrzennej ewolucji zderzeń jądrowych** w oparciu o efekty elektromagnetyczne. Celem praktyki będzie analiza danych eksperymentalnych uzyskanych przez międzynarodową kolaborację SHINE, które określi jak te efekty będą wyglądać dla zderzeń jąder atomowych przy energii 40-158 GeV/nukleon. Z naszych dotychczasowych prac jest jasne, że zaobserwujemy takie zjawiska w widmach i efektach kolektywnych produkowanych cząstek. Musimy jednak dokładniej wiedzieć jak duże będą te efekty w eksperymentalnych warunkach charakteryzujących SHINE.



Praktyka de facto nie wymaga żadnej zaawansowanej wiedzy, mile widziany jest zapał i podstawowe umiejętności programowania. Poziom trudności dopasujemy do umiejętności zespołu – tak, aby połączyć przyjemne z pożytecznym.

Dla zainteresowanych:

- (1) A. Rybicki et al., Physical Review C **87** (2013) 5, 054909, Acta Phys. Polon. B **46** (2015) 3, 737
- (2) A. Szczurek, M. Kiełbowicz, A. Rybicki, Physical Review C **95** (2017), 024908
- (3) <http://naukawpolsce.pap.pl/aktualnosci/news,414131,w-zderzeniach-jader-atomowych-tworza-sie-ogniste-smugi.html>
- (4) Google: „ogniste smugi”

### 17 Projekt i uruchomienie prostego serwera OPC UA w oparciu o oprogramowanie szkieletowe Quasar opracowane w CERN

Prowadzący: mgr inż. Jolanta Olszowska, dr Ewa Banaś

Czas trwania: 3 tygodnie

Serwer będzie pierwszym prototypem, który po rozszerzeniu zakresu obsługiwanych elementów zostanie użyty w systemach kontroli i monitorowania (DCS) eksperymentu ATLAS. Projekt będzie wykonywany na maszynach deweloperskich w CERN we współpracy z grupą ATLAS DCS z CERN.

### 18 Optymalizacja inkluzywnej rekonstrukcji strony znakującej w środowisku eksperymentu Belle II

Prowadzący: dr Karol Adamczyk

Czas trwania: 3 tygodnie

Celem uruchamianego eksperymentu Belle II jest m.in. pośrednie poszukiwanie zjawisk wykraczających poza Model Standardowy w sektorze ciężkich kwarków i leptonów. Belle II to fabryka mezonów B nowej generacji, gdzie masowo produkowane pary B anty-B pochodzą z procesu:  $e^+e^- \rightarrow \Upsilon(4S) \rightarrow B\bar{B}$ . Główne elementy eksperymentu to hermetyczny i wydajny spektrometr magnetyczny – Belle II, oraz akcelerator SuperKEKB o wysokiej świetlności, przekładającej się na dużą statystykę zarejestrowanych rozpadów.

Z uwagi na czyste środowisko produkcji par B anty-B (brak dodatkowych cząstek) możliwa jest rekonstrukcja obu mezonów B. Analizy przeprowadzone w Belle pokazały, że wydajną metodą do badania rozpadów B z brakującą energią było podejście gdzie drugie (znakujące) B zrekonstruowano z pozostałych w zdarzeniu cząstek (inkluzywnie). Dotychczas rekonstrukcję optymalizowano za pomocą zestawu sekwencyjnych cięć mających jasną interpretację fizyczną. Celem zadania jest ulepszenie metody (poprawa wydajności rekonstrukcji przy równoczesnej kontroli nad czystością sygnału oraz zdolnością rozdzielczością zrekonstruowanych obserwabli) przy wykorzystaniu narzędzi analizy wielowymiarowej.

Narzędzia: ROOT, Python

### 19 Badanie inkluzywnych charakterystyk rozpadów $B \rightarrow D_s X$ w eksperymencie Belle

Prowadzący: dr Jarosław Wiechczyński

Czas trwania: 3 tygodnie

W eksperymencie Belle badamy zderzenia  $e^+e^-$  przy energii 10.58 GeV odpowiadającej masie rezonansu  $\Upsilon(4S)$ . Wyprodukowany rezonans rozpada się następnie na parę mezonów  $B\bar{B}$  bez dodatkowych cząstek. Rekonstruując jeden z mezonów  $B$  i określając jego czteropęd, dostajemy automatycznie informację o czteropędzie drugiego  $B$ , którego możemy poddać analizie inkluzywnej, np. rekonstruując z części jego produktów rozpadu mezon  $D_s$  a następnie analizując resztę występujących w zdarzeniu cząstek ( $X$ ).

Duża część rozpadów mezonów  $B$  ciągle nie jest dobrze znana, dotyczy to np. rozpadów na mezony powabne. W szczególności symulowane dane eksperymentu Belle wykazują w tej klasie rozpadów spore odstępstwo od danych doświadczalnych.

Praca będzie polegała na wyznaczeniu charakterystyk "reszty" ( $X$ ) produktów rozpadu mezonu  $B$  w inkluzywnym rozpadzie  $B \rightarrow D_s X$  z rozróżnieniem, czy mezon  $D_s$  został wyprodukowany z tzw. górnego lub dolnego wierzchołka diagramu Feynmana. Dodatkowej informacji dostarczy wyznaczenie rozkładu pędów  $D_s$  w układzie spoczynkowym mezonu  $B$ .

Zalecana chociaż pobieżna znajomość języka C++.