

**Nr projektu:** 2023/51/B/ST2/02313

**Tytuł:** Innowacyjne techniki rekonstrukcji 4D dla badań nad fizyką zapachu w erze HL-LHC

## Opis projektu

Model Standardowy cząstek elementarnych został stworzony na początku lat 70-tych ubiegłego wieku. Od tamtego czasu naukowcy testowali jego poprawność. Poł wieku później wiemy, że ta teoria nawet jeśli wybitna, w dalszym ciągu nie opisuje w pełni naszego Wszechświata. Co tworzy Ciemną Materię? Czym jest Ciemna Energia? Nie wiemy. Główny wysiłek Fizyki Wysokich Energii skierowany jest na zrozumienie anomalii względem przewidywań Modelu Standardowego. W trakcie gdy teoretycy proponują nowe rozszerzenia modelu o tzw. Nową Fizykę, rolą eksperymentów jest ich potwierdzenie bądź wykluczenie poprzez analizę danych.

Poszukiwania Nowej Fizyki mogą być prowadzone w eksperymencie Large Hadron Collider beauty (LHCb) skonstruowanym przez Europejski Ośrodek Badań Jądrowych (CERN) na granicy francusko-szwajcarskiej w pobliżu miasta Genewa. Detektor LHCb jest jednym z czterech głównych eksperymentów mierzących efekty zderzeń proton-proton krążących w Wielkim Zderzaczu Hadronów (LHC), 27 kilometrowym akceleratorze cząstek. Dane zgromadzone przez detektor LHCb w latach 2010-2018 wskazały pewne rozbieżności względem przewidywań Modelu Standardowego, które w przyszłości zostaną potwierdzone lub wykluczone. Zatem, potencjał odnalezienia Nowej Fizyki tkwi w badaniach planowanych na przyszłe dziesięciolecie, które następnie będą rozszerzone na lata 2030-ste i uruchomienie Wysokiej Światłości LHC (ang. High-Luminosity LHC, HL-LHC).

Analizowanie danych oraz poszukiwanie Nowej Fizyki w zakresie coraz wyższej skali energii zmusza do budowania coraz bardziej wyrafinowanych detektorów. Muszą one nie tylko radzić sobie z wysokim napromieniowaniem, lecz także z coraz większym strumieniem cząstek. Przez ostatnie 10 lat eksperyment LHCb zbierał dane przy średniej liczbie interakcji proton-proton równej 1.2. Na lata 2030-ste planowane jest zwiększenie tej wartości do 25-50 kolizji. Stwarza to nowe wymagania dla detektorów oraz algorytmów rekonstrukcji cząstek, bowiem otaczające wiązkę detektory muszą zrekonstruować wszystkie produkty tych zderzeń z doskonałą wydajnością.

Detektorem który znajduje się zaledwie kilka milimetrów od wiązki jest Vertex Locator (VELO). Wydajność każdego detektora ściśle zależy od konstrukcji. W celu utrzymania takiej samej wydajności jak obecnie, detektor VELO musi albo poradzić sobie z ekstremalnymi poziomami promieniowania przy zachowaniu podobnego materiału, bądź odsunąć się od wiązki ale zniwelować to mniejszym rozmiarem pikseli i zredukowaną ilością materiału wykorzystanego w jego budowie. W ramach projektu, przeprowadzimy dedykowane badanie w celu znalezienia optymalnej konstrukcji detektora, która jednocześnie balansuje jego żywotność, a także pozwoli uzyskanie jak najszerszego programu analiz fizycznych. W chwili obecnej, nie ma dostępnych technologii do produkcji urządzeń półprzewodnikowych odpornych na pola radiacyjne szybkich hadronów o fluencjach osiągających  $10^{17} \frac{1}{\text{cm}^2}$ . Ponadto, nowe detektory krzemowe powinny dostarczać precyzyjnych informacji o czasie rejestracji cząstek z rozdzielczością dziesiątek pikosekund. Kilka obiecujących nowych

technologii, takich jak iLGAD lub sensory 3D, jest aktualnie intensywnie badanych w kierunku budowy odpornych radiacyjnie detektorów dostarczających informacji 4D, zarówno dla fazy HL-LHC jak również dla przyszłościowego projektu FCC (ang. Future Circular Collider). Częścią niniejszego projektu jest prowadzenie wiodących badań nad nowymi strukturami odpornymi na ekstremalne pola promieniowania hadronowego.

Krzemowy detektor wierzchołka, Vertex Locator, odgrywa kluczową rolę w rekonstrukcji cząstek, w szczególności poprzez identyfikację miejsca ich rozpadu, zwanego potocznie wierzchołkiem. Doskonała rozdzielczość wierzchołków wyróżnia LHCb spośród innych eksperymentów LHC i w pełni pozwala wykorzystać jego potencjał. Aby utrzymać tę przewagę w nadchodzącym dziesięcioleciu konieczne jest dodanie domeny czasu do procedur rekonstrukcji śladów. Zwykle trajektorie i wierzchołki cząstek są rekonstruowane w trójwymiarowej przestrzeni fazowej. Dodając dodatkowy wymiar (czas) jesteśmy w stanie zmniejszyć liczbę cząstek, które będą rekonstruowane jednocześnie. W przypadku warunków HL-LHC rozdzielczość pomiaru czasu powinna wynosić przynajmniej 40 ps. System akwizycji eksperymentu LHCb działa z częstotliwością 40 MHz. Oznacza to, że algorytmy muszą być nie tylko wydajne, ale również bardzo szybkie. Można to osiągnąć wykorzystując techniki masowego przetwarzania równoległego z wykorzystaniem architektur heterogenicznych (zawierających procesory GPU). W ramach planowanych prac badawczych zaprojektujemy procedury rekonstrukcji, które spełnią oba wymagania: obliczeniową w zadanym budżecie czasowym i wysoce wydajną dla uzyskania najlepszego wyniku fizycznego.