

**Motywacją za tym projektem** jest dążenie do zrozumienia podstawowych i emergentnych własności materii. Aby uzyskać informacje o materii, studiuje się zderzenia cząstek w najwyższych dostępnych energiach. Obecnie największe energie, dostępne są w zderzeniach hadronów w Large Hadron Collider (LHC) w CERN-ie znajdującym się w Genewie. Składnikami hadronów są kwarki i gluony, powszechnie zwanymi partonami i faktyczne oddziaływanie podczas zderzenia zachodzi pomiędzy partonami. Najbardziej bezpośrednią informację o partonach niosą stany końcowe zwane dżetami, które są skolimowanymi pękami zhadronizowanych partonów. Poprzez obliczanie przekrojów czynnych określających prawdopodobieństwo produkcji dżetów i porównując je z wynikami eksperymentalnymi, uczymy się o partonowej naturze nukleonów (protonów, neutronów). Wiele już wiadomo na temat własności partonów w nukleonach a z ostatnich badań wynika, że im większa energia zderzenia, tym więcej partonów dostępnych jest w protonie. W bardziej ekstremalnych warunkach, ilość partonów powinna się ostatecznie wysycić (ulec saturacji), tak aby odpowiednio zdefiniowane prawdopodobieństwo oddziaływania nie było większe niż jedność. Bardziej ekstremalne warunki w LHC mogą być osiągnięte w zderzeniach protonów z ołowiem i ołowiu z ołowiem. Teoretyczny opis zderzenia protonów z ołowiem jest nieco bardziej skomplikowane niż zderzenia proton-proton. Jest tak dlatego, że nukleony są związane w jądrach więc, ich własności zależą również od siły wiązania nukleonów w jądrach. Jednak stan końcowy bardzo przypomina stan końcowy zderzenia protonów czyli po zderzeniu partony ulegają konwersji w hadrony lub następuje produkcja innych cząstek. Sytuacja staje się bardziej skomplikowana, podczas zderzenia ołowiu z ołowiem. W takim zderzeniu tworzy się tzw. „fireball”, w którym materia topi się i powstaje ekstremalny nowy stan materii, określany jako plazma kwarkowo-gluonowa. Ten stan materii składający się z kwarków i gluonów ma własności podobne do cieczy o małej lepkości. W procesie schładzania się plazmy, poszczególne kwarki i gluony ulegają rekombinacji do zwykłej materii, rozszerzającej się we wszystkich kierunkach. W takim zderzeniu podobnie jak w zderzeniach  $p-p$  i  $p-Pb$  można wytwarzać dżety. Jednak takie dżety, wykazują istotną różnicę od tych wytworzonych w bardziej elementarnych zderzeniach. W doświadczeniach na RHIC i LHC naukowcy zaobserwowali, że dżety ulegają tłumieniu. Teoretyczne zrozumienie tego zjawiska jest trudne i jest jednym z najważniejszych problemów teorii silnych oddziaływań tj. chromodynamiki kwantowej (QCD). Stosowanie QCD do zderzeń hadronów opiera się na tzw. faktoryzacji, która pozwala rozkładać przekrój czynny na podstawowe obiekty: zależną od procesu część charakteryzującą twarde rozpraszanie parton-parton i funkcje gęstości partonów. Korzystając z tego formalizmu i symulacji Monte Carlo, można obliczyć przekroje czynne dla różnych procesów, co jest przedmiotem tego projektu.

**Projekt jest realizowany, ponieważ** wciąż brakuje pełnego zrozumienia zderzeń hadronów, a obecne podejścia działające w swoim reżimie stosowalności nie można formalnie rozszerzyć dalej. Przykładami otwartych problemów są:

- saturacja partonów. Obliczenia w QCD sugerują, że gęstość gluonów w hadronach powinna ulegać saturacji czyli powinno być zmniejszenie ilości cząstek z małymi wartościami pędu i zwiększenie ich ilości z dużymi wartościami pędu. Istnieją przesłanki, z analizy zderzeń głęboko nieelastycznych i eksperymentów RHIC, że saturacja występuje w przyrodzie, ale potrzebne jest więcej dowodów, aby to stwierdzić;
- asymetria didżetów które wskazuje na efekty silnego tłumienia dżetu w wyniku oddziaływania z plazmą kwarkowo-gluonową. Otwartym problemem jest do jakiego stopnia efekty na poziomie partonowym wpływają na obserwowaną asymetrię;
- korelacje długozasięgowe tzw. “ridge”. W 2010 roku eksperyment CMS zaobserwował pewną korelację pomiędzy pędami poprzecznymi a podłużnymi wyprodukowanych dihadronów. Ten efekt nie jest prostym efektem kinematycznym i nie jest do tej pory zrozumiany.

**Pierwszym zadaniem** jest użycie nowego formalizmu o nazwie Improved Transversal Momentum Dependent Factorization (ITMDF), aby dowiedzieć się więcej o partonowym składzie jąder, przez obliczanie przekrojów czynnych na obserwable elektrosłabe w zderzeniach  $p-Pb$  i  $Pb-Pb$ . Obserwable elektrosłabe są kolorowo neutralne i dlatego mogą służyć za narzędzie do określenia rozkładów partonowych ciężkich jonów i przybliżyć wyjaśnienie problemu saturacji.

**Drugim zadaniem** jest, aby zrozumieć jak wpływa relacja początkowej struktury hadronów (studiowanych w poprzedniej części) z plazmą na właściwości dżetów. Aby osiągnąć ten cel faktoryzacja ITMDF zostanie rozszerzona w celu uwzględnienia efektów pochodzących od plazmy, takich jak tłumienie dżetów.