

Nr umowy: UMO-2019/35/B/ST2/03531

Tytuł: Poprawiony opis dżetów do przodu w zderzaczach hadronów

Cel projektu

Eksperymenty takie jak te przeprowadzane w Wielkim Zderzaczu Hadronów (LHC) dają możliwość studiowania struktury materii na najbardziej fundamentalnym możliwym obecnie poziomie. Bozon Higgsa, odkryty w LHC, uzupełnia udaną teorię oddziaływan cząstek elementarnych tzw. Model Standardowy, który zawiera naszą najbardziej podstawową wiedzę o fizycznym świecie. W LHC zderzające się hadrony pozwalają na uzyskanie wysokiej energii potrzebnej w takich eksperymentach, ale także komplikują interpretację zebranych danych, ponieważ hadrony nie są cząstkami elementarnymi. Jeśli porównamy kolizję cząstek elementarnych z kolizją kul bilardowych, to w tej analogii hadrony są pełnymi koszami na śmiec.

Kwarki są cząstkami elementarnymi, z których składają się hadrony, a oddziaływania wiążące je w hadrony zapewniają gluony. W eksperymentach rozpraszania, zarówno kwarki jak i gluony odgrywają ważną rolę i są wspólnie określane jako partony. Eksperymenty w LHC są w dużej mierze oparte o statystykę, a dane są zbierane z wielu, wielu zderzeń hadronów. W stosunkowo niewielu z nich powstaje na przykład bozon Higgsa. Charakteryzuje je tak zwane twarde rozpraszanie, które można sobie wyobrazić jako zderzenie między dwoma partonami z dwóch zderzających się hadronów. Nie każde twarde rozproszenie powoduje powstanie bozonu Higgsa, ale aby wyprodukować bozon Higgsa, musiało nastąpić twarde rozproszenie.

Teoria matematyczna opisująca rozproszenie hadronów nazywa się chromodynamią kwantową (QCD). Jest to dość skomplikowana i bardzo bogata teoria, ale także bardzo dobrze spełniająca swoje zadanie. Wyobrażenie sobie zderzenia hadronów prowadzącego do interesujących wyników, jeśli założymy że partony wewnątrz hadronów będą brać udział w twardym zderzeniu, jak kule bilardowe w koszu na śmieci, jest w zasadzie proste, ale w praktyce nadal bardzo skomplikowane. Właściwa interpretacja danych wymaga, aby model ten był obliczeniowo sformułowany tak aby można było wykonać obliczenia.

Jest to możliwe dzięki temu, że skala energii związana z twardym rozpraszaniem jest znacznie wyższa niż energia związana ze strukturą hadronów, co pozwala na rozłożenie obliczeń związanych z rozpraszaniem hadronów na elementy istotne dla różnych skal energii, z których każda musi być dobrze kontrolowana. Ta strategia obliczeniowa nazywana jest faktoryzacją, a jej istnienie ma fundamentalne znaczenie dla stosowalności QCD.

W QCD można sformułować kilka przepisów faktoryzacyjnych w zależności od rozważanych przybliżeń. Można wybrać, czy na przykład uwzględniane są składowe pędu poprzecznie do kierunku zderzenia. Ponadto typ faktoryzacji, nie jest tak ważny dla przypadków, które na przykład prowadzą do produkcji bozonów Higgsa, ale są ważne w przypadkach, które dają możliwość studiowania struktury hadronów. Jedno z pytań teoretycznych wiąże się z

saturacją partonów, jest ono zadawane gdy ilość energii, jak a , mogą wnieść partony do twardego rozpraszania, jest stosunkowo niewielka. QCD w przybliżeniu liniowym przewiduje, że gęstość staje się arbitralnie wysoka dla partonów niosących mały ułamek pędu hadronu, co może prowadzić do niespójności. Aby poprawić to zachowanie wprowadza się mechanizm pozwalający na rekombinacje gluonów. Zderzenia, dla których parton pochodzący z jednego z hadronów niesie znacznie mniejszy pęd, niż pęd przekazany podczas zderzenia, można wykorzystać do badania zachowania gęstości partonów. Można je rozpoznać po tym, że produkty rozproszenia poruszają się w tak zwanym kierunku do przodu tj. wzdłuż osi określonej przez zderzające się hadrony. Dla tych asymetrycznych rodzajów zderzeń istotne są przepisy faktoryzacji uwzględniające składowe poprzeczne pędu partonu niskoenergetycznego.

Celem proponowanego projektu jest zwiększenie dokładności obliczeń wykonywanych przy wspomnianej powyżej faktoryzacji. Faktoryzacja w ogólności pozwala na systematyczne zwiększanie precyzji obliczania twardego procesu rozpraszania za cenę złożoności, za pomocą tak zwanego rachunku zaburzeń. W przypadku procesów uwzględniających pęd poprzeczny partonu ta metoda nie została jednak użyta poza najprostszym, najniższym rzędem. Dla faktoryzacji kolinearnej, w której nie bierze się pod uwagę pędów poprzecznych partonów, zostało ono wypracowane w znacznie większym stopniu. Ponadto, aby dobrze zrozumieć zachowanie gęstości partonów niosących mały ułamkowy pęd podłużny, niezbędna jest wyższa niż dotychczas precyzja.