

Celem proponowanego projektu, w najbardziej ogólnym sensie, jest badanie struktury protonów i neutronów. W najprostszym modelu proton (a także neutron) jest zbudowany z trzech *kwarków*, które związane są ze sobą oddziaływaniami silnymi. Oddziaływań silnych nie doświadczamy bezpośrednio w codziennym życiu (w przeciwieństwie do grawitacji czy oddziaływań elektromagnetycznych), ale to one sprawiają, że protony/neutrony/jądra atomowe są stabilne. Pozwalają więc na istnienie Wszechświata jaki znamy. Kwarki (jak dotąd) nie ujawniły swojej struktury wewnętrznej i uważamy je za cząstki elementarne. Znamy 6 rodzajów kwarków, najlżejsze dwa wchodzi w skład protonu i neutronu, natomiast ich ciężsi kuzyni powstają w wysokoenergetycznych zderzeniach cząstek.

Prosty obraz protonu jako trzech powiązanych ze sobą kwarków okazuje się być daleki od rzeczywistości fizycznej. W świecie kwarków, protonów i neutronów kluczową rolę odgrywa mechanika kwantowa, uogólniona do tzw. *kwantowej teorii pola*. Teoria ta postuluje, że fundamentalnymi obiektami nie są cząstki elementarne, a pola kwantowe – przykładowo kwark jest wzbudzeniem (oscylacją) pola kwarkowego. Oddziaływania również związane są z istnieniem pól kwantowych. Wzbudzenie pola oddziaływania silnego nazywamy *gluonem*. Różne pola kwantowe sprzęgają się ze sobą oddziałując, np. wzbudzenie pola kwarkowego może spowodować wzbudzenie pola gluonowego, co reprezentuje emisję gluonu z kwarku. Co więcej, gluon może „rozszczyć się” na 2 gluony lub 2 kwarki. Odwrotny proces również jest możliwy: 2 gluony mogą połączyć się w jeden.

Badanie doświadczalne struktury protonów odbywają się m. in. w akceleratorach cząstek, gdzie dwa strumienie cząstek o ogromnych prędkościach (a więc i energiach) zderzają się ze sobą. Największy obecnie akcelerator – Wielki Zderzacz Hadronów (LHC), zbudowany w ośrodku CERN pod Genewą, zderza protony z protonami lub protony z ciężkimi jądrami atomowymi. Energie są tak duże, że w jednym zderzeniu może powstać tysiące cząstek. Rekonstruując ich trajektorie i energie, fizycy mają wgląd w strukturę zderzających się protonów. Zadaniem fizyka teoretyka jest obliczenie prawdopodobieństwa powstania konkretnych cząstek w zderzeniu. Porównując takie obliczenia z wynikami eksperymentów poznajemy dynamikę kwarków i gluonów przy bardzo wysokich energiach. Jak więc wygląda proton „ogłądany” w zderzeniach wysokoenergetycznych? Otóż składa się on niemal wyłącznie z gluonów! Trzy kwarki (zwane walencyjnymi), które tworzą proton o niskiej energii, są w zasadzie nieistotne przy wysokich energiach, gdy struktura protonu jest zdominowana przez morze gluonów oraz kwarki powstałe z ich rozszczepienia. Co więcej, wraz z wzrastającą energią gęstość cząstek wzrasta – aż do stanu nasycenia. Jest to zjawisko wciąż nie w pełni poznane i jednym z celów projektu jest określenie cech tego procesu.

Ze względu na złożoność zjawisk, z jakimi mamy do czynienia, podstawowym zadaniem fizyka cząstek jest określenie jaki stan końcowy zderzenia należy analizować – wśród milionów lub miliardów zderzeń zachodzących w akceleratorze tylko niektóre będą interesujące. W proponowanym projekcie zamierzam przeprowadzić teoretyczną analizę produkcji wysokoenergetycznych fotonów (kwanty światła), leptonów (np. elektronów) oraz ciężkich mezonów (cząstki złożone z dwóch ciężkich kwarków). Jak pokazały moje wcześniejsze badania, procesy te dają możliwość badania struktury protonów przy wysokich energiach – w szczególności pozwalają określić wartości pędów gluonów w protonie. Należy podkreślić, że zrozumienie tych zjawisk ma kluczowe znaczenie również dla poszukiwań tzw. Nowej Fizyki, czyli hipotetycznych teorii, które w sposób istotny poszerzą naszą wiedzę (np. supersymetria, dodatkowe wymiary, ciemna materia). Z tego względu, im lepiej poznamy oddziaływania silne, tym większa szansa na odkrycie nowych teorii.