

**Nr umowy:** UMO-2023/49/B/ST2/03862

**Tytuł:** Struktura Protonu i Jąder Atomowych przy Wysokich Energiach

### **Opis projektu**

Od dłuższego czasu wiemy, że nukleony (protony i neutrony) tworzą jądra atomowe, które stanowią podstawowe elementy całej materii, z którą stykamy się na co dzień. Wiemy również, że protony i neutrony nie są cząstkami elementarnymi, ale składają się z kwarków i gluonów, które wspólnie nazywane są partonami. Struktura partonowa nukleonów, jak i jąder atomowych jest zdeterminowana przez oddziaływanie silne, dlatego do jej badania potrzebujemy teorii oddziaływań silnych zwanej chromodynamiką kwantową (QCD). Oddziaływanie silne wykazuje dwie, na pozór, wykluczające się cechy: umożliwia kwarkom i gluonom swobodne poruszanie się wewnątrz nukleonów (asymptotyczna swoboda), jednocześnie silnie je wiążąc z nukleonami na dużych odległościach (uwięzienie). Te cechy sprawiają, że QCD jest niezwykle wymagające i prowadzi do złożonego obrazu nukleonów, opartego na prawdopodobieństwie znalezienia partonów o określonym pędzie przy określonych skalach energetycznych. Te prawdopodobieństwa nazywane są funkcjami rozkładu partonów (PDF). Co ważne, rozkłady PDF nie tylko zawierają informacje na temat struktury protonów i jąder atomowych, ale także odgrywają kluczową rolę w przeprowadzaniu obliczeń dla wysokoenergetycznych eksperymentów w zderzaczach cząstek, takich jak LHC w Genewie czy planowany Electron-Ion Collider (EIC) w USA. Jest to związane z własnością faktoryzacji QCD, która pozwala na dekompozycję przekrojów czynnych na część wysokoenergetyczną, opisującą interakcje na poziomie partonów, oraz część niskoenergetyczną, charakteryzującą strukturę hadronów (zakodowaną w PDF-ach). Podczas gdy wiemy jak w sposób systematyczny obliczać część wysokoenergetyczną przekrojów czynnych, wyznaczenie części niskoenergetycznej w postaci PDF-ów jest bardziej złożonym zadaniem. W tym celu przeprowadzamy tzw. globalną analizę QCD, która łączy naszą wiedzę teoretyczną z informacjami pochodzącymi z danych doświadczalnych. Mimo że posiadamy już stosunkowo dobre zrozumienie PDF-ów dla protonów i w mniejszym stopniu dla jąder atomowych (które opisują strukturę partonową jąder), istotne jest poprawienie precyzji i zmniejszenie niepewności związanych z PDF-ami. Potrzeba ta wynika z nadzwyczajnej precyzji obecnych eksperymentów, zwłaszcza tych przeprowadzanych w zderzaczu LHC. Biorąc pod uwagę złożoność dzisiejszych eksperymentów, aby w pełni wykorzystać ich wyniki, kluczowe jest osiągnięcie porównywalnego poziomu precyzji w obliczeniach teoretycznych, a funkcje rozkładu partonów często stanowią dominującą część obecnych niepewności dla takich obliczeń. Projekt HESoPaN ma na celu wyznaczenie rozkładów PDF dla protonów, jak i dla jąder atomowych, skupiając się na mniej zbadanych rozkładach jądrowych. Ostatecznym celem projektu jest przeprowadzenie pierwszej jednoczesnej analizy funkcji PDF dla protonów i jąder, co zapewni ich kompatybilność i umożliwi jednolite raktowanie ich niepewności. W rezultacie uzyskane PDF-y pozwolą na zmniejszenie niepewności przewidywań teoretycznych, w szczególności dla procesów

używających jednocześnie protonów i jąder atomowych. W szczególności będzie to istotne dla eksperymentów przeprowadzanych obecnie w zderzaczach LHC i RHIC, a także w planowanym eksperymencie EIC. Ponieważ błędy związane z rozkładami PDF często stanowią dominującą część niepewności obliczeń teoretycznych, uzyskane w projekcie PDF-y umożliwią porównania danych i teorii o wysokiej precyzji, co jest niezbędne do poszukiwań nowej fizyki wychodzącej poza obecną teorię Modelu Standardowego. Dodatkowo, projekt ten poprawi nasze zrozumienie innych zjawisk, np. rzuci światło na pochodzenie efektów jądrowych, takich jak "shadowing", oraz pomoże w określeniu właściwości plazmy kwarkowo-gluonowej.