

**Nr umowy:** UMO-2019/34/E/ST2/00457

**Tytuł:** QCD ex-Machina: nowe podejście do rozwiązywania problemów Chromodynamiki Kwantowej

### **Cel projektu**

Odkrycie bozonu Higgsa, które jest kamieniem milowym w dążeniu do zrozumienia fundamentalnej natury Wszechświata, wymagało stworzenia jednego z najbardziej ambitnych projektów naukowych ludzkości - Wielkiego Zderzacza Hadronów (LHC). Jednak nasza ambicja tu się nie kończy. Dzieje się tak dlatego, ponieważ model standardowy (SM) fizyki cząstek elementarnych, który opisuje podstawowe składniki zwykłej materii i ich oddziaływania, nie jest jeszcze „teorią wszystkiego”. Pomimo olbrzymiego sukcesu w przewidywaniu wielu wyników eksperymentalnych SM nie potrafi opisać szeregu interesujących zjawisk fizycznych takich jak np. jakie jest pochodzenie ciemnej materii czy powód, dla którego Wszechświat zawiera wielokrotnie więcej materii niż antymaterii. Aby rozwiązać te i inne otwarte pytania, potrzebna jest fizyka poza Modelem Standardowy (BSM). Ponieważ jednak nie ma wyraźnego sygnału fizyki BSM w LHC i nie mamy solidnych wskazówek teoretycznych, gdzie jej szukać, potrzebujemy czegoś w rodzaju deus ex machina, która według słownika oxfordzkiego jest „nieoczekiwaną mocą lub zdarzeniem, które ratuje nas z bardzo trudnej lub wręcz niemożliwej do rozwiązania sytuacji”. Dokładniej, potrzebujemy QCD ex-Machina, ponieważ obecnie precyzja przewidywań dla LHC jest ograniczona przez nasze zrozumienie teorii oddziaływań silnych: chromodynamikę kwantową (QCD). Głównym problemem związanym z QCD jest to, że jej złożona struktura matematyczna bardzo utrudnia uzyskanie precyzyjnych przewidywań. Potrzebujemy zatem nowych pomysłów jak ją rozwiązywać, dlatego QCD ex-Machina zaproponowana w tym projekcie wykorzysta nowe innowacyjne pomysły dotyczące QCD, w tym: a) nowatorską faktoryzację, zaprojektowaną specjalnie tak by zmniejszyć złożoności obliczeń QCD; b) nową metodę łączenia poprawek Electroślabych z QCD; c) pionierskie pomysły wykorzystujące uczenia maszynowego (ML) do rozwiązywania problemów związanych z najbardziej tajemniczą łamigłówką QCD tzw. związaniem koloru. Warto podkreślić, iż w celu zbadania złożonych stanów końcowych zderzeń hadron-hadron jedynym realistycznym podejściem są numeryczne symulacje komputerowe z wykorzystaniem technik Monte Carlo. Dzieje się tak dlatego, iż istnieje olbrzymia przepaść pomiędzy związłym równaniem teorii fundamentalnej, takiej jak np. Lagrangian Modelu Standardowego, a bogatą, skomplikowaną eksperymentalną rzeczywistością, która z niego wynika. By zasypać tę przepaść tworzone są tak zwane generatory przypadków Monte Carlo. Generatory te to swego rodzaju „wirtualne zderzacze hadronów”, które „zderzają” wirtualne protony i produkują setki wirtualnych cząstek, bazując na fundamentalnych teoriach takich jak Model Standardowy. Produkty tych wirtualnych zderzeń można łatwo porównywać z prawdziwymi zderzeniami LHC, przez co jesteśmy w stanie weryfikować teorie zawarte w Generatorach Monte Carlo, jak i poszukiwać Nowej Fizyki. We współczesnej fizyce wysokich energii właściwie wszystkie odkrycia, wraz z tym niedawnym odkryciem bozonu Higgsa bazowały na tych Wirtualnych Zderzaczach Hadronów. I właśnie głównym celem proponowanego projektu jest poprawienie precyzji przewidywań generatorów Monte Carlo. Zostanie to zrealizowane poprzez

skonstruowanie nowych sposobów rozwiązywania Chromodynamiki Kwantowej (QCD), która jest kluczową teorią do opisu fizyki cząstek elementarnych, a następnie wdrożenie tych rozwiązań w generatorze Monte Carlo Herwig 7.