

## Streszczenie popularnonaukowe projektu

### *Dynamika początkowej fazy zderzenia relatywistycznych układów hadronowych z poprawkami subeikonalnymi*

Oddziaływania silne, opisywane przez chromodynamikę kwantową (QCD), odpowiadają za budowę femtoświata – strukturę nukleonów i jąder atomowych. Ich siła oddziaływania, ok. 137 razy większa od drugich w hierarchii oddziaływań elektromagnetycznych, czyni je najtrudniej dostępnymi eksperymentalnie. W żargonie fizycznym często stosuje się określenie *warunki ekstremalne* odnoszące się do warunków w jakich musi znaleźć się materia, aby ujawnić własności wynikające z oddziaływań silnych, nazywanych też kolorowymi. Warunki te można wytworzyć eksperymentalnie rozpędzając wiązki jąder atomowych do prędkości bliskich prędkości światła, aby je potem ze sobą zderzyć. Temperatura wytworzonego układu może przekroczyć nawet 5 trylionów stopni, co pozwala na uwolnienie elementarnych składników nukleonów, kwarków i gluonów, z ich wnętrz tworząc *plazmę kwarkowo-gluonową*. Plazma taka jest układem krótkożyciowym i bardzo dynamicznym, szybko dochodzi do równowagi, a następnie rozpada się znów na cząstki kolorowo neutralne, które są rejestrowane przez detektory. Zarejestrowane pędy, tory ruchu, ładunki wraz z przewidywaniami teoretycznymi pozwalają odtworzyć ewolucję silnie oddziaływującej materii i określić jej charakterystyki.

Zaawansowany program eksperymentalny dedykowany zderzeniom układów hadronowych w *Large Hadron Collider* (LHC) w Genewie i w *Relativistic Hadron Ion Collider* (RHIC) w Brookhaven, a także zderzeniom elektronów z hadronami w *Hadron-Electron Ring Accelerator* (HERA) w Hamburgu pozwolił na określenie najważniejszych własności zarówno samych hadronów jak i dynamiki plazmy kwarkowo-gluonowej. Tym samym wytyczył nowe kierunki badań, które mają być podjęte m.in. w budowanym *Electron-Ion Collider* (EIC) w Brookhaven. Te dotyczą głównie wyjaśnienia zagadki spinu protonu, jego 3-wymiarowej struktury oraz weryfikacji zjawiska saturacji gluonów w hadronach i jądrach atomowych.

Zjawisko saturacji charakteryzuje układ przy wysokiej gęstości energii, lub wysokiej gęstości gluonów, kiedy namnażanie tzw. miękkich gluonów jest równoważone przez ich rekombinację. Plazma kwarkowo-gluonowa powstaje w wyniku zderzania ciężkich jąder właśnie w reżimie saturacji. O ile ewolucja plazmy, kiedy ta już jest bliska stanu równowagi termodynamicznej, jest dość dobrze rozumiana, o tyle najwięcej niepewności w interpretacji danych eksperymentalnych wnoszą nie dość precyzyjne modele teoretyczne opisujące *fazę początkową zderzenia*. Za fazę początkową zderzenia można uznać zarówno opis jądra przed zderzeniem, jak i dynamikę silnie anizotropowego (głównie gluonowego) układu tuż po zderzeniu. Jako, że profile gęstości energii i prędkości przepływu oraz różne fluktuacje i korelacje w tej fazie determinują późniejsze zachowanie układu, należy się spodziewać, że zbyt daleko idące przybliżenia zawarte w podejściach teoretycznych do opisu fazy początkowej zderzenia nie mogą prowadzić do ostatecznego i wiarygodnego określenia własności plazmy.

Głównym celem projektu jest rozszerzenie modelu MV (modelu McLerrana-Venugopalan), opisującego wysokoenergetyczne ciężkie jądro atomowe, o efekty dynamiczne pojawiające się wzdłuż jego niewielkiej, ale skończonej szerokości oraz poznanie ich następstw, używając przy tym metod QCD. Dotychczasowe sformułowania traktowały jądro jako nieskończenie cienkie ze względu na kontrakcję Lorentza przy wysokich energiach lub też implementowały skończoną szerokość jądra, ale mikroskopowe efekty dynamiczne wzdłuż wiązki były zaniedbywane. Takie przybliżenie jest dobrze uzasadnione dla energii zderzeń dostępnych w LHC. W RHIC-u i planowanym EIC energie zderzeń są niższe i dynamika pól mikroskopowych wzdłuż szerokości jądra nie powinna być ignorowana. Wśród innych własności, dynamika wzdłuż szerokości jądra określa skrzywienie cząstek, co w kontekście analiz obserwabli ze spinem, może mieć znaczenie konceptualne. W późniejszych etapach projektu, dwa ważne zastosowania wyników rozszerzonego modelu MV będą opracowane. W szczególności, nowo wprowadzony korelator pól gluonowych posłuży do znalezienia poprawek subeikonalnych w kilku procesach rozproszeniowych, oraz pozwoli na dokładniejszy opis dynamiki początkowej fazy zderzenia ciężkich jonów, ze szczególnym naciskiem na eksplorację efektów dotąd nieuwzględnianych.