

Wojciech Florkowski

SPIN DYNAMICS IN RELATIVISTIC MATTER:

Streszczenie popularnonaukowe w języku polskim:

Spin jest podstawową wielkością fizyczną występującą w problemach współczesnej fizyki. Opisuje wewnętrzną formę momentu pędu niesionego przez cząstki elementarne, a także układy złożone, takie jak atomy i jądra atomowe. Ostatnio rola spinowych stopni swobody stała się istotna w obszarze, w którym uważano, że nie odgrywają one większej roli, a mianowicie w wysokoenergetycznych zderzeniach jąder atomowych (określanych powszechnie jako zderzenia ciężkich jonów). Powodem tego był pierwszy pozytywny pomiar polaryzacji spinu cząstek powstających w takich zderzeniach, który wykazał, że ich spiny są ustawione wzdłuż kierunku początkowego momentu pędu zderzających się jonów. Wydaje się, że część początkowego orbitalnego momentu pędu obecnego we wczesnej fazie zderzenia została przetransferowana do części spinowej. Taki transfer jest możliwy, ponieważ w mechanice kwantowej zachowana jest tylko suma części orbitalnej i spinowej całkowitego momentu pędu.

Z drugiej strony głównym narzędziem teoretycznym opisu dynamiki zderzeń jądrowych jest hydrodynamika relatywistyczna. Wczesne zastosowania oparte na dynamice płynu doskonałego ustąpiły ostatnio miejsca nowoczesnym podejściom, które uwzględniają zjawiska dysypacji i duże odchylenia od równowagi termodynamicznej. Modelowanie hydrodynamiczne zderzeń ciężkich jonów pozwoliło na wyznaczenie lepkości wytworzonej w tych procesach materii, która wydaje się być najmniejsza wśród znanych w Przyrodzie substancji. Sukces pomiarów hydrodynamiki i pomiary polaryzacji sugerują, że materia wytwarzana w zderzeniach jądrowych jest w rzeczywistości płynem spolaryzowanym, którego ogólna dynamika wpływa na spinowe stopnie swobody. W konsekwencji rodzi się naturalne pytanie o rozwinięcie formalizmu relatywistycznej hydrodynamiki uwzględniające polaryzację spinu. Proponowany projekt NCN skupia się na tym ogólnym zagadnieniu. Co ciekawe, w 2016 r. znaleziono dowody na generację prądu spinowego w wirowym przepływie ciekłej rtęci. Tak więc, chociaż główna motywacja proponowanego projektu pochodzi z dziedziny fizyki jądrowej wysokich energii, cele projektu będą z pewnością istotne dla innych dziedzin, zwłaszcza spintroniki i astrofizyki.

Sama idea płynu ze spinem sformułowana została już dość dawno temu i pochodzi z przełomowego artykułu Weyssenhoffa i Raabego. Współautorem nowszego sformułowania hydrodynamiki ze spinem jest kierownik projektu. Główną ideą tego podejścia jest wykorzystanie funkcji równowagowej dla cząstek ze spinem. Obecnie istnieje jednak kilka nowych podejść mających na celu zbudowanie relatywistycznej hydrodynamiki ze spinem. Wszystkie pozostają w ścisłym związku z podstawową fizyką kwantową. Najbardziej popularne podejście wykorzystuje kwantowe funkcje rozkładu (tzw. funkcje Wignera) dla fermionów z spinem $1/2$ jako punkt wyjścia, podczas gdy inne formalizmy wykorzystują inne ogólne argumenty fizyczne dotyczące rozwinięcia gradientowego oraz produkcji entropii.

Pomimo bardzo dużej bieżącej aktywności w dziedzinie hydrodynamiki ze spinem, nadal brakuje powszechnie akceptowanego formalizmu, który mógłby posłużyć do opisu relatywistycznych ośrodków spolaryzowanych. Co więcej, kilka analiz doprowadziło do identyfikacji problemów, które wymagają szerszych badań, na przykład takich jak problem efektów związanych z nielokalnością w zderzeniach cząstek ze spinem. Celem proponowanego projektu jest skonstruowanie spójnego formalizmu hydrodynamiki ze spinem, syntetyzującego z fizycznego punktu widzenia najatrakcyjniejsze idee, które do tej pory pojawiały się w poszczególnych podejściach różnych grup. Jednocześnie badane będą powiązania z innymi działami fizyki. W szczególności planujemy uwzględnić wpływ pól magnetycznych, co będzie bardzo ważne w kontekście astrofizycznym, ponieważ magnetohydrodynamika (bez spinu) jest już ugruntowanym narzędziem w tej dziedzinie.

W dziedzinie relatywistycznych zderzeń jądrowych włączenie spinowych stopni swobody stanowi obecnie front badań naukowych. Pomiary polaryzacji oferują zupełnie nową perspektywę badania właściwości wytworzonej materii. Coraz więcej danych jest zbieranych dla różnych zderzających się układów i dla większości obserwacji polaryzacyjnych nie można znaleźć żadnego teoretycznego wyjaśnienia. Biorąc pod uwagę tak istotne niedociągnięcia obecnych teorii, bardzo ważne staje się zatem konstruowanie modeli dynamiki spinu, których przewidywania można bezpośrednio skonfrontować z danymi eksperymentalnymi.