

Jedną z najbardziej zadziwiających cech mechaniki kwantowej jest nielokalność. Istnienie tzw. stanów splątanych zmusza nas do opisywania dwóch cząstek, nawet bardzo odległych od siebie, jako jeden silnie skorelowany układ. Kwantowej nielokalności nie da się jednak wykorzystać do superluminalnego przesyłu informacji. Innymi słowy, kwantowe splątanie nie stoi w sprzeczności z relatywistyczną strukturą przyczynową implikowaną przez teorię względności. Z drugiej strony, odkrycie splątania kwantowego dało początek nowej dziedzinie kwantowej informacji, która umożliwia m.in. całkowicie bezpieczne protokoły kryptograficzne oraz algorytmy obliczeniowe, znacznie szybsze od standardowych.

Siłę kwantowych korelacji można kwantyfikować przy użyciu nierówności typu Bella: w najprostszym przypadku dwóch cząstek i dwóch możliwych ustawień detektorów pewna wielkość S nie może przekroczyć wartości 2 jeśli stosujemy opis klasyczny. Mechanika kwantowa pozwala jednak na osiągnięcie wartości $S=2\sqrt{2}$ – tzw. ograniczenia Tsirelsona. Wielkość S może teoretycznie osiągać jeszcze większe wartości – aż do $S=4$. Pod koniec lat 90-tych odkryto, iż możliwe są teorie (tzw. „PR-boxy”), które wysycają maksymalną wielkość S – a zatem są jeszcze „bardziej nielokalne” niż mechanika kwantowa – jednak wciąż nie prowadzą do superluminalnego przesyłu informacji.

Projekt ma na celu zbadanie teorio-informacyjnych własności różnych teorii wychodzących poza standardową mechanikę kwantową. Jako podstawowy aksjomat przyjęta zostanie zasada niesprzeczności z relatywistyczną strukturą przyczynową, czyli brak paradoksów logicznych. W świetle najnowszych badań okazuje się, że ta zasada pozwala na istnienie jeszcze ogólniejszych teorii (tzw. „RC-boxy”) niż wspomniane PR-boxy. Mogą one prowadzić do przedziwnych efektów takich jak nielokalna zmiana korelacji pomiędzy odległymi obiektami. Jednym z trudnych i nierozstrzygniętych problemów jest pytanie czy w ramach takich teorii możliwe jest uzyskanie bezpiecznych protokołów kryptograficznych. Choć odpowiedź na to jest pozytywna w przypadku mechaniki kwantowej, a także – przynajmniej częściowo - PR-boxów, to wstępne badania sugerują, że w ogólnym schemacie RC ta własność się załamuje.

Najnowsze wyniki badań teoretycznych sugerują również, iż kwantowa teoria pola – służąca do opisu fundamentalnych oddziaływań w przyrodzie – może prowadzić do korelacji, których nie da się zrealizować w zwykłej mechanice kwantowej. W ramach projektu podjęta zostanie próba skonstruowania fizycznego modelu, w którym owe tajemnicze korelacje mogłyby się objawić. Będziemy również badać własności teorio-informacyjne takich modeli z perspektywy RC-boxów.

Realizacja projektu pozwoli na zrozumienie fundamentalnych ograniczeń na przetwarzanie informacji w przyrodzie. Ma to istotne znaczenie nie tylko z perspektywy odkrywania podstawowych praw fizyki, ale również w kontekście potencjalnych zastosowań w kryptografii czy komunikacji w przestrzeni kosmicznej.