

Niezwykłe cechy kwantowych korelacji

R. Horodecki

*Międzynarodowe Centrum Teorii Technologii Kwantowych,
Uniwersytet Gdański,
ul. Bażyńskiego 1A, 80-309 Gdańsk*

Kwantowa teoria fizycznej rzeczywistości – najlepsza, jaką dysponujemy – choć nastrocza nieprzewyciężone dotąd trudności interpretacyjne ma, wyjąwszy grawitację, niezwykle moc profetyczną. Całe nasze wcześniejsze doświadczenie z zastosowaniem teorii kwantowej zdaje się mówić: to, co przewiduje formalizm kwantowy, musi pojawić się w laboratorium.

Na kwantową teorię można patrzeć jak na rodzaj inskrypcji zakodowanej w języku przestrzeni Hilberta, która stanowi zbiór przepisów, określających sposób przewidywania wyników przyszłych pomiarów w laboratoriach. Odkrycie, że inskrypcja przewiduje istnienie nieklasycznych korelacji wstrząsnęło naszymi wyobrażeniami o naturze, inspirując bezprecedensowy rozwój kwantowych technologii. W ramach wykładu omówię osobliwe cechy kwantowych korelacji, odkrytych w 1935 roku przez Einsteina, Podolskiego i Rosena, analizowanych przez Schrödingera, nazwanych przez niego splątaniem, a także korelacji kwantowych innych niż splątanie, odkrytych na początku lat osiemdziesiątych. Z punktu widzenia obserwatora, obdarzonego „klasyczną” intuicją, najbardziej niezwykłą cechą kwantowego splątania jest, że stany splątane mogą nie spełniać nierówności Bella. Eksperymentalna weryfikacja tego fenomenu, zwieńczona Nagrodą Nobla 2023, była jednym z największych wyzwań w historii fizyki.

Daleka od zrozumienia, subtelna i zarazem złożona natura kwantowych korelacji wciąż zdradza nowe, fascynujące cechy, dające się zaobserwować w coraz bardziej wyrafinowanych eksperymentach. W toku wykładu omówię m.in. odkryte w Gdańsku, niezwykle cechy kwantowego splątania i metody jego detekcji. Zacznę od nawiązania do słynnej obserwacji Erwina Schrödingera w jego nieopublikowanych notatkach z 1932 roku, opatrzonej trzema znakami zapytania: „Najlepsza możliwa znajomość całości nie obejmuje możliwie najlepszej znajomości jego części – i to jest to co ciągle wraca, by nas prześladować”. Znaczenie tej głębokiej obserwacji wyjaśnione i sformalizowane w połowie lat 90., potwierdzone w pionierskim eksperymencie w 2005 r. dostarczyło pierwszego nieliniowego „świadka” splątania.

Dalej przedstawię pokrótce podstawy detekcji zaszumionego splątania, opartej na koncepcji liniowego świadka splątania, kryterium Peresa i tzw. nieliniowych świadków splątania, stosowanych obecnie w laboratoriach. Jak się wkrótce okazało kryteria te nie były w stanie wykryć ukrytego głęboko w szumie tzw. związanego splątania (bound entanglement, 1998). Ten nowy rodzaj splątania, otrzymany w serii spektakularnych doświadczeń, przeprowadzonych niezależnie w różnych ośrodkach (2009-2010) implikuje istnienie nowego typu nieodwracalności w naturze. Fenomen ten zaskoczył fizyków „(...) związane stany splątane wystawiają na próbę granice naszego

SP1-1

rozumienia i zastanawiają nas swoją wewnętrzną nieodwracalnością” (Physics Today, B. Terhal *et al.*, 2003). Przy okazji omówię pewne superaddytywne efekty, takie jak aktywacja i superaktywacja związanego splątania oraz efekt nieaddytywności splątania w kwantowej metrologii.

Pod koniec części poświęconej splątaniu przedstawię jego osobliwe zachowanie, występujące w dynamice dwuczęściowych układów poddanych działaniu środowiskowego szumu (2001), ponownie odkryte trzy lata później przez grupę Eberly’ego i nazwane nagłą śmiercią splątania.

Ostatnia część wystąpienia będzie poświęcona kwantowym korelacjom innym niż splątanie i niektórym ich miarom, które przyjęto nazywać: kwantowy diskord i kwantowy deficyt.