

Nagroda FNP dla Marka Żukowskiego

Tegoroczna (2013) Nagroda Fundacji na rzecz Nauki Polskiej z dziedziny nauk matematyczno-fizycznych i inżynierskich została przyznana profesorowi Markowi Żukowskiemu. Nie sposób pisać o osiągnięciach naukowych Laureata, nie przybliżając choćby z grubsza specyfiki dziedziny, do labiryntu której zawiodła go pasja.

Odkrycie mechaniki kwantowej dla wielu klasyków stanowiło katastrofę ontologiczną i pojęciową. Kwantowy opis Natury nie tylko zakwestionował deterministyczny obraz świata, ale – jak pierwsi dostrzegli Einstein, Podolski i Rosen (EPR – 1935) – przewidywał istnienie „upiornych” korelacji na odległość, analizowanych głębiej przez Schrödingera i nazwanych splątaniem.

W tamtym czasie trudno było przypuszczać, że staną się one nie tylko podstawą testów ontologii bytu, ale wejść do laboratorium jako subtelny zasób. Wierzone bowiem, że pomiar ujawnia jedynie istniejące już wcześniej własności cząstek. Znalazło to swoiste odbicie w einsteinowskiej filozofii „lokalnego realizmu”, opartej na założeniu, że proces pomiaru w jednym laboratorium nie wpływa na pomiar w innym odległym laboratorium (lokalność), a własności cząstek istnieją przed pomiarem (realizm).

Przed półwiekiem John Bell pokazał, że lokalny realizm implikuje nierówności (Bella), które można było testować eksperymentalnie niezależnie od jakiegokolwiek teorii. Do laboratorium wkroczyła „filozofia stosowana”, która stymulowała rozwój kwantowej informatyki i kwantowych technologii, włączając interferometrię wielofotonową stanów splątanych. Począwszy od lat siedemdziesiątych do chwili obecnej, w coraz bardziej spektakularnych eksperymentach obserwowane są zjawiska nieklasyczne – łamanie nierówności Bella zgodnie z kwantowo-mechanicznymi przewidywaniami.

W powyższym nurcie mieszczą się pionierskie dokonania Marka Żukowskiego. W roku 1988 debiutował w dziedzinie interferometrii kwantowej, gdzie zaprezentował układ interferometryczny pozwalający obserwować zjawiska o zbliżonej naturze do korelacji EPR. W pięć lat później ukazała się w „Physical Review Letters” pionierska, cytowana dotąd 757 razy praca¹, której M. Żukowski był pierwszym autorem. Zostało w niej opisane zjawisko wymiany splątania i metody obserwacji tegoż w warunkach laboratoryjnych.

Metody te umożliwiły obserwacje kwantowej interferencji rzędu wyższego niż dwufotonowa, włączając pierwszą eksperymentalną kwantową teleportację, wykonaną w Innsbrucku przez zespół Zeilingera. Egzotyka zjawiska polega na tym, że mając dwie pary splątanych cząstek 1,2 oraz 3,4 i dokonując łącznego pomiaru na cząstkach 2 i 3, można splątać cząstki 1 i 4, które ze sobą nigdy nie oddziaływały. Metody obserwacji wymiany splątania, udoskonalone przez Żukowskiego w serii prac z zespołami Zeilingera, Weinfurtera, Pana i Bourennane’a, przyczyniły się w decydujący sposób do rozwoju eksperymentalnej kwantowej informacji i wielofotonowej interferometrii stanów splątanych.

W współautorskiej pracy² Laureat pokazał w oparciu o metody numeryczne, że – wbrew powszechnemu przekonaniu – łamanie lokalnego realizmu są silniejsze dla układów, które mogą dawać wiele wyników pomiarowych. W kolejnych pracach (2001–2002) Żukowski ze współpracownikami wyprowadził pełny układ nierówności Bella dla eksperymentów interferencyjnych z dowolną liczbą cząstek, w których lokalni obserwatorzy mogą wybierać między dwoma komplementarnymi pomiarami, i podał ogólne warunki naruszenia tych nierówności. W tym samym czasie interesował go problem redukcji komunikacyjnej

w rozproszonych przestrzennie protokołach opartych na splątaniu. W 2004 roku we współautorskiej pracy³ wykazał, że z każdą nierównością Bella można powiązać problem redukcji komunikacyjnej złożoności obliczeń i że zjawiska nieklasyczne łamiące taką nierówność obniżają złożoność komunikacyjną problemu obliczeniowego.

Wkrótce wraz z zespołem Weinfurtera wykonał eksperymentalny test tej metody. Ten sam schemat eksperymentalny (opatentowany w USA) posłużył do demonstracji metody kwantowego dzielenia się sekretami, zaproponowanej wcześniej (1997) przez Żukowskiego i współpracowników.

W roku 2003 noblista Anthony Leggett wyszedł poza lokalny realizm, wyprowadzając nierówność spełnianą przez pewną klasę teorii nielokalnych i realistycznych. Żukowski we współautorskiej pracy⁴, w pomysłowym eksperymencie, pokazał, że nierówność typu Leggetta jest łamana przez przewidywania kwantowe. Był to pierwszy test, który wykazał, że nie można wyjaśnić interferencji dwufotonowej za pomocą nielokalnych realistycznych ukrytych zmiennych. Tak więc Natura „nie toleruje” nie tylko lokalnego realizmu, ale także szerokiej klasy nielokalnych realistycznych ukrytych zmiennych.

Inny przełomowy rezultat Żukowskiego wiąże się z publikacją Popescu-Rohlicha⁵, sugerującą istnienie silniejszych korelacji niż dopuszczalne przez mechanikę kwantową, zgodnych ze szczególną teorią względności. Żukowski wraz z trzema swoimi uczniami: Pawłowskim, Kaszlikowskim, Paterkiem, oraz ze Scaranim i Winterem, wprowadzili⁶ nową fizyczną zasadę, nazwaną informacyjną przyczynowością: „Wiadomość nie może zawierać dostępu do większej ilości informacji niż ilość informacji w niej zawarta”. Zasada ta prowadzi do ścisłego określenia maksymalnej wartości kwantowych korelacji, pozwala odróżnić teorie fizyczne od niefizycznych i spełniona jest zarówno przez teorie klasyczne, jak i mechanikę kwantową. W szczególności zakazuje istnienia silniejszych korelacji niż dopuszczalne przez mechanikę kwantową, co wyklucza fizyczność korelacji Popescu-Rohlicha. Zasada informacyjnej przyczynowości spotkała się z dużym oddźwiękiem wśród fizyków, ponieważ wskazuje przyczynę, dla której Natura nie pozwala zbyt wydajnie przetwarzać informacji.

Niedawna przeglądowa praca w „Reviews of Modern Physics”⁷ w znacznej części stanowi opis dorobku naukowego profesora Żukowskiego.

RYSZARD HORODECKI

Institut Fizyki Teoretycznej i Astrofizyki
Krajowe Centrum Informatyki Kwantowej w Gdańsku
Uniwersytet Gdański
członek korespondent PAN

¹ M. Żukowski, A. Zeilinger, M.A. Horne, A.K. Ekert: “Event-ready-detectors” – Bell experiment via entanglement swapping, *Phys. Rev. Lett.* **71** (26), 4287 (1993).

² D. Kaszlikowski, P. Gnaniński, M. Żukowski, W. Miklaszewski, A. Zeilinger: Violations of local realism by two entangled N -dimensional systems are stronger than for two qubits, *Phys. Rev. Lett.* **85** (21), 4418 (2000).

³ C. Brukner, M. Żukowski, J.W. Pan, A. Zeilinger: Bell’s inequalities and quantum communication complexity, *Phys. Rev. Lett.* **92** (12), 127901 (2004).

⁴ S. Groeblacher, T. Paterek, R. Kaltenbaek, C. Brukner, M. Żukowski, M. Aspelmeyer, A. Zeilinger: An experimental test of non-local realism, *Nature* **446**, 871 (2007).

⁵ S. Popescu, D. Rohlich: Nonlocality as an axiom, *Found. Phys.* **24**, 1379 (1994).

⁶ M. Pawłowski, T. Paterek, D. Kaszlikowski, V. Scarani, A. Winter, M. Żukowski: Information Causality as a Physical Principle, *Nature* **461**, 1101 (2009).

⁷ J.W. Pan, Z.B. Chen, C.Y. Lu, H. Weinfurter, A. Zeilinger, M. Żukowski: Multiphoton entanglement and interferometry, *Rev. Mod. Phys.* **84** (2), 777 (2012).