

Osiągnięcia fizyki kwantowej

Mechanikę kwantową odgadnięto w 1925 roku. Musiało minąć równo ćwierć wieku męczarni od hipotezy Maxa Plancka, która stanowiła pierwszy wyłom. Dokonali tego, zupełnie niezależnie, Heisenberg i Schrödinger. Teoria ta była rewolucyjna i zupełnie inna niż teoria Newtona, czy teoria elektromagnetyzmu Maxwella. Ale tak musiało być. Opisuje ona bowiem świat atomów i cząstek elementarnych, zupełnie nam niedostępny w bezpośrednim poznaniu, nieznaną dla fizyki XIX wiecznej.

Fizycy rzucili się do obliczeń i zaczęli przeprowadzać nowe eksperymenty. Nagle zrozumiano, dlaczego atomy są stabilne i co to jest wiązanie chemiczne (chemia przestała być nauką fenomenologiczną!). Mechanika kwantowa opisuje to znakomicie i przewidziano na jej podstawie tysiące nowych zjawisk. Jak dotąd nie ma ani jednego eksperymentu, czy zjawiska, które by nie było zgodne z tą teorią.

Ten oszałamiający sukces teorii kwantów, zapoczątkowanej przez Einsteina w 1905 roku, wiązał się z porzuceniem wszystkich podstawowych pojęć fizyki klasycznej. Niels Bohr ogłosił zasadę komplementarności (gdy określamy pęd cząstki, o jej położeniu nawet nie wolno wspominać), którą przedstawił Heisenberg w formie zasady nieoznaczoności (iloczyn niedokładności określenia pędu i niedokładności określenia położenia nie może być mniejszy niż stała Plancka, zatem gdy jedno jest małe drugie musi być duże). Cała fizyka stanęła na głowie.

Wątpliwości Einsteina, czy teoria kwantów jest zupełna, rosły. Najbardziej ubolewał nad faktem, że jej przewidywania wyrażają się w formie prawdopodobieństw. Skoro mamy tylko prawdopodobieństwa, to znaczy że nie znamy pewnych ukrytych parametrów. Konstruował przeróżne „eksperymenty myślowe” mające wskazać, że takie parametry muszą istnieć. „Eksperymenty” Einsteina mówiły o pojedynczych cząstkach lub ich parach. Najślynniejszy z nich to tzw. paradoks Einsteina-Podolskiego-Rosena (EPR) opisujący korelacje pary cząstek i według EPR sugerujący, że zasada nieoznaczoności może być sfalsyfikowana. W swej odpowiedzi na atak EPR, Bohr wykazał, że rozumowanie EPR nie uwzględnia komplementarności.

Aby dowiedzieć się, kto miał rację, musieliśmy czekać wiele lat. Chyba główną przyczyną był fakt, iż wcześniejsze eksperymenty nie umożliwiały precyzyjnej „inżynierskiej” kontroli nad pojedynczymi cząstkami czy ich parami. To się zaczęło zmienić od początku lat 70. wraz z powstaniem optyki kwantowej, interferometrii neutronowej i wreszcie optyki atomowej. Zanim nastąpiły te przełomy w badaniach eksperymentalnych, w 1964 John Bell udowodnił, że założenia EPR muszą prowadzić do przewidywań, które są sprzeczne z mechaniką kwantową. Jeżeli ma nadal obowiązywać einsteinowska zasada, że oddziaływania nie mogą być przenoszone z prędkością szybszą niż światło, to ukryte parametry nie mogą istnieć!

Czy to samo można powiedzieć o Naturze? Już w 1972 John Clauser wykonał pierwszy eksperyment z parami fotonów, którego wyniki okazały się zgodne z przewidywaniami kwantowymi, a sprzeczne z założeniami EPR. Eksperyment był niedoskonały, ale wskazał drogę. Kamieniem milowym były eksperymenty Alaina Aspecta (1982), znacznie bardziej doskonałe. Aspect jest jednym z członków Komitetu Naukowego Międzynarodowego Centrum Teorii Technologii Kwantowych (International Centre for Theory of Quantum Technologies, ICTQT), które powstaje na Uniwersytecie Gdańskim w ramach programu Fundacji na Rzecz Nauki Polskiej – Międzynarodowe Agencji Badawczej (UG uzyskała na stworzenie tego ośrodka 35 milionów złotych).

I tak zaczęła się druga kwantowa rewolucja. Paradoksalnie przewidywania twierdzenia Bell’a i nowe możliwości eksperymentalne, pozwoliły na precyzyjną kontrolę zjawisk kwantowych, nie mających żadnego swojego odpowiednika w świecie fizyki klasycznej.

Skoro są nowe niesamowite zjawiska, to można je wykorzystać w nowych technologiach. Już w Orwellowskim 1984 roku Charles L. Bennett (który jest doktorem honoris causa Uniwersytetu Gdańskiego) i Gilles Brassard wymyślili kryptografię kwantową, opartą na zasadzie komplementarności. W 1991 Artur Ekert (Polak, na stałe mieszkający i pracujący w Anglii) wymyślił bardziej doskonałą wersję opartą na korelacjach EPR i twierdzeniu Bella. Kryptografia kwantowa pozwala na generowanie dwóch identycznych kopii tzw. klucza kryptograficznego o dowolnej długości (jest to efektywnie ciąg przypadkowych „bitów” czyli cyfr o wartościach 0 lub 1). Ten proces jest w teorii całkowicie bezpieczny, bo złamanie takiego kwantowego szyfru równa się złamaniu praw Natury. Zaczęło się szaleństwo! W 1989 roku Daniel Greenberger, Michael Horne i Anton Zeilinger (ten ostatni jest także doktorem honoris causa Uniwersytetu Gdańskiego) pokazali, że dla trzech lub więcej cząstek konflikt pomiędzy ideami EPR, a mechaniką kwantową dramatycznie się pogłębia. W 1994 Peter Shor wymyślił algorytm faktoryzacji liczb wielkich naturalnych na liczby pierwsze (np. 21 to 3 razy 7) używający praw kwantowych i niezmiernie szybszy niż jakikolwiek inny algorytm użyty na dowolnym „normalnym” komputerze (no, ale trzeba by mieć komputer kwantowy).

Kwantowa kryptografia, komputery kwantowe to wyzwania, które rozpoczęły lawinę badań nad:

- **kolejnymi paradoksami mechaniki kwantowej,**
- **eksperymentalnymi metodami ich obserwacji, jako zjawisk Natury,**
- **wykorzystaniem tych paradoksalnych zjawisk do tworzenia urządzeń, które wg klasycznej fizyki, informatyki i klasycznego rachunku prawdopodobieństwa są niemożliwe,**
- **tworzenia nowych kwantowych technologii opartych na powyższych.**

Z sympozjów entuzjastów, kwantowe konferencje przerodziły się w wielkie zjazdy. Obecnie nawet rządy i wielkie korporacje interesują się możliwościami kwantowych technologii. W tym roku rusza Quantum Technologies Flagship europejski program wspierania tego typu badań o budżecie 1 miliarda Euro!

Międzynarodowego Centrum Teorii Technologii Kwantowych na Uniwersytecie Gdańskim jest polską odpowiedzią na te wyzwania. Będzie się przede wszystkim opierać już na obecnie silnej pozycji gdańskiego ośrodka w dziedzinie podstaw mechaniki kwantowej, kwantowej optyki i kwantowej informacji.

Dość powiedzieć, iż praca rodziny Horodeckich z 1996 roku wyznaczyła dla naukowców z całego świata kierunek badań tzw. stanów splątanych, a praca Żukowski, Zeilinger, Horne, Ekert (1993) była operacyjną podstawą pierwszego eksperymentu ukazującego z absolutną precyzją, że EPR nie mieli racji (grupa Hansona, 2015).

Tekst: Marek Żukowski