
Świat u progu Drugiej Rewolucji Kwantowej

Tomasz Sowiński

Instytut Fizyki PAN

Streszczenie. Rozwój fizyki w XX wieku był w dużej mierze zainspirowany i zdominowany przez próby zrozumienia mechaniki kwantowej - teorii fizycznej opisującej materię i promieniowanie na poziomie subatomowym. Gdy pierwsze niezręczne próby sformułowania mechaniki kwantowej były podejmowane, nikt sobie nie zdawał sprawy, że już niespełna sto lat później może ona doprowadzić do nadzwyczajnego postępu technologicznego wpływającego niemal na każdy element codziennego życia. Nie da się ukryć, że dziś żyjemy w czasach Rewolucji Kwantowej, bo każdy z nas ma w domu dziesiątki urządzeń, które działają dzięki jej zdobyczom. Mało kto jednak zdaje sobie sprawę, że wszyscy zbliżamy się nieuchronnie do kolejnego przełomowego momentu, który w perspektywie jednego pokolenia jeszcze bardziej odmieni znany nam świat. **Już wkrótce nastąpi Druga Rewolucja Kwantowa**, której jednym ze skutków będzie powstanie urządzeń rozwiązujących abstrakcyjne problemy przy wykorzystaniu zjawisk kwantowych. **Czy jesteśmy na nią przygotowani?**

Poprzednie rewolucje oparte na wiedzy

Zacznijmy od próby wyjaśnienia czym jest wspomniana Druga Rewolucja Kwantowa. Najlepiej na to pytanie odpowiedzieć poprzez porównanie do innych rewolucji naukowo-technicznych, których kiedyś doświadczyła nasza cywilizacja. Nie zagłębiając się zbyt mocno w historię, zacznijmy od rewolucji związanej z opanowaniem przez ludzkość przepływu prądu elektrycznego i jego wytwarzania, czyli tzw. Pierwszej Rewolucji Elektrycznej. Dziś chyba nikt nie ma wątpliwości, że ta spektakularna umiejętność opanowana jedynie w celu zaspokojenia ludzkiej ciekawości doprowadziła do dynamicznych zmian społecznych (na przestrzeni zaledwie jednego pokolenia), których nikt się nie spodziewał. Bardzo szybko okazało się, że ciężka praca fizyczna, którą do tej pory wykonywał człowiek, zwierzęta lub olbrzymie i mało wydajne silniki parowe, może być znacznie efektywniej wykonywana przez urządzenia zasilane prądem elektrycznym. Wszelkiego rodzaju silniki elektryczne, duże i małe, szybkie i wolne, błyskawicznie zadomowiły się we wszystkich gałęziach gospodarki. Choć „zmuszenie” prądu elektrycznego do *wykonywania pracy* było spektakularną zdobyczą cywilizacyjną, to w swej istocie rewolucja elektryczna przyniosła nam jeszcze jeden, znacznie ważniejszy wynalazek – bardzo wydajne sztuczne oświetlenie. Wielu uważa go za najważniejsze odkrycie od czasu wynalezienia koła przez ludzi pierwotnych. To właśnie od tamtego momentu, nie jesteśmy już bezwzględnie związani naturalnym cyklem dnia i nocy narzucanym nam przez przyrodę. Choć wcześniej mieliśmy dostęp do świec, lamp naftowych czy gazowych, to nie ma żadnej wątpliwości, że dopiero wprowadzenie pod strzechy oświetlenia elek-

trycznego było krokiem naprawdę przełomowym i jednym z filarów drugiej rewolucji przemysłowej, jaka przetoczyła się przez świat na przełomie XIX i XX wieku.

I choć rewolucja elektryczna zmieniła nasz świat nie do poznania, to przyszłość okazała się jeszcze bardziej zaskakująca. Opanowanie przepływu prądu było bowiem tylko pierwszym krokiem, swego rodzaju preludium do Drugiej Rewolucji Elektrycznej, która dopiero miała nastąpić. Jej źródłem znów należy poszukiwać w ludzkiej naturze sprawdzania, jak bardzo Przyroda jest podatna na manipulację. Tym razem celem było sterowanie przepływem prądu elektrycznego „na żądanie innego prądu”. Gdy już stało się jasne, że ten cel można osiągnąć nawet na poziomie pojedynczych elektronów, pojawiły się zupełnie nowe możliwości, o których marzyło wielu futurologów, ale właściwie nikt się nie spodziewał, że mogą okazać się prawdziwe. Tak narodziła się elektronika.

Dlaczego właściwie narodziły elektroniki nazywamy Drugą Rewolucją Elektryczną, a nie jedynie kontynuacją tej Pierwszej? Powód jest fundamentalny. Druga Rewolucja przyniosła nam nie tylko jeszcze bardziej sprawne i jeszcze bardziej wydajne urządzenia elektryczne, które mogą wykonywać dla nas pracę, ale doprowadziła do stworzenia urządzeń, które mogą rozwiązywać dla nas zadania abstrakcyjne - czyli takie, które do tej pory potrafił postawić (i niekiedy nawet rozwiązać) jedynie człowiek siłą swojego rozumu. To wraz z opanowaniem technologii półprzewodnikowej i stworzeniem diody oraz tranzystora stało się możliwe sterowanie przepływem prądu w taki sposób, aby przepływ ten odpowiadał logicznemu cyklowi decyzyjnemu

prowadzącemu do uzyskania logicznej odpowiedzi na abstrakcyjne pytanie. Dzięki temu powstawały coraz wydajniejsze maszyny liczące. Maszyny, które jak się szybko okazało, nie tylko pozwoliły nam wysłać człowieka na Księżyc i doprowadziły do „wymyślenia” internetu, ale również całkowicie zmieniły nasze codzienne życie praktycznie w każdym aspekcie – od zwykłych zakupów w sklepie zaczynając, a na zmianach różnych zachowań społecznych kończąc.

Pierwsza Rewolucja Kwantowa

Gdy w roku 1961 amerykański prezydent obiecywał wysłanie człowieka na Księżyc, a rewolucja elektroniczna była u szczytu swojego dynamicznego rozwoju, to w cichych laboratoriach fizyków już tlił się płomyk kolejnej. Tym razem rewolucja miała być oparta o zjawiska, których nie możemy doświadczyć w codziennym życiu, gdyż zachodzą one jednie w skali subatomowej. Niemniej jednak ich istnienie i kontrolowanie może zmienić nasze codzienne życie. Jak to jest możliwe? Chyba najbardziej przemawiającym przykładem jest wytworzenie przez człowieka światła laserowego. O tym czym jest światło laserowe rozpisują się (lepiej lub gorzej) różne podręczniki szkolne i akademickie. Ale w każdym z nich próżno szukać informacji, że takie światło, będące strumieniem zupełnie identycznych fotonów, jest w istocie wytworem ludzkiej wyobraźni! Przyroda sama z siebie nigdzie we Wszechświecie światła laserowego spontanicznie nie wytwarza, a przynajmniej nic nam o tym nie wiadomo. To człowiek siłą swojego umysłu, przeprowadzając wnikliwą abstrakcyjną analizę teorii opisującej zjawiska kwantowe, przewidział, że można stworzyć warunki, w których nastąpi akcja laserowa – kaskadowe uwolnienie identycznych fotonów z odpowiednio przygotowanego ośrodka. I choć zjawisko jest czysto kwantowe, to jego efekt jest ewidentnie makroskopowy. Skrzętnie to wykorzystujemy niemalże każdego dnia w medycynie, telekomunikacji czy budownictwie, nie wspominając już o zastosowaniach militarnych.

Taka jest właśnie Pierwsza Rewolucja Kwantowa, która na dobre gości w naszym codziennym życiu od niemal 40 lat. Stała się możliwa dzięki dwóm fundamentalnym umiejętnościom opanowanym niemal do perfekcji przez fizyków dla zaspokojenia swojej naukowej ciekawości:

- precyzyjnemu kontrolowaniu podstawowego zjawiska kwantowego emisji i absorpcji pojedynczych fotonów,
- kontrolowaniu stanu kwantowego pojedynczych atomów.

Obecnie już za kilkanaście złotych w każdym kiosku możemy kupić wspomniany laser, czyli urządzenie do wytwarzania unikatowej w skali Wszechświata wiązki światła. Niewiele droższy jest pendrive (64 GB) pozwalający błyskawicznie i bezpiecznie zachować dane cyfrowe, do których przechowania zaledwie 30 lat temu potrzebowalibyśmy prawie 200 tysięcy dyskietek. To właśnie te umiejętności stały się podstawą transformacji teleinformatycznej społeczeństw i ostatecznie doprowadziły do przekształcenia naszej Planety w prawdziwą Globalną Wioskę, w której niewielkie znaczenie mają strefy czasowe, granice państwowe czy języki.

Świat kwantowej informacji

Opanowanie podstawowych zjawisk kwantowych było jednak tylko początkiem nowoczesnych zmian. Mechanika kwantowa ukazuje bowiem całe swoje piękno, a zarazem niewykorzystany dotychczas potencjał, gdy jej opis wychodzi poza opis jednociłowy. Teoria kwantowa dopuszcza bowiem sytuacje, w których dwie lub więcej cząstek są ze sobą skorelowane w taki sposób, że żadna klasyczna teoria prawdopodobieństwa nie jest w stanie tych korelacji prawidłowo opisać. Co ważniejsze korelacje te są globalne, tzn. istnieją niezależnie od tego, czy cząstki znajdują się blisko siebie czy dzielą je duże odległości. Pierwszy tę możliwość zauważył Albert Einstein, który uważał ją za dowód na to, iż mechanika kwantowa jest wciąż źle sformułowaną teorią naukową, bo wierzył, że każda rozsądna teoria powinna być teorią lokalną. Gdy wraz z B. Podolskim i N. Rosenem w latach 30. poprzedniego wieku przedstawili słynny eksperyment myślowy ukazujący, w czym tkwi problem, doprowadzili do zintensyfikowanych badań w tym kierunku i... na szczęście nie mieli racji! Mechanika kwantowa jest teorią nielokalną i, jak zostało to teoretycznie wykazane przez Bella w latach 60., może zostać także doświadczalnie potwierdzone (co faktycznie zostało zrobione). Jeśli układ kwantowy jest przygotowany w stanie skorelowanym swoich podukładów (w kwantowym sensie), to pomiary wykonywane na jednym z nich zmieniają wyniki pomiarów wykonywanych na pozostałych. A zjawisko to nie ma swojej analogii w świecie klasycznym.

Pomyślmy przez chwilę, jak ta dodatkowa możliwość nieklasycznego korelowania podukładów może zmienić sposób, w jaki przetwarzamy informację. Wyobraźmy sobie np., że dane zapisane na dysku naszego komputera są nierozzerwalnie skorelowane z danymi na dysku innego użytkownika. Wynik odczytu tych danych zależy od tego, czy dane z innego dysku zostały już wcześniej odczytane czy też nie! Co ważniejsze, dzieje się to wszystko bez jakiegokolwiek przesyłania informacji

pomiędzy komputerami. Klasyczna informatyka takich cudów nie uznaje, ale Przyroda je dopuszcza, a fizycy w swoich laboratoriach potrafią już to zrobić. Jest tylko kwestią czasu, kiedy urządzenia oparte o takie fenomenalne zjawiska kwantowe staną się codziennością.

Jak możemy się przygotować?

Współczesny globalny świat stoi u progu Drugiej Rewolucji Kwantowej, która już wkrótce całkowicie zmieni nasz sposób życia. Gdy za kilkanaście lat dzisiejsi dziesięciolatekowie staną się głównym motorem rozwoju naszej cywilizacji, będą każdego dnia używali urządzeń, które ta rewolucja przyniesie i tylko od nas zależy czy będą potrafili w pełni wykorzystać ich potencjał. Nie możemy społeczeństwa do tego przygotować nieustannie spierając się o rzeczy w swej istocie mało ważne, zapominając o tym, nad czym przede wszystkim powinniśmy się pochylić. Jak długo my fizycy (naukowcy, wykładowcy i nauczyciele) będziemy się jeszcze milcząco zgadzać, aby nauczanie fizyki w szkole kończyło się na roku 1920? Jak długo jeszcze fundamentalnym problemem naukowym na lekcjach fizyki (z tak wielką pasją tłumaczonym na tysiące sposobów) będzie zagadnienie równi pochyłej i drgań na sprężynce? Czy my naprawdę jesteśmy przekonani, że wiedza o wyznaczaniu kierunków świata za pomocą gnomonu, to oczywisty niezbędny w jakiej szkole powinna wyposażać każdego ucznia? Czy w taki sposób szkoła ma przygotować przyszłe pokolenia do wyzwań z jakimi zmierzą się w XXI wieku, skoro w szkole uczeń nie może dowiedzieć się niczego na temat zasady działania przedmiotów, których używa każdego dnia? Dlaczego tzw. nowa podstawa programowa z fizyki wciąż koncentruje się na tłumaczeniu podstaw Pierwszej Rewolucji Elektrycznej i kończy swoją opowieść na czasach, w których powstawało Polskie Towarzystwo Fizyczne?

Inni już bieżą!

Około 2016 roku, w czasie, gdy w Polsce głęboko i z wielką pasją zastanawialiśmy się nad wyimaginowanymi problemami polskiej edukacji (np. istnienia bądź likwidacji gimnazjów, problemie sześciolatek w szkole itp.) wpływowe firmy technologiczne, a wraz z nimi odpowiedzialni politycy w najbardziej rozwinię-

tych gospodarkach świata zdali sobie sprawę, że rewolucja, do której doprowadziło opanowanie zjawisk kwantowych, dopiero się rozpoczyna. Już nie tylko w naukowych laboratoriach mamy urządzenia, które wykorzystując te niezwykle i całkowicie nieznane klasycznemu światu korelacje wykonują abstrakcyjne zadania do tej pory uważane za nierozwiązywalne. Oto największe giganty technologiczne, takie jak Google, IBM czy D-Wave, ścigają się w ogłaszaniu skonstruowania coraz to bardziej wydajnych maszyn, których operacyjność jest oparta o przetwarzanie informacji kwantowej. Na te urządzenia można patrzeć jak na bardzo wczesne prototypy przyszłych komputerów kwantowych – można je śmiało porównać do prototypowego komputera ABC z lat trzydziestych.

W naszym rejonie świata znakiem tej kwantowej transformacji było ogłoszenie Quantum Manifesto (<http://quope.eu/manifesto>) – apelu europejskich fizyków do władz zjednoczonej Europy o podjęcie niezbędnych działań zmierzających do tego, by kontywent pozostał wśród liderów kwantowych technologii. Manifest ostatecznie doprowadził do bezprecedensowej decyzji Unii Europejskiej o uruchomieniu specjalnego programu finansowania projektów Drugiej Rewolucji Kwantowej. Finansowania na niespotykanym dotąd w Europie poziomie w wysokości jednego miliarda euro w ciągu dziesięciu lat. Od roku 2020 rusza analogiczny program w Chinach z finansowaniem na poziomie dziesięciokrotnie wyższym. Czy w Polsce te jasne sygnały zostały gdziekolwiek poza środowiskiem naukowców zauważone lub choćby wyartykułowane? Od trzech lat wdramy zmiany (czasami nazywane reformami) edukacji i nauki. Robimy to niestety w najgorszy możliwy sposób, tzn. całkowicie ignorując moment w jakim się znajdujemy, a co gorsza sytuację w jakiej będzie się znajdowała ludzkość za 30 lat! Naszym priorytetem powinno być rozpoczęcie nauczania podstaw nowoczesnej mechaniki kwantowej w szkołach. **Tak jak w powojennej szkole wprowadzono nowy sposób nauczania przedmiotów ścisłych i zaczęto uczyć termodynamiki, podstaw elektryczności i magnetyzmu, czy budowy atomu, tak w nowoczesnej szkole XXI wieku powinniśmy na lekcjach fizyki zacząć uczyć podstaw Drugiej Rewolucji Kwantowej.**