

Kwanty na podium

Życie czasami dopisuje sympatyczne puenty. Kilka dni po ukazaniu się poprzedniego wydania „Domeny” z tematem numeru poświęconym komputerom kwantowym Królewska Szwedzka Akademia Nauk przyznała Nagrodę Nobla w dziedzinie fizyki za rok 2022 za eksperymenty związane ze splątaniem kwantowym oraz interferometrią.

Ani matematyka, ani informatyka nie zmieściły się w kategoriach Nagrody Nobla – choć matematykę Jan Śniadecki, wybitny astronom, matematyk, filozof i geograf w jednej ze swoich prac opublikowanych w 1818 r. nazwał „królową wszystkich nauk”.

Obie te dziedziny nauki mają oczywiście swoje prestiżowe nagrody.

„Noblem matematyki” nazywany jest Medal Fieldsa, przyznawany od 1936 r. (z przerwą podczas II wojny). Od 1950 r. laureatów co 4 lata nagradza komitet powoływany przez Międzynarodową Unię Matematyczną, medal przyznawany jest matematykom (i matematyczkom – do tej pory wśród laureatów były tylko dwie kobiety), którzy do chwili nominacji nie ukończyli 40 lat. Od 2003 r. król Norwegii co roku przyznaje Nagrodę Abela. Dotychczas trzech spośród jej laureatów otrzymało ją za prace z dziedziny matematyki dyskretnej i informatyki teoretycznej: w 2012 r. Endre Szemerédi (Węgierska Akademia Nauk i Rutgers University w USA), a w 2021 r. László Lovász (Uniwersytet Loránda Eötvösa) oraz Avi Wigderson (Institute for Advanced Study w Princeton, USA). László Lovász wraz z Holendrami, braćmi Arjenem Lenstra i Hendrikiem Lenstra opublikowali w 1982 r. algorytm LLL, który znajduje zastosowanie w zaawansowanej kryptografii.

Turing zamiast Nobla

Za „informatycznego Nobla” uznawana jest Nagroda Turinga, od 1966 r. przyznawana corocznie przez amerykańskie Association for Computing Machinery (ACM) za wybitne osiągnięcia w dziedzinie informatyki. Wśród ponad 70 laureatów są giganci światowej informatyki i matematyki, m.in. Maurice Wilkes, Richard Hamming, John McCarthy, Edsger Dijkstra, Donald Knuth, John Backus, Kenneth Iverson, Dennis Ritchie, Ken Thompson, Niklaus Wirth, Douglas Engelbart, Vinton Cerf, Robert Kahn, Peter Naur, Tim Berners-Lee. Wśród nich są tylko trzy kobiety: w 2006 r. Frances Allen za prace



Tomasz Kulisiewicz

sekretarz Sektorowej Rady ds. Kompetencji – Informatyka

z dziedziny optymalizacji kodu, w 2008 r. Barbara Liskov za jej wkład w projektowanie języków programowania, w 2012 r. Shafira Goldwasser za osiągnięcia w kryptografii. Wydaje się, że komitety przyznające prestiżowe nagrody informatyczne są na razie powściągliwe w nagradzaniu za osiągnięcia w informatyce kwantowej. W 2020 r. ACM przyznało inną swoją coroczną nagrodę, *ACM Prize in Computing*, Scottowi Aaronsonowi, profesorowi University of Texas, za prace teoretyczne z dziedziny informatyki kwantowej.

Zagadnienia te spotkały się natomiast z uznaniem ze strony fizyków. W 2012 r. Nagrodę Fizyki Fundamentalnej, przyznawaną przez fundację założoną przez rosyjsko-izraelskiego fizyka i inwestora Yuri Milnera, otrzymał Aleksy Kitajew, od końca lat 80. pracujący w USA nad teoretycznymi podstawami informatyki kwantowej. Nagroda, obecnie pod nazwą Breakthrough Prize, przyznawana jest w kilku kategoriach (nauki o życiu, matematyka, fizyka oraz dwie specjalne: New Horizons za osiągnięcia w fizyce i matematyce dla młodych naukowców oraz Maryam Mirzakhani New Frontiers dla młodych matematyczek). Wśród fundatorów są Julia i Yuri Milnerowie, Mark Zuckerberg oraz współzałożyciel Google’a Sergey Brin i jego była żona Anne Wojcicki. Nagrody Breakthrough Prize

są najwyższymi finansowo nagrodami naukowymi: w każdej z głównych kategorii jest do podziału po 3 mln dolarów, podczas gdy laureaci nagród Nobla dzielą się kwotą 10 mln koron szwedzkich, co w 2022 r. oznaczało niecałe 970 tys. USD (podział ustalany jest przez komitety nagradzające).

We wrześniu 2022 r. ogłoszono laureatów Breakthrough Prize in Fundamental Physics 2023 (w nazwie nagrody zawsze jest rok następny). Choć formalnie jest nagrodą za prace dotyczące fundamentów fizyki, to otrzymali ją naukowcy zajmujący się informatyką kwantową: Charles H. Bennett z IBM Thomas J. Watson Research Center i Gilles Brassard z Université de Montréal za osiągnięcia z dziedziny kwantowej kryptografii i teleportacji, David Deutsch z Uniwersytetu Oksfordzkiego za definicję kwantowej wersji maszyny Turinga – uniwersalnego komputera kwantowego oraz Peter Shor z MIT za jego słynny algorytm oraz prace nad korektą błędów.

Tegoroczny Nobel z fizyki

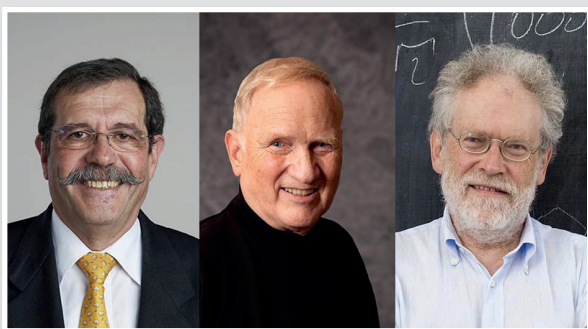
Choć Nagroda Nobla z fizyki przyznawana jest od samego początku tego najwyższego odznaczenia naukowego (w 1901 r. otrzymał ją Wilhelm Conrad Röntgen), to do mechaniki kwantowej komitety i instytucje nominujące do tej nagrody podchodziły jakby trochę nieufnie. Lody zostały przełamane dopiero w październiku 2022 r., kiedy to Nagrodą Nobla 2022 w dziedzinie fizyki podzielili się (po 1/3) Alain Aspect, John F. Clauser i Anton Zeilinger (patrz ramka).

American Physical Society od 2017 r. przyznaje daleko skromniejszą (5 tys. USD) nagrodę wspieraną przez IBM Research i nazwaną *Rolf Landauer and Charles H. Bennett Award in Quantum Computing*. Za rok 2023 (a więc także „awansem”, jak Breakthrough Prize) laureatką została Nathalie de Leon, profesor Princeton University za osiągnięcia w dziedzinie „kwantowego hardware”; zajmuje się ona m.in. wakansami azotowymi w diamentach oraz innych materiałach, a także realizacjami sprzętowymi kubitów w warunkach nadprzewodnictwa. Nagroda jest przyznawana za osiągnięcia z ostatnich 10 lat, ale nie późniejsze niż 12 lat od obrony doktoratu.

Polska też wspiera informatykę kwantową

Działająca od 1991 r. Fundacja na rzecz Nauki Polskiej, będąca największym w Polsce pozabudżetowym źródłem finansowania nauki, wspiera naukowców poprzez fundowane przez nią stypendia i nagrody. Najbardziej prestiżowa nagroda FNP przyznawana jest od 1992 r., obecnie za osiągnięcia w obszarze: nauk o życiu i o Ziemi, nauk chemicznych i o materiałach, nauk humanistycznych i społecznych oraz nauk matematyczno-fizycznych i inżynierskich.

Nagrodę Nobla w dziedzinie fizyki za rok 2022 Królewska Szwedzka Akademia Nauk przyznała za eksperymenty ze splątaniem kwantowym oraz interferometrią.



Zdjęcie: The Royal Society; Peter Lyons, Jaqueline Godany (<https://physicstoday.scitation.org/doi/10.1063/PT.6.1.20221004a/full/>)

John F. Clauser (ur. 1942), związany z Lawrence Livermore National Laboratory oraz Uniwersytetem Kalifornijskim w Berkeley, a także ze swoją firmą J.F. Clauser & Assoc., zaprojektował i wykonał praktyczny eksperyment z wykorzystaniem spolaryzowanych fotonów. Jego pomiary

wykazały, że nierówność Bella może być naruszona i do wyjaśnienia splątania kwantowego nie potrzeba żadnych zmiennych ukrytych. W latach 1987–1991 zaproponował i opatentował interferometry atomowe, wykorzystywane m.in. jako ultraczułe czujniki grawitacji.

Alain Aspect (ur. 1947), profesor w Instytucie Optyki Uniwersytetu Paris-Saclay oraz École Polytechnique w Palaiseau, jest członkiem Francuskiej Akademii Nauk oraz Francuskiej Akademii Technologii. W latach 1981–1982 potwierdził doświadczalnie wyniki J. Clausera, dopracowując konfigurację eksperymentów ze splątaniem.

Anton Zeilinger (ur. 1945), profesor na Uniwersytecie Wiedeńskim, ze swoim zespołem w 1972 roku, współpracując ze Stuartem Freedmanem, przeprowadził pierwszą eksperymentalną obserwację naruszenia nierówności Bella, a w latach 1997–1998 badał eksperymentalnie zjawisko teleportacji kwantowej.

W 2008 r. otrzymał ją (wtedy jeszcze w obszarze nauk ścisłych) prof. dr hab. Ryszard Horodecki z Instytutu Fizyki Teoretycznej i Astrofizyki Uniwersytetu Gdańskiego za wkład w stworzenie podstaw informatyki kwantowej, w 2013 r. (po zmianie od 2010 r. podziału i nazw 4 obszarów – jako nagrodę za osiągnięcia w obszarze nauk matematyczno-fizycznych i inżynierskich) – prof. Marek Żukowski z Wydziału Matematyki, Fizyki i Informatyki Uniwersytetu Gdańskiego za badania wielofotonowych stanów splątanych, które doprowadziły do sformułowania przyczynowości informacyjnej jako zasady fizyki. W 2019 r. w tej samej kategorii nauk matematyczno-fizycznych i inżynierskich prof. Andrzej Kosakowski z Instytutu Fizyki Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu za rozwinięcie teorii kwantowych układów otwartych (<https://www.fnp.org.pl/laureci-nagrody-fnp/>).

Einstein, Podolsky i Rosen wymyślili w 1935 r. eksperyment myślowy, znany pod nazwą paradoksu EPR. Według tego paradoksu splątane cząstki nawet po ich rozdzieleniu na dowolną odległość nadal dzielą określone właściwości. Badając stan jednej z nich (np. polaryzację albo spin), automatycznie poznajemy też taką cechę tej drugiej cząstki. Są dwie możliwości wyjaśnienia takiego splątania: cząstki pozostają w stanie nieokreślonym do momentu pomiaru czy obserwacji i dopiero pomiar właściwości jednej z nich automatycznie określa stan drugiej. Ponieważ miałyby to się dziać natychmiast, bez względu na odległość, Einstein nazwał tę możliwość „upiornym działaniem na odległość”. Według drugiego podejścia splątane cząstki można porównać do pary rękawiczek, umieszczonych w zamkniętych pudełkach. Jeżeli po otwarciu jednego pudełka zobaczymy w nim rękawiczkę lewą, nawet bez sprawdzenia możemy mieć pewność, że w drugim pudełku jest rękawiczka prawa. Właściwości obu paczek z rękawiczkami były więc zdefiniowane od samego początku (rządziły nimi zmienne ukryte), choć do chwili otwarcia pudełka były niewidoczne.

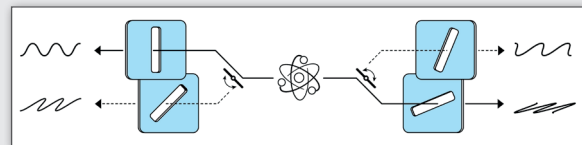
Opublikowana w 1964 r. przez irlandzkiego fizyka Johna S. Bella z Belfastu nierówność Bella miała służyć do odróżnienia par splątanych obiektów posiadających trwale zapisane cechy od takich, których stan ustala się dopiero w chwili jego badania. Według Bella możliwe jest zaprojektowanie eksperymentu, w którym – przy wielokrotnym jego powtarzaniu – istnienie ukrytych zmiennych powodowałoby, że wartość korelacji między wynikami poszczególnych eksperymentów nie mogłaby przekroczyć określonej wartości. Wyższa wartość korelacji dowodziłaby, że nie ma żadnych ukrytych zmiennych.

Zob. <https://www.kwantowo.pl/2022/10/06/testy-nierownosci-bella/>

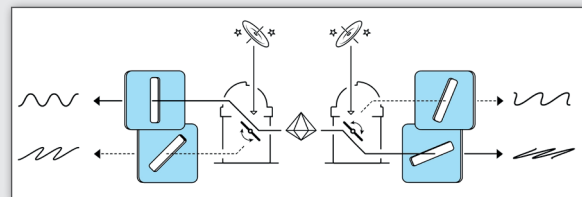
Eksperymenty noblistów



John Clauser wywoływał emisję splątanych fotonów oświetlając w specjalny sposób atomy wapnia. Po obu stronach źródła emisji ustawił filtry dla określania polaryzacji fotonów. Seria pomiarów wykazała, że splątanie fotonów narusza nierówność Bella.



Alain Aspect rozbudował konfigurację pomiarową, uzyskując wyższy poziom emisji splątanych fotonów. Dodał także możliwość zmian konfiguracji w trakcie eksperymentu w celu eliminacji ewentualnych „zanieczyszczeń” układu pomiarowego uprzednią informacją, która mogłaby wpłynąć na wynik eksperymentu.

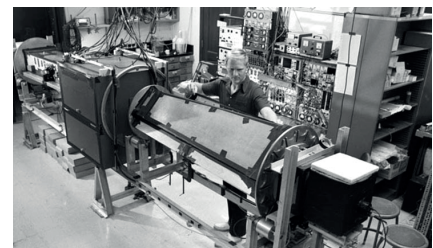


Anton Zeilinger w swojej instalacji eksperymentalnej wywołał emisję splątanych fotonów, oświetlając specjalne kryształy światłem laserowym. Ustawienia instalacji pomiarowej zmieniał używając liczb losowych, zaś w jednej z tur eksperymentów do ustawiania filtrów skorzystał też z promieniowania z odległych galaktyk aby uniknąć interferencji między sygnałami. Jego eksperymenty także potwierdziły naruszenie nierówności Bella.

na podstawie https://www.nobelprize.org/uploads/2022/10/fig4_fy_en_22_BellExperiments.pdf

©Johan Jarnestad/The Royal Swedish Academy of Sciences

John Clauser przy swoim urządzeniu pomiarowym



Fot. Steve Gerber, courtesy of Berkeley Lab (<https://physicstoday.scitation.org/doi/10.1063/PT.6.1.20221004a/full/>)