

## Cząstki splątane – nierówność Bella, próba wyjaśnienia

Sławomir Prochowski

Mechanika kwantowa niesie za sobą mnóstwo paradoksów burzących spokój naszych umysłów i przeczą logice, którą znamy z życia codziennego. Wydaje nam się, że prawa rządzące makroświatem i mikroświatem powinny być takie same, przynajmniej co do zasad ogólnych. Nie może być dwóch rzeczy w tym samym miejscu, jak coś jest białe to nie jest czarne, jak coś jest to jest, a nie trochę jest a trochę nie jest. Przyzwyczajeni jesteśmy do prawd kategorycznych. Tymczasem mechanika kwantowa jest zaprzeczeniem takiego podejścia do świata. Wszędzie napotykamy w niej niepewność i niewiadome. Wszystko jest w niej jedynie prawdopodobne, nieokreślone i rozmyte. Są wartości, które nie mogą być razem mierzone dokładnie, i to nie jest wynikiem niedoskonałości naszych przyrządów, lecz wpisane w samą naturę rzeczy, w istotę tego świata, w jego strukturę. Teoria opisuje zjawiska, które przeczą „zdrowemu rozsądkowi”, cokolwiek on by oznaczał. Fale prawdopodobieństwa miotają okrętem naszej wiedzy jak sztorm nędzną łupiną. Efekt tunelowania, anihilacja, dualizm falowo-korpuskularny wywołują w nas niesamowity opór przed akceptacją istnienia tych zjawisk. Dlatego poświęcamy mnóstwo czasu i energii aby wyjaśnić niezrozumiałe i zrozumieć niewyjaśnione. Często bezskutecznie.

Jedną z wielkich zagadek mechaniki kwantowej jest zjawisko nielokalności. O ile teoria względności znalazła w naszych umysłach swoje miejsce i jest akceptowana mimo tego, że i ona niesie ze sobą nieco zaskakujących faktów ( stałość prędkości światła, spowolnienie czasu, wygięcie przestrzeni), to zjawisko o niemal magicznym podłożu, jakim jest nielokalność, budzi w nas immanentny sprzeciw. W skrócie polega ono na tym, że w pewnych procesach fizycznych układ emituje w przeciwnych strony dwie cząstki o pewnych właściwościach opozycyjnych. Jeżeli jedna cząstka jest dajmy na to biała to druga na pewno czarna i odwrotnie. Oczywiście nie chodzi o kolor a o właściwość zwaną spinem, ale dla wygody opisu posłużę się tutaj pojęciem barwy. Nie jest określone, która z cząstek jest biała a która czarna, ale wiadomo, że jeżeli jedna jest taka to druga jest na pewno siaka. Jeżeli staniemy dajmy na to po lewej stronie układu i sprawdzimy jakiego koloru cząstka przeleciała obok nas to możemy być pewni, że cząstka, która poleciała sobie w stronę przeciwną jest na pewno koloru innego niż cząstka przez nas zaobserwowana. W sumie nie byłoby w tym nic dziwnego, w makroświecie występują podobne zjawiska. Jeżeli dwóch naszych znajomych mówiło nam, że jeden z nich pojedzie do sklepu a drugi do warsztatu, ale nie sprecyzowali, kto pojedzie gdzie, to gdy spotkamy jednego z nich w sklepie będziemy pewni, że drugi z nich znajduje się w warsztacie. Nic w tym dziwnego. Tak myśleli także Einstein, Podolski i Rosen. Jak jedna z cząstek jest biała to druga jest czarna. Jak złapiemy jedną to dowiemy się jak była druga. Niestety, nie takie to proste. Otóż mechanika kwantowa mówi nam, że żadna z cząstek nie jest ani biała ani czarna aż do momentu, gdy na nią spojrzymy. Do tej chwili cząstki, każda z nich, jest w połowie biała a w połowie czarna. Dopiero nasz pomiar spowoduje, że jedna z nich przybierze określony kolor. Do tego momentu barwa cząstki jest nieokreślona. I tu zachodzi zjawisko, którym zajmę się w tym artykule. Otóż, gdy dokonamy sprawdzenia barwy jednej z cząstek ta druga przyjmie barwę przeciwną NATYCHMIAST. Niezależnie od tego jak daleko będą od siebie, gdy jedna stanie się czarna w wyniku naszego pomiaru, to druga NATYCHMIAST stanie się biała.

No dobrze, ale sygnał może przenosić się nie szybciej niż światło, skąd więc owo NATYCHMIAST? I to jest właśnie paradoks.

Einstein i jego współpracownicy myśleli sobie tak – Do diabła z tym, że nie wiemy jakiego koloru jest każda z cząstek, które wyleciały w przeciwnych stronach. My nie wiemy, ale one przecież mają jakiś kolor. Jedna jest biała, druga czarna, pali licho, że nie wiemy, która jest

która. Ja popatrzymy to się dowiemy. Niestety, niejaki Bell, niech go piekło pochłonie, wymyślił doświadczenie, przeprowadzone później przez Aspecta, również z piekła rodem, które wykazało, że do momentu pomiaru obie cząstki możemy traktować jako w połowie białe a w połowie czarne. Dopiero dokonując obserwacji barwy cząstki powodujemy, że staje się ona określona a wtedy NATYCHMIAST ta druga też. Ten diabelski wynik nie daje mi spokoju. Chciałbym krzyknąć „To po prostu niemożliwe!” i mieć w tym rację. Więc próbuję. Zaproponuje model zjawiska oraz test doświadczalny, który może potwierdzić lub zaprzeczyć mojej hipotezie.

Podsumujmy wnioski z kwantowego opisu zjawiska emisji dwóch cząstek splatanych. Po pierwsze – cząstki w dowolnej chwili czasu mają pewną właściwość, zwana dalej CECHA, o przeciwnych znakach. Może być to spin lub jakakolwiek inna własność kwantowa. Jeżeli w danej chwili cząstka A ma spin  $-1$  to cząstka B ma w tej chwili spin  $+1$ . Po drugie – w dowolnej chwili czasu dla obydwu cząstek CECHA nie jest określona dla cząstki pojedynczej a tylko dla układu. Na przykład tak, że spin sumaryczny obydwu cząstek wynosi zero. Pomyślmy o monecie podrzuconej w górę. Zanim nie upadnie, mechanika kwantowa próbuje nam wmówić, że moneta składa się w połowie z reszki a w połowie z orła. Dopiero gdy przestanie się toczyć i spocznie na stole nastąpi „redukcja funkcji falowej”, i otrzymamy wynik pomiaru. Albo reszkę albo orła. Spin w górę lub spin w dół. Makromechanika kwantowa na stole. Nie do wiary!

Ale poważnie – zastanówmy się nad rzuconą monetą. Analogia do wyemitowanej cząstki jest o wiele głębsza niż wydaje się na pierwszy rzut oka. Moneta porusza się w trzech wymiarach i nie można mówić o pozycji awersu bez wyboru płaszczyzny, na którą chcemy zrzutować kształt monety. Zanim tego nie zrobimy, CECHA orzeł czy reszka jest nieokreślona.

Podobnie jak w wypadku spinu cząstki splatanej. Dopóki nie włączymy pola magnetycznego, spin cząstki jest nieokreślony.

Wyobraźmy teraz sobie następujące doświadczenia: mamy specjalne urządzenie, które potrafi wyrzucić z siebie dwie monety naraz, w przeciwnych kierunkach, z identyczną prędkością zarówno liniową jak i kątową, oraz dodatkowo z przeciwnie skierowanym momentem pędu monet. Wybór kierunku momentu pędu oraz prędkość kątową monet pozostawiamy przypadkowi. W praktyce oznacza to, że wyrzucone przez urządzenie monety będą wirowały w przeciwnych kierunkach, z identyczną prędkością kątową oraz polecą w przeciwne strony z taką samą prędkością. Myślę, że nawet średnio uzdolniony mechanik (byle nie kwantowy) byłby w stanie skonstruować takie urządzenie, nie mówiąc już o profesjonalnych pogromcach mitów (w tym przypadku także kwantowych) znanym większości czytelników z programu Discovery. Włożmy do urządzenia dwie monety, przy czym jedną połączmy orłem do góry a drugą do góry reszką. Naciśnijmy guzik START (mam nadzieję, że konstruktor nie zapomniał o tym guziku, najważniejszym przecież w całej maszynie) i patrzmy co się dzieje. Otóż obie monety wylecą z urządzenia w przeciwnych kierunkach. Założmy, że nasze urządzenie możemy obracać i ustawiać je pod różnym kątem do ścian. Gdy urządzenie ustawimy tak aby obie monety osiągnęły jednocześnie kres swojego lotu, a więc uderzyły w ścianę JEDNOCZEŚNIE wyniki jakie otrzymamy obserwując zrzutowane na ściany monety będą oczywiste – jak jedna z nich upadnie na ścianę rewersem to druga awersem i odwrotnie. Jeżeli zachowamy ten sam czas lotu dla obydwu monet to kąt, pod jakim monety będą uderzały w ściany nie zmieni wyników pomiarów. Zawsze jak jedna orzeł, to druga reszka. Ale czy to oznacza, że monety są ze sobą splątane? Czy gdy tylko zobaczymy, że jedna z nich upadła na ścianę reszką, to druga NATYCHMIAST stanie się orłem? Oczywiście – NIE! Parametry układu są określone ściśle – obydwie monety wirują w przeciwnych kierunkach i w danej chwili, jednakowej dla obydwu monet, ich CECHA jest przeciwna. Gdy jedna jest potencjalnie orłem to druga jest reszką i odwrotnie. Ale żadna z nich nie jest ani orłem ani reszką dopóki nie uderzy w ścianę. To oczywiste.

Wyrzucone z naszego urządzenia monety spełniają kryteria mechaniki kwantowej dla cząstek splatanych albo czegoś nie doczytałem lub niedostatecznie uważałem na odpowiednim wykładzie na studiach. Brak zdefiniowanej CECHY sprawia, że układ monet spełnia także nierówność Bella. Ale gołym okiem widać ( w przeciwieństwie do cząstek monety na szczęście są widoczne i o wiele bardziej namacalne), że monety NIE SĄ SPLĄTANE w sensie, jaki nadają temu słowu mechanicy kwantowi. Nasze urządzenie wyrzuciło je w ten sposób, aby parametry CECHY monet były w danej chwili przeciwne. Ba, nawet wtedy gdy ustawimy urządzenie w niejednakowej odległości od ścian pomieszczenia, możemy otrzymywać wyniki świadczące o przeciwnej CESZE lecących monet, wystarczy tylko łut szczęścia lub odrobinę matematyki ( to nie zawsze jest zamienne, wiedzą coś o tym gracze w totolotka).

Cząstki splątane mogą, powtarzam MOGA, posiadać parametry CECHY na zasadzie analogicznej do naszych monet. To znaczy, emiter zadbał o to, aby w tej samej chwili czasu ich spin zawsze był skierowany w przeciwne strony. Nie wiemy w jakie, gdyż cząstki nie uderzyły jeszcze w ścianę, to znaczy nie znalazły się w polu magnetycznym urządzenia pomiarowego. Ale gdy tylko złapie je miernik, okaże się, że jedna z nich ma CECHĘ dodatnią a druga – ujemną. Ale do całej zabawy nie jest potrzebne żadne NATYCHMIAST. Nawet takie malutkie NATYCHMIAST nie jest nam potrzebne. Naprawdę.

Nie znalazłem dokładnego opisu doświadczenia Aspecta oraz innych eksperymentów badających splątanie cząstek. Ale zakładam, że doświadczalnicy raczej umiejętnie umieszczali detektory w równej odległości od emitera cząstek. To zdecydowanie ułatwia detekcję. Gdyby jednak pokusić się o modyfikację układu detekcji i spróbować mierzyć kierunek spinu cząstek splatanych detektorami umieszczonymi w niejednakowej odległości od emitera, wyniki mogłyby być zaskakujące. Gdyby te trzy strony powyższego tekstu nie okazały się jednak wierutną bzdurą, zmieniając odległość jednego z detektorów od emitera i porównując wyniki rejestracji pomiarów spinu z drugiego detektora, można by wyznaczyć „okres obrotu” CECHY zwanej nomen omen spinem.

I to wszystko aby wyeliminować jedno NATYCHMIAST z fizyki. I ocalić kota Schrodingera. A właściwie jego połowę.