

Jérémie Harris

Kwanty zrobiły mi dzień

czyli prosty przewodnik
po naturze wszechświata



W GŁĄB KRÓLICZEJ NORY

Jak fizycy się dowiedzieli, że świat kwantów jest tak dziwnym miejscem?

Odpowiedzią jest jedno słowo: eksperymenty. Przeprowadzili szereg eksperymentów, których wyniki były tak osobliwe – i tak głęboko konfundujące – że jedynym sposobem na nadanie im sensu było zaakceptowanie faktu, że przyroda sama w sobie na poziomie kwantowym gra według dziwnych zasad. A kiedy w końcu tak przyjęli, otworzyli puszkę Pandory, co wyrzuciło na nice nasze pojmowanie rzeczywistości. Zrozumienie, co było w tej puszcze Pandory, wymaga bliższego zapoznania się z eksperymentami, które nas do niej doprowadziły.

Porozmawiajmy zatem o eksperymentach. Powiem wprost – fizyka eksperymentalna jest śmiertelnie nudna. Zajmuje się ona testowaniem fundamentalnych pytań o naturę Wszechświata. Jednak prawda jest taka, że prawie zawsze z gór y wiadomo, jakie będą odpowiedzi.

W istocie jedynym sposobem, w jaki wynik eksperymentu może okazać się zaskakujący, jest to, że

- 1) tysiące badaczy pracujących bez ustanku przez stulecia źle rozumiało, jak działa przyroda, podczas gdy ty – zarabiający minimalną pensję doktorant – przypadkiem dźgnąłeś

- Wszechświat odpowiednio, udowadniając, że oni wszyscy się mylą; albo
- 2) spieprzył eksperyment.

Mózg przeciętnego doktoranta działa na zupie ramen, tanim piwie i czterech godzinach snu, zatem na ogół można bezpiecznie założyć, że zaskakujący wynik eksperymentu jest spowodowany opcją 2, a nie opcją 1. W rzeczy samej prawie jedynym sposobem, by konsekwentnie zrealizować opcję 1, byłoby posiadanie tyle niezbędnej wiedzy naukowej, że można by konkurować z kolektywnym potencjałem poznawczym wszystkich żyjących aktualnie uczonych.

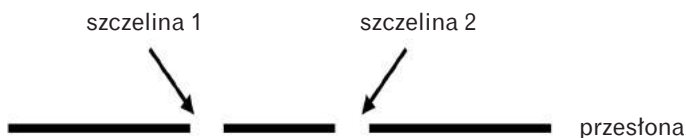
To byłoby z gruntu nierealne dzisiaj. Jednakże na początku XIX wieku nie było to wcale niemożliwe i znalazł się ktoś, kto w zasadzie coś takiego osiągnął. Nazywał się Thomas Young i oprócz tego, że był lekarzem, lingwistą, teoretykiem muzyki i egiptologiem, który rozszyfrował kamień z Rosetty, był również jednym z wiodących umysłów naukowych tamtych czasów. Posiadał tak szeroki i tak głęboki zestaw umiejętności, że jego wydana w 2006 roku biografia nosi tytuł *The Last Man Who Knew Everything* („Ostatni człowiek, który wiedział wszystko”), a jego profil na LinkedIn musiałby być absolutnym galimatiasem.

W 1801 roku Thomas Young przeprowadził eksperyment, który po raz pierwszy zademonstrował jeden z najbardziej tajemniczych aspektów mechaniki kwantowej – choć sam uczony wtedy nie zdawał sobie z tego sprawy. Jego prosty eksperyment miał ogromne, sprzeczne z intuicją implikacje dla naszego zrozumienia Wszechświata. Przeprowadzony został ponad dwieście lat temu i położył eksperymentalne podwaliny pod teorie, które pewnego dnia zostaną wykorzystane do przewidywania istnienia równoległych wszechświatów, dualizmu umysł / ciało i wielu innych niesamowicie fascynujących i kontrowersyjnych rzeczy.

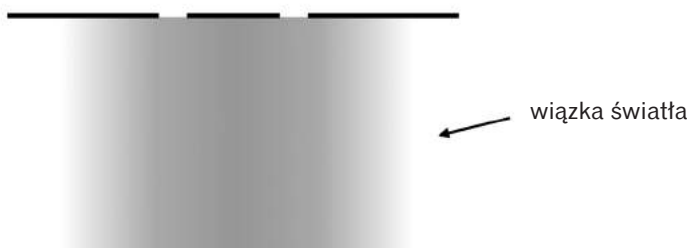
Oto co zrobił.

Znajdowanie dziur w fizyce klasycznej

Young zaczął od zrobienia dwóch małych szczelin w przesłonie:

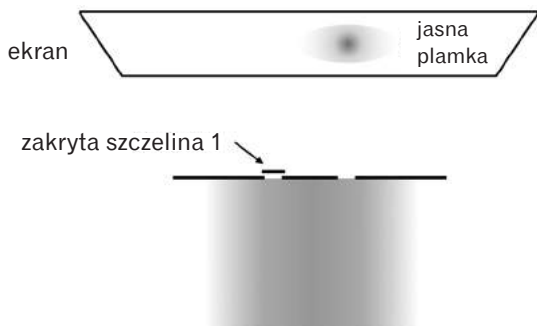


Następnie skierował na przesłonę wiązkę światła, która była wystarczająco szeroka, by przejść przez obie szczeliny:

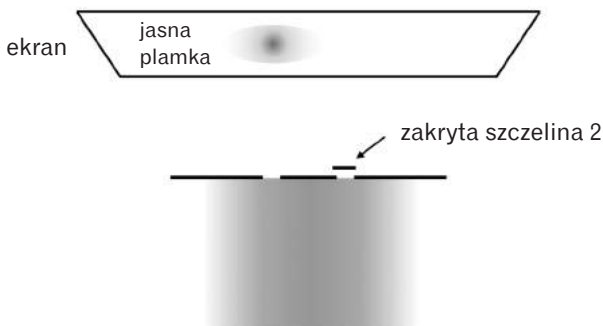


Następnie zakrył lewą szczelinę, tak że światło mogło przechodzić tylko przez prawą.

I wreszcie po drugiej stronie przesłony umieścił ekran, aby zobaczyć, jak wygląda światło po przejściu przez nią:



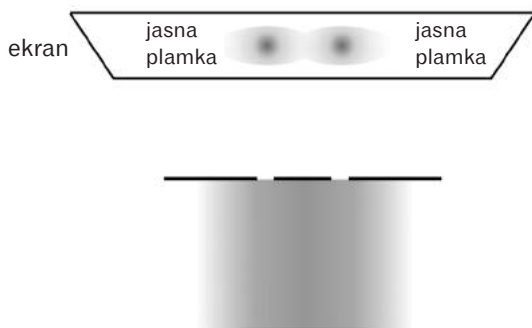
Rezultat był dość rozczarowujący – na ekranie zobaczył pojedynczą jasną plamkę, dokładnie w miejscu, w którym można by się spodziewać, że światło padnie po przejściu przez prawą szczelinę. I taki sam rezultat uzyskał, gdy zablokował prawą szczelinę – i znów jasna plamka, tym razem po lewej stronie ekranu, dokładnie tam, gdzie można by się jej spodziewać po przejściu światła przez lewą szczelinę.



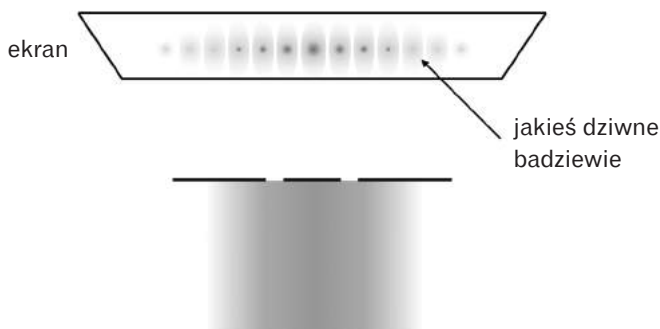
Jak na razie sprawa wygląda dość prosto – światło może przechodzić tylko przez otwarte otwory w nieprzezroczystym materiale. Cóż, nie jest to szczególnie ciekawe, jak na początek tej książki.

Jednak w tym miejscu rzeczy stają się... cokolwiek dziwne. W ostatnim kroku Young odsłonił o b i e szczeliny, tak że światło wiązki mogło dotrzeć do ekranu z jednej lub z drugiej szczeliny. Jak myślicie, co się wtedy dzieje?

Niech zgadnę – pewnie pomyśleliście sobie: „Co za głupie pytanie. Mamy jasną plamkę po prawej stronie ekranu, jeśli prawa szczelina jest odsłonięta, i jasną plamkę po lewej stronie ekranu, jeśli odsłonięta jest lewa szczelina. Zatem jeśli obie szczeliny są odsłonięte, to oczywiście otrzymamy po prostu dwie jasne plamki, jedną po lewej i jedną po prawej stronie”.



Tymczasem N I E! To nie jest to, co ukaże się waszym oczom – przynajmniej, jeśli obie szczeliny są wystarczająco wąskie i wystarczająco blisko siebie, a wiązkę światła ustawiliście starannie. Zamiast po prostu jasnej plamki z prawej szczeliny i jasnej plamki z lewej szczeliny Young zobaczył dziwnie wyglądającą i skomplikowaną strukturę, która nie przypominała niczego, co widział wcześniej:



Jeśli jesteście podobni do większości fizyków w XVII wieku, prawdopodobnie patrzycie na ten ostatni obrazek i zadajecie sobie pytanie: „Co to do cholery ma być? To nie ma sensu. Odkrywam jedną szczelinę i otrzymuję plamkę po tej stronie ekranu, co jest zupełnie zrozumiałe. Ale potem odkrywam obie szczeliny

i mam tę dziwny szereg równomiernie rozmieszczonych plamek? Co się u diabła stało?”

To bardzo oryginalnie nazywa się eksperymentem Younga z podwójną szczeliną. Jest dość dobrze znany z dokładnie tego samego powodu, z jakiego zwróciliście na niego uwagę – jego wyniki są zaskakujące. Najbardziej zdumiewa jednak to, że Thomas Young podał ich wyjaśnienie.

Gdy obie szczeliny są odkryte, spodziewalibyśmy się zobaczyć po prostu dwie jasne plamki. Tymczasem zamiast plamek widzimy o wiele bardziej skomplikowaną strukturę. Według Younga jest tylko jeden sposób, aby do tego doszło: światło ze szczeliny 1 miesza się ze światłem ze szczeliny 2 w jakiś nietrywialny sposób, który sprawia, że wzór świetlny powstały na ekranie wygląda inaczej, niż można by oczekiwać.

Posłużę się pewną analogią. Pamiętacie ze szkolnych lekcji chemii to klasyczne doświadczenie, który polega na zmieszaniu sody oczyszczonej i octu, aby otrzymać górę piany? Otóż jeśli ktoś nie wie wcześniej, że oba te składniki po zetknięciu ze sobą wchodzi w reakcję chemiczną, może sądzić, że mieszanina będzie wyglądać jak nieciekawa kupka mokrego proszku, czyli dosłownie suma jej składników.

Ale oczywiście tak nie jest – powstaje musująca piana, co jest równie zaskakujące, jak dziwne badziewie na ekranie u Thomasa Younga. A fakt, że zupełnie nie przypomina to mokrego proszku, którego się spodziewaliśmy, mówi nam, że oba te składniki jakoś ze sobą oddziałują. W ten sam sposób badziewie, które Young zobaczył na ekranie, uświadomiło mu, że pomiędzy światłem z pierwszej i drugiej szczeliny zaszła interakcja.

W jakiś sposób doszło do zmieszania wiązek i otrzymany rezultat był większy niż suma obu części – a przynajmniej od niej różny.

Fizycy nie lubią jednak słów takich jak „mieszanie” – wolą mówić, że światło ze szczeliny 1 „interferuje” ze światłem ze szczeliny 2. Stąd technicznym terminem na określenie owego dziwnego badziewia na ekranie Younga jest wzór interferencyjny.

Zatem w języku fizyki stwierdzenie: „Zrobiłem dwa otwory w przesłonie i po drugiej stronie pojawiła się ta odjechana badziewna struktura!” przekłada się na: „Panie profesorze, odtworzyłem eksperyment Younga z podwójną szczeliną i byłem w stanie zaobserwować wzór interferencyjny na ekranie. Czy mógłbym teraz dostać dyplom ukończenia studiów? Mój studencki kredyt mnie zupełnie wykańcza”.

A Young nie poprzestał na tym. Po odkryciu, że dziwne badziewie na ekranie stanowiło efekt interferencji między dwiema szczelinami, zdołał również przewidzieć, jakie wzory będzie można zaobserwować przy użyciu różnych źródeł światła i różnych szczelin.

Szczegóły wymagają pewnej znajomości matematyki i geometrii, a my nie mamy czasu się w nie tutaj zagłębiać. Na razie wystarczy powiedzieć, że praca Younga została uznana przez czołowych bystrzaków w owym czasie za Horrendalnie Imponującą Rzecz. I przez około sto lat stanowiła najlepszą odpowiedź, jaką ktokolwiek uzyskał na pytanie: „Dlaczego na moim ekranie pojawia się to dziwne badziewie?”

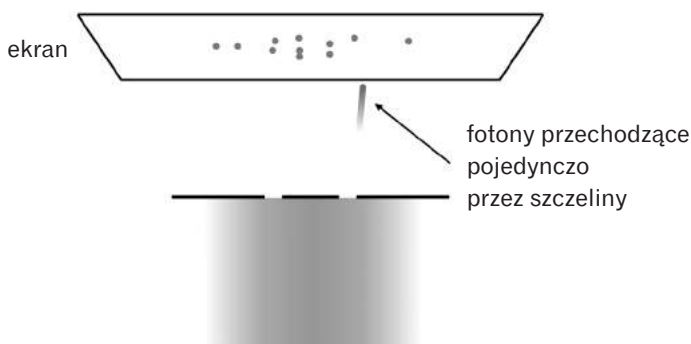
A potem przyszedł Albert Einstein i wszystko popsuł.

Einstein z dumą ogłosił światu, że dokonał naprawdę, ale to naprawdę niewygodnego odkrycia: „Hej, wiecie, że Max Planck wykazał, że energia składa się z dyskretnych pakietów i w rzeczywistości nie jest ciągła? Jérémie pisał o tym pod koniec ostatniego rozdziału. Otóż właśnie udowodniłem, że światło też składa się z dyskretnych pakietów. I nazwałem je »fotonami«. Zatem tak, teraz to jest coś. Miłego pisania podręczników na nowo, patałachy”.

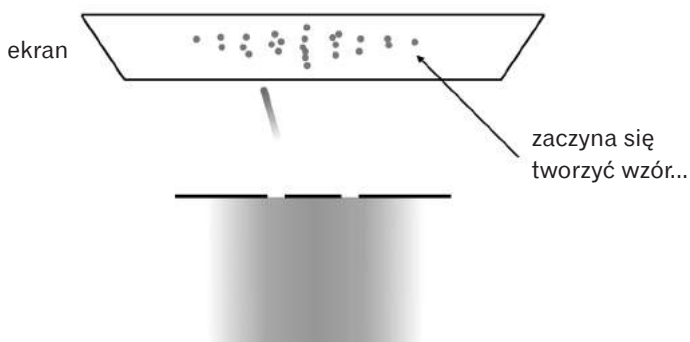
Może nie jest oczywiste, dlaczego stanowi to problem dla wyjaśnienia eksperymentu z podwójną szczeliną przedstawionego przez Younga. Moglibyście sobie pomyśleć: „Cóż, przecież to niczemu nie szkodzi, prawda? Możliwe, że fotony ze szczeliny 1 i fotony ze szczeliny 2 mieszają się ze sobą lub odbijają się od siebie w jakiś dziwny sposób, co prowadzi akurat do powstania tego wzoru”.

Jednak gdyby to miało być prawdą, to wzór powinien zniknąć, jeśli na przesłonę pada w danym momencie tylko *j e d e n* f o t o n . Skoro nie ma fotonów przechodzących przez obie szczeliny, to z pewnością nie mogą się one mieszać ani odbijać od siebie, a my powinniśmy po prostu zobaczyć jasną plamkę, jak spodziewaliśmy się pierwotnie. Prawda?

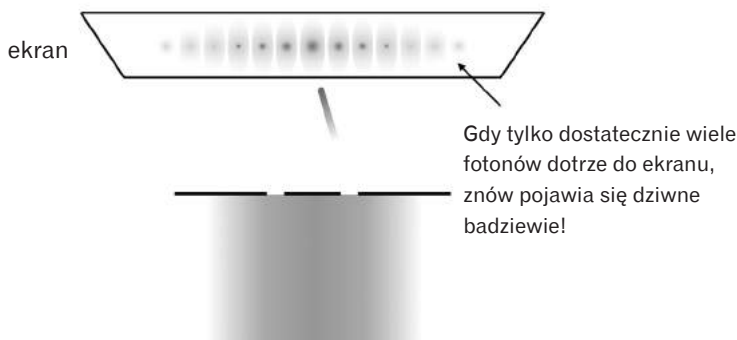
I właśnie tak próbowano zrobić – użyto skrajnie słabego źródła światła wysyłającego w kierunku szczelin dosłownie po jednym fotonie.



I zgadnijcie, jaki zarys zaczął się wyłaniać, w miarę jak kolejne fotony docierały do ekranu jeden po drugim?



Tenże sam cholerny wzór interferencyjny, co poprzednio!



Jakże to możliwe? Z jednej strony to naprawdę wygląda tak, jakby światło ze szczeliny 1 wpływało na światło ze szczeliny 2 – nie ma innego sposobu na wyjaśnienie wzoru interferencyjnego.

Ale z drugiej strony widzimy, że interferencja zachodzi nawet wtedy, gdy w danym momencie mamy do czynienia tylko z pojedynczą cząstką światła. Jak ta jedna cząstka mogła wytworzyć wzór interferencyjny? Czyżby interferowała sama z sobą? Czy coś takiego jest w ogóle możliwe?

A skoro interferuje sama ze sobą, to przez którą ze szczelin przeszła? Prawą? Lewą? Obie naraz?

O nie, ona przeszła przez obie, czyż nie tak?

Owszem, przeszła. Ten pojedynczy cholerny maleńki foton naprawdę przeszedł przez o b i e szczeliny jednocześnie.

A więc stało się. Fakt, że światło jest zbudowane z cząstek w połączeniu z wynikiem eksperymentu Younga z podwójną szczeliną zmusił fizyków do stawienia czoła bardzo niepokojącej możliwości – że cząstki kwantowe takie jak fotony mogą istnieć w dwóch miejscach w tym samym czasie.

I to nie była wcale rzecz odosobniona. Od czasów odkryć Einsteina i Plancka wiele innych eksperymentów pokazało, że cząstki subatomowe (wchodzące w skład atomów) zachowują się tak, jak gdyby znajdowały się w dwóch miejscach naraz albo poruszały się z różnymi prędkościami lub w różnych kierunkach jednocześnie.

W rzeczy samej eksperymenty nie tylko pokazują, że cząstki mogą być w wielu miejscach w tym samym czasie lub robić wiele różnych rzeczy naraz, lecz również że cząstki faktycznie preferują taki sposób istnienia. Jeśli pozostawić ją samej sobie, cząstka, która pierwotnie znajdowała się w określonym miejscu, zacznie się rozmywać, zajmując coraz więcej otaczającego miejsca, i w końcu rozprzestrzeni się na duże połacie przestrzeni, chyba że istnieje ściana lub coś innego, co ją powstrzyma.

Zatem choć subatomowy syndrom rozszczepienia osobowości nie trafił jeszcze do klasyfikacji zaburzeń psychicznych DSM-5, znajdziecie go w niemal każdym podręczniku mechaniki kwantowej, jaki kiedykolwiek przeczytacie.

Jest to zarazem cienka nić, za którą pociągnąwszy, możemy rozplątać samą tkankę rzeczywistości. Leży ona u podstaw wszystkiego, co magiczne i frapujące w mechanice kwantowej, a ponadto została wykorzystana do uzasadniania istnienia duszy, równoległych wszechświatów, głęboko ukrytych warstw rzeczywistości i wszystkiego pomiędzy.

I to właśnie w tym kierunku zamierzamy się teraz udać. Jednak zanim tam dotrzemy, jest coś żenującego, o czym muszę wam powiedzieć.

Mechanika kwantowa – mały brudny sekret

Fizycy lubią obrazki. Szczerze mówiąc, zajmowanie się mechaniką kwantową w 80 procentach polega na rysowaniu serii obrazków, które pokazują, jak to, co nas interesuje, zmienia się w czasie.

Fizycy mają jednak przeczulone ego i nie chcą, by ktokolwiek o tym wiedział. Umieszczają zatem wokół swoich obrazków specjalne pudełka (zwane ketami), które wyglądają tak: $|\ \rangle$, abyście myśleli, że robią coś bardziej wyrafinowanego niż w rzeczywistości.

Ket nie oznacza nic ponad to, że mówimy o „stanie kwantowym” czegoś, co jest narysowane wewnątrz niego. A „stan

kwantowy” to tylko wymyślne określenie dla „stanu”, co z kolei jest tylko wymyślnym określeniem dla „sposobu, w jaki dana rzecz jest”.

Przykład:



„Mój przyjaciel Steve”



„Stan kwantowy mojego przyjaciela Steve'a”

Zatem główną różnicę między jakimś idiotą rysującym patykowate ludziki a fizykiem kwantowym stanowi użycie keta na obrazku po prawej. Ket oznacza wyłącznie to, że o obiekcie, który w nim narysowaliśmy, mówimy w kontekście mechaniki kwantowej.

Aby dopasować się do grona fizyków, będziemy dalej używać tej wymyślnej notacji ketów. Pamiętajmy tylko, że tak naprawdę rysujemy tylko obrazki rozmaitych rzeczy.

Zobaczymy teraz, jak te proste obrazki mogą nam pomóc w badaniu struktury Wszechświata.

Poznajmy elektron

Mówiliśmy wcześniej o fotonach – cząstkach światła, które sprawiły, że eksperyment Younga z podwójną szczeliną był tak trudny do wyjaśnienia.

Są one wspaniałe i w ogóle, lecz aby zrozumieć, dlaczego w niezliczonych równoległych wszechświatach mogą istnieć wasze kopie albo dlaczego niektórzy fizycy uważają, że z mechaniki kwantowej wynika, iż mamy bezcielesne dusze, musimy wprowadzić drugi typ kwantowej cząstki mechaniki kwantowej, zwanej „elektronem”.

Elektrony to maleńkie cząstki subatomowe. Dla naszych celów można myśleć o elektronie jak o bardzo, bardzo małej kulce.

Kulki mogą obracać się zgodnie lub przeciwnie do ruchu wskazówek zegara. I podobnie elektrony.

Tak moglibyśmy narysować wirujący elektron, używając naszej notacji ketów:



Stan kwantowy elektronu obracającego się **zgodnie** z ruchem wskazówek zegara



Stan kwantowy elektronu obracającego się **przeciwnie** do ruchu wskazówek zegara

JEDYNA dziwna rzecz w mechanice kwantowej

Jest tylko jedna naprawdę dziwna rzecz w mechanice kwantowej i pewnie już wiecie, o co chodzi – oto cząstki kwantowe mogą robić wiele pozornie wykluczających się rzeczy jednocześnie.

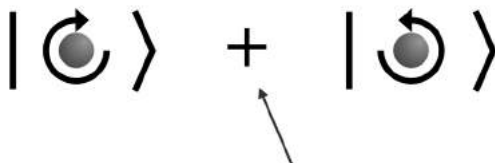
Na przykład eksperyment Younga z podwójną szczeliną pokazał, że fotony mogą być w dwóch miejscach w tym samym czasie. A jak pokazuje ogromna liczba eksperymentów podobnych do eksperymentu Younga z podwójną szczeliną, elektrony mają podobne supermoce. One również mogą być w wielu miejscach na raz i mogą wirować jednocześnie zgodnie z ruchem wskazówek zegara i przeciwnie do niego.

Aby wyobrazić sobie, jak to działa, można posłużyć się analogią barw – jeśli elektron, wirując zgodnie z ruchem wskazówek zegara, jest „biały”, a wirując przeciwnie do ruchu wskazówek zegara, jest „czarny”, to to, co powiedziałem, oznacza, że elektrony mogą być „szare”.

Wydaje się to niesamowitym – wręcz niewiarygodnym – pomysłem. W końcu nigdy nie widzieliśmy, by coś obracało

się w dwóch kierunkach jednocześnie. Niemniej matematyka i eksperymenty dają mocno do zrozumienia, że tak właśnie jest w przypadku elektronów.

Zobaczmy, jak możemy zobrazować tę sytuację, używając naszej notacji ketów. Pokażemy, że nasz elektron robi dwie rzeczy naraz, łącząc jego dwa kety znakiem plus:



(Plus oznacza, że elektron robi obie te rzeczy jednocześnie)

Zgodnie z mechaniką kwantową te „szare” cząstki, wirujące w obu kierunkach jednocześnie, są wszechobecne.

„Chwila moment!” powiecie. „Skoro świat jest pełen osobliwych obiektów, które kręcą się jednocześnie w prawo i w lewo, to dlaczego nigdy w życiu nie widziałem, by coś takiego miało miejsce?”

To doskonałe pytanie dotyka tego, co stało się znane jako „paradoks pomiaru kwantowego”. Niewykluczone, że jest to najważniejsze pytanie w dzisiejszej fizyce.

A odpowiedź na nie doprowadzi nas prosto do multiświatów i kwantowo-mechanicznej świadomości.

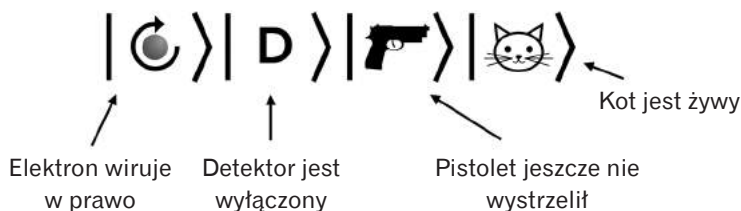
Narracja z użyciem ketów

Na jeszcze jedno trzeba zwrócić uwagę, zanim otworzymy naszą kwantowo-mechaniczną puszkę Pandory – musimy poświęcić chwilę i porozmawiać o tym, jak opowiadać historie za pomocą ketów.

Załóżmy, że mamy elektron w zamkniętym pudełku. I wyobraźmy sobie, że obok tego elektronu w pudełku znajduje się specjalny detektor, który c y k n i e, jeśli elektron będzie wirował zgodnie z ruchem wskazówek zegara, a nie zareaguje, jeśli będzie wirował w kierunku przeciwnym.

Gdy ów detektor spinu cyknie, wyśle sygnał do pistoletu (również w pudełku), który wówczas wystrzeli i zabije kota (również w pudełku).

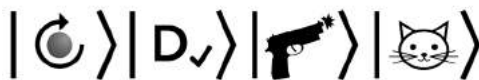
Zobrazujmy ten scenariusz za pomocą notacji ketów. Oto jak będzie wyglądała sytuacja przed włączeniem detektora, jeśli nasz elektron wiruje zgodnie z ruchem wskazówek zegara:



Minutę później włączamy detektor. Ponieważ elektron wiruje zgodnie z ruchem wskazówek zegara, detektor c y k a. Zaznaczamy to małą parafką (✓):



Detektor wysyła teraz sygnał do pistoletu, który wypala ułamek sekundy później. W tym momencie nasze pudełko wygląda tak oto:



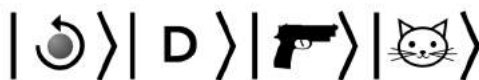
Pistolet wystrzelił

Pocisk przelatuje w powietrzu i chwilę później dosięga kota, który staje się nieszczęsną ofiarą naszego eksperymentu:

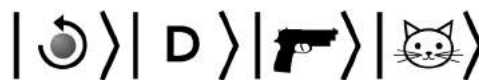


Kot ginie

W porównaniu z tym przypadek, gdy elektron wiruje w kierunku przeciwnym, jest prosty. Detektor wówczas nie reaguje i nic się nie dzieje:



Detektor nie zostaje uruchomiony, ponieważ elektron wiruje w lewo



Pistolet nie wypala

Kot pozostaje przy życiu

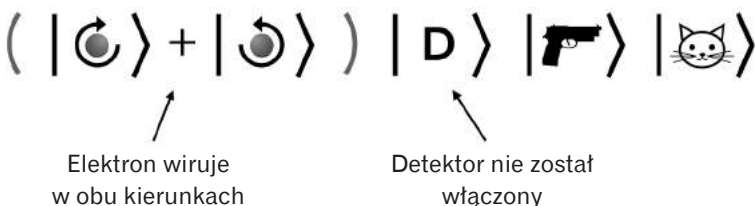
Obie te historie – ta, w której kot przeżywa, i ta, w której ginie – mają jak na razie sens.

A jeśli nasz elektron nie kręci się po prostu w jedną lub drugą stronę, lecz wiruje w obu kierunkach jednocześnie?

Opisują to dwa słowa: kot zombie.

Kwantowe koty zombie

Opowiedzmy kolejną historię. Tym razem nasz elektron znajduje w stanie jednoczesnego wirowania w prawo i w lewo. Oto jak to będzie wyglądać narysowane za pomocą ketów:



A teraz pytanie za milion dolarów. Co się stanie, gdy włączymy nasz detektor spinu elektronu? Będzie cykał czy nie?

Zgodnie z mechaniką kwantową zrobi i to, i to. Część detektora wykryje spin zgodny z ruchem wskazówek zegara, a inna część przeciwny. To prawie tak, jak gdyby nasz elektron podzielił detektor na dwoje.

Ponownie, używając ketów:

Detektor „dzieli się”:



Zwróćcie uwagę, że otrzymaliśmy dwie różne minipowieści wewnątrz szarych nawiasów – w jednej elektron wiruje zgodnie z ruchem wskazówek zegara i detektor cyka, podczas gdy w drugiej elektron wiruje przeciwnie do ruchu wskazówek zegara, a detektor ani drgnie.

Teraz czekamy na sygnał przesłany z detektora do pistoletu. Czy pistolet wystrzeli, czy też pocisk pozostanie w komorze?

Odpowiedź jest taka sama jak w przypadku detektora – zrobi to i to. Pistolet podzieli się na dwie części, z których jedna wypali, a druga nie:

$$\left(\left| \begin{array}{c} \text{↻} \\ \text{↻} \end{array} \right\rangle \left| \text{D} \checkmark \right\rangle \left| \text{P} \right\rangle + \left| \begin{array}{c} \text{↻} \\ \text{↻} \end{array} \right\rangle \left| \text{D} \right\rangle \left| \text{P} \right\rangle \right) \left| \text{K} \right\rangle$$

Detektor podzieli pistolet na dwa stany:
„wystrzelił” i „nie wystrzelił”

...co prowadzi nas do naszego kota.

Teraz już pewnie domyślacie się, jaki będzie jego los. Podobnie jak detektor spinu i pistolet, kot podzieli się na dwoje – jedna wersja zostanie zabita przez pocisk, a druga będzie nadal wyczytniać wspaniałe kocie figle.

Oto końcowy stan zawartości naszego pudełka:

$$\left(\left| \begin{array}{c} \text{↻} \\ \text{↻} \end{array} \right\rangle \left| \text{D} \checkmark \right\rangle \left| \text{P} \right\rangle \left| \text{K} \right\rangle + \left| \begin{array}{c} \text{↻} \\ \text{↻} \end{array} \right\rangle \left| \text{D} \right\rangle \left| \text{P} \right\rangle \left| \text{K} \right\rangle \right)$$

Spin prawoskrętny, detektor cyka, pistolet strzela, kot ginie

Spin lewoskrętny, detektor nie reaguje, pistolet nie strzela, kot pozostaje przy życiu

Zauważcie, że mamy teraz dwie zupełnie niezależne opowieści o zawartości pudełka. W jednej spin elektronów był zgodny

z ruchem wskazówek zegara, pistolet wystrzelił, a kot zginął. W drugiej spin był przeciwny do ruchu wskazówek zegara, pistolet nie wystrzelił, a kot przeżył.

Żadna z nich nie jest bardziej prawdziwa od drugiej. Obie są prawdziwe i współistnieją w pudełku.

Czy elektron wiruje w lewo czy w prawo? I tak, i tak.

Czy detektor cyknał czy nie? I tak, i nie.

Czy kot jest żywy, czy martwy? Jedno i drugie. #zombiecat

W głąb króliczej nory

OK, zatem jesteście sceptycznie nastawieni do historii, którą właśnie opowiedziałem. Nigdy nie widzieliście kota w połowie martwego, a w połowie żywego.

Może nawet macie ochotę powiedzieć: „Cóż, najwyraźniej mechanika kwantowa okazuje się zawodna, ponieważ nigdy nie spotkałem kota zombie, więc wyrzucmy całe to barachło do kosza”.

Sęk w tym, że mechanika kwantowa dokonuje najlepszych przewidywań ze wszystkich teorii fizycznych, jakie kiedykolwiek mieliśmy (tak, dosłownie *k i e d y k o l w i e k*). Nie możemy zatem wylać dziecka z kąpielą.

Jakoś będziemy musieli wytłumaczyć, dlaczego mechanika kwantowa mówi, że powinny istnieć koty zombie, skoro nikt nigdy żadnego nie widział.

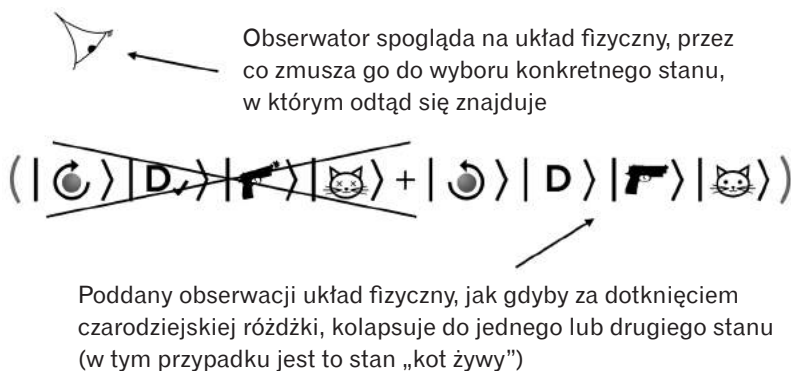
W latach dwudziestych XX wieku uwielbiający zawile słowa¹ duński fizyk Niels Bohr podjął pierwszą pełną próbę wyjaśnienia, dlaczego tak się dzieje.

„Choć nigdy nie widziałem kota zombie, matematyka mówi, że jest coś takiego”, powiedział do siebie Bohr, zapewne po duńsku. „Skoro kot zombie istnieje aż do momentu, kiedy na niego

¹ Bohr był znany z niesamowicie trudnych do zrozumienia wyjaśnień koncepcji kwantowych, pełnych filozoficznego żargonu.

spojrzę, to musi być coś szczególnego we mnie lub w używanych przeze mnie instrumentach. Akt obserwacji kota zombie wymusza „skolapsowanie” jego hybrydowego stanu żywy / martwy i kot staje się albo żywy, albo martwy. K o l a p s – to jest właściwa odpowiedź, do licha!”

Oto, co zaproponował Bohr:



Problemem z pojęciem kwantowego kolapsu Bohra było to, że uczony nigdy się nie wypowiedział zbyt jasno, co liczy się jako „obserwacja” czy też co może kwalifikować się jako „obserwator”. Wskazał, że „duże” obiekty, takie jak mikroskopy i aparaty fotograficzne, są najprawdopodobniej odpowiedzialne za wymuszanie kolapsu mniejszych układów, lecz był dość mętny w szczegółach.

Był jedynie pewien, że proces kolapsu musi następować na tyle wcześnie, by nie dopuścić do tego, aby obiekty „makro”, takie jak piłki bejsbolowe, istniały w wielu miejscach jednocześnie lub wiorowały w wielu kierunkach naraz, ponieważ czegoś takiego nie widzimy w świecie wokół nas.

Dla zgnębionych fizyków, którym doskwierała utrata pełnej kontroli nad rzeczywistością, jaką sprawowali do początku XX wieku, koncepcja kolapsu Bohra pomimo swego niedopracowania była lepsza niż nic. Na razie uśmierzyła ich niepokoje i pozwoliła wszystkim znów zajmować się pracą badawczą bez

konieczności snucia rozważań o kotach zombie. A przynajmniej Bohr miał nadzieję, że tak będzie.

Ale koncepcja kolapsu Bohra nie zadowalała wszystkich. W istocie jej największym przeciwnikiem okazał się nie kto inny, jak chodząca reklama odżywki do włosów – Albert Einstein.

Stanowisko Einsteina

Zaproponowane przez Bohra rozwiązanie problemu kota zombie miało aspekt, którego Einstein naprawdę, ale to naprawdę, nie lubił – losowość.

Według Bohra akt obserwacji naszego kota zombie zmusza Wszechświat do losowego wyboru stanu, do którego kot powinien skolapsować. Bohr uważał, że losowość ma charakter fundamentalny i teoretycznie niemożliwe jest przewidzenie wyniku kolapsu bez względu na to, jak wyrafinowane byłoby urządzenie pomiarowe. Sam Wszechświat nie wie, jaki będzie rezultat, gdy dokona się obserwacji.

Natomiast Einstein dorastał w epoce fizyki newtonowskiej – w czasach, gdy uważano, że Wszechświat jest zasadniczo przewidywalny, a każde zdarzenie jest wynikiem poprzedzających go przyczyn. W tej newtonowskiej rzeczywistości, jeśli mamy wystarczająco dużo informacji o Wszechświecie w pewnym momencie w przeszłości, to powinniśmy być w stanie niezawodnie przewidzieć przyszłość, z pewnością i z dokładnością do każdego elektronu wirującego zgodnie z ruchem wskazówek zegara i każdego martwego bądź żywego kota.

Einstein uwielbiał tę przewidywalność. Uważał, że jest w niej swoiste piękno. A wizję Bohra z jej nieprzewidywalnymi i przypadkowymi kolapsami uważał za odpychającą. Zatem jej z gruntu nie akceptował.

Poważnie, to właśnie było dla niego powodem. Żadne mądre obliczenia matematyczne. Żadna genialna obserwacja orbity

Saturna czy zaćmienia Słońca. Po prostu: „Twoja teoria jest odpychająca”.

To zabawne – większość ludzi myśli o fizykach jako Szlachetnych Poszukiwaczach Naukowej Prawdy™, lecz faktem jest, że ludzie tacy jak Bohr i Einstein mieli swoje uprzedzenia podobnie jak każdy z nas. Podczas gdy jeden fizyk może sądzić, że Wszechświat musi być deterministyczny, nie pozostawiając miejsca na losowość, inny będzie przekonany, że losowość jest nieodłącznym elementem natury, a jeszcze inny powie, że prawa fizyki zostały zaprojektowane przez wszechwiedzącego stwórcę, aby zmaksymalizować liczbę francyz sieci In-N-Out Burger w kosmosie. Opinia fizyka w tych kwestiach wynika równie często z intuicji i głęboko zakorzenionych uprzedzeń, jak z czegokolwiek innego. Ale o tym powiem więcej później.

W czasie, gdy Einstein i Bohr spierali się o kolaps i determinizm, całe mnóstwo eksperymentów pokazywało już, że cząstki kwantowomechaniczne zachowują się w sposób, który wydaje się czysto losowy. Einstein dążył do tego, by wykazać, że ta losowość to w istocie z ł u d z e n i e.

To może nie być zadanie tak trudne, jak się wydaje. A to dlatego, że okazuje się, iż większość rzeczy, które uchodzą za „losowe” – na przykład rzuty monetą – wcale takie nie są.

Jak to? Rzuty monetą nie są losowe? Cieszę się, że zapytaliście.

Tak jest, rzuty monetą nie dają w istocie losowych wyników. Jeśli posiadacie wystarczającą ilość informacji o monecie – o jej dokładnym rozkładzie masy i rozmiarze, o tym, jak opór powietrza wpływa na jej lot, i tak dalej, i tak dalej – i jeśli macie pod ręką superkomputer, by przeprowadzić symulację, jesteście w stanie ostatecznie dowiedzieć się ze stuprocentową pewnością, czy w danym przypadku wypadnie orzeł czy reszka. Losowość rzutu monetą jest pozorna – przyjmujemy, że wynik jest czysto losowy tylko dlatego, że obliczenia, które musielibyśmy wykonać, aby przewidzieć, jaki wynik otrzymamy, są tak szalenie skomplikowane, iż po prostu rozkładamy ręce i mówimy: „Nieważne – nazwijmy to losowym”.

Gdybyśmy cierpieli na silną obsesję, moglibyśmy dokonywać precyzyjnych przewidywań dotyczących rzutów monetą, lecz większość z nas ma wiele innych rzeczy na głowie i musi dojechać do pracy, i w ogóle, zatem nie ma do tego serca.

Pomysł Einsteina polegał na tym, że jeśli będziemy szukać wystarczająco usilnie, to w końcu odkryjemy, iż „losowe” wyniki eksperymentów (takie jak „kot żywy” lub „kot martwy” oraz „spin prawoskrętny” lub „spin lewoskrętny”) są w istocie wyznaczane przez ukryte zmienne, których po prostu nie jesteśmy świadomi. Byłyby to parametry tego samego typu co masa naszej monety i jej rozkład. Gdybyśmy tylko mogli poznać ich wartości, mechanika kwantowa nie zawierałaby już losowości.

Einstein spędził ostatnie lata swojego życia na gorączkowych poszukiwaniach teorii, która sprawdziłaby się w ten sposób, lecz nie był w stanie podać wiarygodnej interpretacji ukrytych zmiennych – choć innym ostatecznie się to udało.

Spór Einsteina i Bohra zapoczątkował publiczną walkę o serce i duszę teorii kwantowej. W kolejnych latach Bohr udał się w wielki objazd fizycznych sal wykładowych na całym świecie, głosząc swoją koncepcję kolapsu każdemu, kto tylko chciał słuchać. Z czasem jego idee stały się powszechnie akceptowane jako „ortodoksyjny” sposób interpretacji praw mechaniki kwantowej, co było zasługą przede wszystkim jego wytrwałości, daru przekonywania i sprytu politycznego.

Jednakże te same idee uitorowały drogę nowej generacji spekulacji kwantowomechanicznych – takich, które centralne miejsce wyznaczały świadomości.

Świadomość staje się kwantowa

Spółeczność fizyków była dość przerażona problemem kota zombie i rozpaczliwie poszukiwała rozwiązania. Ich desperacja osiągnęła w istocie takie rozmiary, że byli skłonni zaakceptować

każde wyjaśnienie, o ile tylko byłoby ono promowane przez kogoś z przyzwoitą fryzurą (przepraszam, Albercie) i naturalnie charyzmatyczną osobowością. Jednak fizykom w naszych czasach generalnie brakuje charyzmy, zatem Niels Bohr i jego teoria kolapsu pozostały jedyną opcją na stole.

Sęk w tym, że koncepcja Bohra rodziła pewne niewygodne pytania:

- Co sprawia, że ludzie lub budowane przez nich gadzety pomiarowe są tak wyjątkowe, iż mogą zmusić układ kwantowy (jak nasz układ elektron / detektor / pistolet / kot) do skolapsowania do jednego, dobrze zdefiniowanego stanu (jak „martwy” lub „żywy”)?
- Czy kot ma zdolność doprowadzenia do kolapsu stanu zestawu elektron / detektor / pistolet? Czy ma ją małpa?
- A co z pistoletem czy detektorem? Dlaczego nie mogą one skolapsować stanu elektronu?

Fizycy nie byli zgodni co do odpowiedzi na te pytania. Niektórzy zaczęli przerzucać się interpretacjami w duchu New Age, które niekiedy miały wręcz upiorny wydźwięk: „Jeśli rzeczy takie jak koty zombie wydają się kolapsować tylko wtedy, gdy obserwują je ludzie, to może jest coś szczególnego w ludzkiej obserwacji, co inicjuje ciąg wydarzeń prowadzący do kolapsu”. I zastanawiali się: „A zatem może ludzie są wyróżnionymi istotami, a tym, co nas wyróżnia, tym, co daje nam dostęp do naszych magicznych mocy wywoływania kolapsu, jest... świadomość!”.

Czy to możliwe? Czy nasza świadomość może zmusić obiekty kwantowe do skolapsowania w momencie, gdy zwrócimy na nie uwagę? Czyżbyśmy potrzebowali fizyki świadomości potajemnie kształtującej Wszechświat, w którym żyjemy przez cały czas?

Niewielka grupa fizyków o otwartych głowach powiedziała: „Owszem, potrzebujemy” i narodziła się mechanika kwantowa

oparta na świadomości. Spierano się o to, która część ludzkiego ciała zawiera świadomość, które inne gatunki stworzeń mogą ją mieć i co to wszystko będzie oznaczać dla miejsca ludzkości w kosmicznym porządku.

Jeśli jesteś osobą, która uważa, że konferencje z fizyki nie powinny przypominać reklamy bransoletek energetycznych New Age, to teza, jakoby świadomość była centralnym elementem tkanki rzeczywistości, zapewne cokolwiek cię skręca. I rozumiem to – mnie również skręca. Ale nasz wspólny dyskomfort nie zmienia faktu, że poważni fizycy zaczęli uprawiać mechanikę kwantową opartą na świadomości i nadal to robią, do dziś. Więcej na ten temat w dalszej części książki!

Na razie wystarczy powiedzieć, że kolaps otworzył puszkę Pandory pełną hipotez i spekulacji. Fizycy przedstawiali wszelkie możliwości, od teorii opartych na świadomości do bardziej pokrętej koncepcji Bohra: „Kolaps jest spowodowany przez obserwację, ale nie powiem wam, czym są »obserwacje«, używając słów mających mniej niż dwanaście sylab”, oraz wszystkie pomiędzy. Jedną rzeczą wspólną było to, że nikt tak naprawdę nie wiedział, jak dochodzi do kolapsu ani kiedy, ani dlaczego.

W końcu zatem kilku fizyków, którzy mieli dość tego mętliku, zdecydowało się zadać niebezpieczne pytanie: Czy da się usunąć kolaps z kwantowej wizji rzeczywistości?

Wystarczy jedno słowo:

Multiświaty

W latach pięćdziesiątych XX wieku niejaki Hugh Everett III wymyślił nowy sposób na wyjaśnienie, dlaczego nie widzimy wokół siebie kotów zombie.

Everett powiedział: „Słuchajcie, kretyni. Co sprawia, że myślicie, iż jesteście o wiele lepsi od pieprzonego kota? Nic podobnego. Jesteście tylko palantami z kredą w ręku”.

To nie jest wierna cytata, ale gdyby zależało wam na historycznej dokładności, zajrzyjcie do Wikipedii.

Everett chciał przez to powiedzieć, że nie powinniśmy myśleć o ludziach czy obserwatorach jako o osobach w jakikolwiek sposób wyjątkowych. Zamiast tego zasugerował myślenie o nas samych jako o obiektach kwantowych, które moglibyśmy umieścić w obrębie keta, tak jak kota, pistolet i detektor.

Zobaczmy, jak by to było. Weźmy nasze pudełko z kotem zombie i dodajmy eksperymentatora / obserwatora jako kolejną część naszego układu, w kecie jak wszystko inne.

Zanim eksperymentator zajrzy do środka pudełka, oto jak będzie wyglądał nasz system:

$$(|\text{☺}\rangle |D\rangle | \text{☹}\rangle | \text{☹}\rangle + |\text{☹}\rangle |D\rangle | \text{☹}\rangle | \text{☹}\rangle) | \text{☺}\rangle$$

Eksperymentator nie zajrzał jeszcze do pudełka i nie zna wyniku eksperymentu.

Następnie zagląda do środka. Podobnie jak kot, pistolet i detektor, on również jest podzielony na dwie odrębne kopie siebie:

$$(|\text{☺}\rangle |D\rangle | \text{☹}\rangle | \text{☹}\rangle | \text{☹}\rangle + |\text{☹}\rangle |D\rangle | \text{☹}\rangle | \text{☹}\rangle | \text{☺}\rangle)$$

Jedna wersja eksperymentatora widzi martwego kota...

+

... a druga widzi żywego kota.

Teraz wyobraźcie sobie, że pytacie eksperymentatora – obie jego wersje – jaki był wynik eksperymentu.

Czy kot jest martwy? Jedna jego wersja powie jednoznacznie „tak”, a druga jednoznacznie „nie”.

Czy widziałeś kota żywego i martwego jednocześnie? Obie jego wersje udzielą oczywistej odpowiedzi: „Oczywiście, że nie. Cóż za głupie pytanie”.

W każdym przypadku eksperymentator widzi tylko jeden wynik – kot jest albo żywy, albo martwy, ale nigdy oba – mimo że prawa mechaniki kwantowej mówią, że obie wersje kota istnieją.

Eksperymentator po prostu tego nie zauważa, ponieważ utknął w jednej z tych dwu linii czasowych, nie mogąc zobaczyć drugiej.

I o to właśnie chodziło Everettowi – powodem, dla którego nigdy nie widzieliśmy kotów zombie ani pistoletów, które jednocześnie wystrzeliły i nie wystrzeliły, jest to, że w momencie, gdy patrzymy na te obiekty, sami jesteśmy podzieleni na wiele linii czasowych, gdzie różne wersje nas widzą różne – lecz jednoznaczne – rezultaty.

Do tej pory mówiłem o dwóch grupach ketów – jednej, w której kot jest żywy, i drugiej, w której kot jest martwy – jako o „historiach” lub „liniach czasowych”, ale innym słowem, którego równie dobrze można by użyć, jest „wszechświat”. Jest tak dlatego, że wszystko w „żywych” i „martwych” liniach czasowych zaczyna się dramatycznie zmieniać w miarę upływu czasu.

Na przykład, eksperymentator, który widzi martwego kota, może być tym tak zasmucony, że w końcu rzuca pracę i nigdy nie wynajduje kluczowej technologii, która w przeciwnym razie byłaby używana przez miliony ludzi. A ta gigantyczna różnica pomiędzy „żywymi” i „martwymi” wszechświatami wynika ze spinu pojedynczego małego elektronu.

Zgodnie z tą wizją, ponieważ elektrony i inne cząstki prowadzą równoległe życie wszędzie wokół nas, nasz multiświat nieustannie dzieli się i tworzy nowe linie czasowe, czyli wszechświaty, z każdym możliwym wynikiem interakcji.

Nie trzeba dodawać, że obraz Everetta różnił się radykalnie od konwencjonalnych idei dotyczących natury rzeczywistości. Ale magiczny kwantowy kolaps Bohra czy tajemniczo ukryte warstwy rzeczywistości Einsteina nie są wcale mniej radykalne. W istocie,

jeśli jest coś, co w konsekwencji wojny o kwantowe historie fizycy musieli uznać, to fakt, że bez względu na to, kto w końcu ma rację, Wszechświat okaże się znacznie dziwniejszym miejscem, niż ktokolwiek kiedykolwiek przypuszczał.

I jak zapewne możesz sobie wyobrazić, narysowanie na nowo całego obrazu Wszechświata według wizji Bohra, Einsteina czy Everetta ma poważne konsekwencje dla najważniejszego obiektu w twoim konkretnym zakątku tegoż Wszechświata – ciebie.

Twój mózg jako obiekt mechaniki kwantowej

Każda kolejna wizja mechaniki kwantowej wymaga od nas ponownego zdefiniowania naszego obrazu siebie od podstaw w zupełnie inny sposób.

Wizja Bohra rodzi pytanie: czy istoty ludzkie lub zwierzęta mają jakąś szczególną właściwość, która powoduje, że układy kwantowe otrząsają się ze swoich wielorakich osobowości i kolapsują, gdy na nie patrzymy? Czy może być coś autentycznie magicznego w świadomości lub obserwacji? A może kolaps ma jakieś mniej tajemnicze wyjaśnienie?

Natomiast ukryte zmienne Einsteina każą się zastanawiać: jeśli przyszłość jest z góry wyznaczona przez ukryte zmienne, to czy nie zamienia mnie to w nieco tylko ulepszony robot? Czy to znaczy, że nie mam wolnej woli? A jeśli tak, to jaki jest sens świadomości? I czym w ogóle są te ukryte zmienne?

Równoległe wszechświaty Everetta kwestionują samą ideę, że można mówić o jakimś konkretnym „ty”. W końcu, jeśli „ty” jesteś przeznaczony do stania się miliardami wersji siebie w ułamku sekundy w przyszłości, to która z nich jest „tobą”? Czy wszystkie? Jakie to ma konsekwencje dla twoich wyborów życiowych i twojego poczucia odpowiedzialności za swoje działania?

Te pytania są tylko wierzchołkiem wielkiej i bardzo osobliwej góry lodowej. A odpowiedź na nie doprowadzi nas do całego

mnóstwa innych, z których wiele uważano kiedyś za wykraczające poza zakres fizyki. Takich jak: czy jesteśmy sami we Wszechświecie? Czy Wszechświat został stworzony z myślą o ludzkości? Czy istnieje życie po śmierci? Czy animizm może być mimo wszystko prawdziwy? Czy atomy posiadają świadomość? I dlaczego w naturalnym maśle orzechowym oddziela się ta irytująca, tłustą warstwa, której wymieszanie zajmuje całą wieczność?

Puszka Pandory teorii kwantowej była zaskoczeniem. Przez wieki postęp naukowy oznaczał coraz większą pewność co do fundamentalnej natury Wszechświata i bardziej klarowny obraz rzeczywistości. Nagle mechanika kwantowa otworzyła drzwi, które kiedyś uważaliśmy za zamknięte na zawsze, i zagroziła ponownym wprowadzeniem niejednoznaczności i niepewności do naszego pojmowania rzeczywistości fizycznej.

W kolejnych rozdziałach będziemy odkrywać świat przez pryzmat różnych teorii mechaniki kwantowej. Zobaczymy, jak opowiadają one diametralnie różne historie o Wszechświecie, życiu, ludziach i naszej kosmicznej randze. Zobaczymy też, że idee te mają poważne implikacje dla rzeczy, które nie mają w ogóle nic wspólnego z fizyką, jak społeczeństwo i prawo. W pewnym sensie będziemy zgłębiać fizykę dobra i zła.

Po drodze zobaczymy, w jak chaotyczny, upolityczniony i ponuro zabawny sposób robi się naukową kiełbasę i jak struktury akademickie uprawiają politykę pod pozorem poznawania rzeczywistości jako takiej.