

Mirosław Kozłowski  
Wstęp do fizyki świadomości



Warszawa – Krynica 2004

## Streszczenie

Na obudowie komputerów czytamy na nalepce „Intel inside”, „Pentium inside”, . . . osobiście wolałbym napis „QM inside” – „Zawiera mechanikę kwantową”. Niezależnie od wytwórcy układów scalonych, procesorów – wszyscy: projektanci, inżynierowie tworząc komputery stosują mniej lub bardziej świadomie zasady mechaniki kwantowej – „teorii niezbędnej w praktyce” – „FAPP – for all practical purposes”. Prawdziwe wyzwanie dla współczesnej mechaniki kwantowej stanowią badania nad świadomością.

W pracy omawiam zagadnienie świadomości z punktu widzenia mechaniki kwantowej. Całość pracy została podzielona na siedem rozdziałów plus Epilog.

Według R. Penrosa wyjaśnienie świadomości należy szukać na styku dwóch wielkich teorii: *teorii względności A. Einsteina* i *mechaniki kwantowej*, której podwaliny położyli Louis de Broglie, A. Einstein i E. Schrödinger. Stąd pierwsze dwa rozdziały dotyczą czasoprzestrzeni oraz fal i cząstek. Rozdział czwarty zawiera omówienie dwóch równań podstawowych dla mechaniki kwantowej: równania Schrödingera i równania Diraca. W rozdziale piątym przedstawiam model Hameroffa – Penrosa dla zjawiska świadomości. Rozdział szósty poświęcony jest roli zjawiska Casimira w neuronach. Rozdział siódmy dotyczy perspektyw uzyskania z funkcji falowej informacji dotyczących świadomości. „Wstęp do fizyki świadomości” jest pomyślany jako pomost łączący współczesną mechanikę kwantową i opis zjawiska świadomości w kategoriach tej pierwszej. Na razie nie mamy zadawalającej definicji świadomości.

Na użytek Wstępu możemy zdefiniować świadomość następująco:

*Świadomość jest stanem umysłu kreowanym  
i podtrzymywanym na poziomie subkwantowym*

Istniejąca realnie (niezależnie od obserwatora) struktura subkwantowa wywiera decydujący wpływ na osobowość człowieka – kształtuje ją i podtrzymuje – stwarzając warunki początkowe i prawa, które odkrywają i stosują nauki szczegółowe.

Świadomość Człowieka jest ukierunkowana. Jak wszystkie procesy na poziomie subkwantowym, również świadomość podlega prawu wzrostu, wraz z upływem czasu, zasobów informacji o otaczającej rzeczywistości. Jak wykazał autor opracowania (*Foundations of Physics Letters* **10** (1997), 295, 599) „strumień czasu” został wykreowany przez oddziaływanie grawitacyjne na poziomie komórki Plancka.

# 1 Wstęp

*Nauka jest dla tych, którzy się uczą,  
poezja dla tych, którzy wiedzą*

J. Roux, *Meditations of a Parish Priest*, 1886

Poezja i fizyka, czym są? Poeci i fizycy wiedzą, pozostali przeczuwają. Każda wielka epoka w dziejach ludzkości ma wielkich poetów i wielkich fizyków. Czas pokrył niepamięcią ruiny Troi, ale trwała ona i trwa w *Iliadzie* Homera.

Cała zachodnioeuropejska nauka, to odsyłacze do dorobku Platona (427 BC – 347 BC). Ślady Platona spotykamy wszędzie: w codziennym języku, gdy mówimy o czystej miłości jako o miłości platonicznej, w działaniu szkolnictwa wyższego, gdy mówimy o nauczycielach akademickich – ponieważ Platon utworzył pierwszy europejski „Uniwersytet w Atenach – Akademia”; w matematyce, gdy mówimy o platońskich ciałach i sferach.

Platońska tradycja w nauce europejskiej, to znaczy przekonanie, iż istnieje rzeczywisty świat idei, różny od świata fizycznego stanowi jeden z ważnych nurtów współczesnej nauki. Począwszy od Platona, Św. Augustyn (354–430), Św. Anzelm (1033–1109), Rene Descartes (1596–1650), Immanuel Kant (1724–1804), North Whitehead (1861–1947) oraz Roger Penrose (1931) rozwijali i rozwijają myśl Platona. Pięknie i przekonująco o platońskiej wizji mówi Sir Roger Penrose:

*To co widzimy w otaczającym nas fizycznym świecie jest cieniem świata matematyki. Jest to główna idea przyświecająca naukowcom. Nauka bada otaczający świat za pomocą modeli, które wszystkie są konstrukcjami matematycznymi...*

oraz

*Platon mówi o świecie prawdy, piękna i moralności ale ja sądzę, że najczystsza prawda jest prawda matematyki.”*

Sir Roger Penrose zbudował własny obraz wszechrzeczy. Według niego istnieją trzy światy: świat platońskich idei, który egzystuje niezależnie od świata fizycznego i który istniał nawet, gdy nie istniał świat fizyczny. Drugi świat to świat fizyczny wypełniony przez obiekty, które nie w pełni rozumiemy, ale który istnieje w zadziwiającej relacji do świata idei. Trzeci świat to świat ludzkiej świadomości – umysłu, który zaczynamy poznawać. Dla R. Penrosa

relacja między tymi światami stanowi główne zagadnienie wiedzy o wszechświecie.

W szkole i w wieku dorosłym rozumiemy doskonale zdanie: „*Pan Tadeusz* Adama Mickiewicza jest pięknym, chwytającym za serce poematem”. Poezja przenosi nas w niezbadane stany uniesień zachwytu. Z całkowitym przekonaniem mogę stwierdzić, że matematyka i fizyka równań wywołuje uczucia wyższe, wzniosłe.

Poezja nauki, tu ograniczę się do fizyki, tkwi w jej równaniach. Dla fizyka i matematyka, równanie jest abstrakcyjnym stwierdzeniem, które nie ma nic wspólnego z realnością świata. Gdy matematyk widzi równanie:  $x^2 + y^2 = 1$ , to dla niego  $x$  i  $y$  są czysto abstrakcyjnymi bytami nie związanymi z rzeczami fizycznymi.

W roku 1905 Albert Einstein jako ukoronowanie szczególnej teorii względności odkrył równanie  $E = mc^2$  (Amerykańscy studenci nazywają to równanie „T-shirt equation”). Równanie  $E = mc^2$  zawiera całą wiedzę o wszelkich przemianach energii i czasu w organizmach żywych na Ziemi i w eksplozjach supernowych gwiazd. Gdy A. Einstein odkrył to słynne równanie, ani on ani inni astronomowie nie wiedzieli o istnieniu niestabilnych gwiazd ginących w kosmicznych kataklizmach.

Istnienie praw natury, których obrazem są równania, stanowi nierozwiązaną tajemnicę Wszechświata. Indyjsko-amerykański astrofizyk S. Chandrasekhar mówił ilekroć udało mu się uzyskać nowy wynik *sądzę, że tak było od zawsze a ja miałem tylko szansę, że to zauważyłem*. Zgodnie z tym poglądem, prawa fizyczne = równania są niezależne od ludzkiej egzystencji – fizycy są archeologami, którzy odkrywają prawa, które istnieją od zawsze.

Każdego roku przyznawane są Nagrody Nobla z fizyki. Dostają je naukowcy, którzy w różnym stopniu przyczynili się do rozwoju fizyki. Wszyscy oni dokonali rzeczy ważnych. Ale tak naprawdę liczy się tylko to, że korzystają z dorobku Isaaka Newtona, który w XVII wieku oderwał człowieka od Ziemi i otworzył przed nim Kosmos.

A. Einstein powiązał newtonowską grawitację ze strukturą przestrzeni (czasoprzestrzeni). E. Schrödinger i P. A. M Dirac odkryli równania Newtona dla mikrokosmosu.

## 2 Czasoprzestrzeń

*Od tej pory przestrzeń i czas z osobna nie istnieją, istnieje tylko ich jedność- czasoprzestrzeń*

Herman Minkowski, 1908

Nadmiernie eksponowana praca A. Einsteina „O elektrodynamice poruszających się ciał” (*Annalen der Physik*, 1905) jest jedną z kilku prac, które stanowią fundament szczególnej teorii względności. Kilka lat przed Einsteinem, Henri Poincaré sformułował zasadę względności a Hendrik Lorentz podał matematyczną strukturę teorii względności.

W lecie 1905 roku ukazały się w odstępie miesiąca prace:

Henri Poincaré: *O elektrodynamice elektronów*

Albert Einstein: *O elektrodynamice poruszających się ciał.*

Daty ukazania się prac w druku świadczą o pierwszeństwie Henri Poincaré. Do roku 1908 ani A. Einstein ani H. Poincaré nie zdawali sobie sprawy z doniosłości szczególnej teorii względności. Dopiero praca H. Minkowskiego o czterowymiarowej czasoprzestrzeni położyła podwaliny fundamentalnej teorii – ogólnej teorii względności (1913 A. Einstein).

Do roku 1908 geometria Euklidesa doskonale opisywała strukturę i własności trójwymiarowej przestrzeni. Położenie punktu w trójwymiarowej przestrzeni określają trzy liczby:  $x$ ,  $y$ ,  $z$ . Odległość  $l$  od początku układu współrzędnych ( $x = 0$ ,  $y = 0$ ,  $z = 0$ ) do punktu  $x$ ,  $y$ ,  $z$  zapisujemy w postaci twierdzenia Pitagorasa

$$l_3^2 = x^2 + y^2 + z^2.$$

Dzięki prostemu uogólnieniu w Euklidesowej czterowymiarowej przestrzeni (dodajemy czwartą współrzędną  $w$ ) otrzymujemy:

$$l_4^2 = x^2 + y^2 + z^2 + w^2.$$

Czterowymiarowa czasoprzestrzeń H. Minkowskiego różni się w subtelny sposób od czterowymiarowej przestrzeni Euklidesa. Narzucająca się intuicyjnie chęć interpretacji  $w$  jako czasu – to znaczy czwartego wymiaru nie uwzględnia istotnej różnicy między *czasem* a przestrzenią. Dla współrzędnych czasowych zamiana  $x \rightarrow -x$ ,  $y \rightarrow -y$ ,  $z \rightarrow -z$  oznacza zmianę „skrętności” układu współrzędnych. Natomiast zmiana  $t \rightarrow -t$  oznacza zmianę kierunku upływu czasu – to zaś prowadzi do zjawisk, których nie obserwujemy w makroświecie.

H. Minkowski, aby uniknąć kłopotów związanych z czterowymiarową przestrzenią Euklidesa,  $l_4$ , zaproponował przestrzeń czterowymiarową

nie-Euklidesową,  $l_4 \rightarrow \tau$ , gdzie odległość  $\tau$  jest zdefiniowana następująco:

$$\tau^2 = (cT)^2 - x^2 - y^2 - z^2.$$

Tutaj  $c$  oznacza prędkość światła (w zasadzie można tu wstawić dowolną wielkość  $c$  o wymiarze prędkości). W dalszych rozważaniach przyjmujemy  $c = 1$ .

Co tak naprawdę oznacza  $\tau$ ? Wygodniej traktować  $\tau^2$  jako specjalny rodzaj upływu czasu – „czas własny”. Zwróćmy uwagę, że prawa strona wzoru na  $\tau^2$  może mieć różne wartości: może być dodatnia, ujemna lub równać się dokładnie 0!

Według H. Minkowskiego, jeżeli cząstka porusza się od punktu 0 do punktu  $P$  ruchem jednostajnym, to  $\tau$  jest „prawdziwym” czasem mierzonym przez zegar cząstki (Fakt, że czas  $\tau$  nie jest newtonowskim czasem  $t$ , zależy od współrzędnych  $x$ ,  $y$ ,  $z$  wyraża szokującą „względność czasu” w szczególnej teorii względności).

Geometria czasoprzestrzeni Minkowskiego ma tę dziwną własność, że „odległość” między dwoma punktami („obserwatorami”)  $P$ ,  $P'$  może wynosić zero, chociaż punkty te nie pokrywają się. Zdarza się to w przypadku, gdy promień światła (foton, który porusza się z prędkością  $c$ ) zawiera punkty  $P$  i  $P'$ . A zatem gdy interpretujemy  $\tau$  jako czas własny, dochodzimy do wniosku, że światło, fotony nie „odczuwają” upływu czasu. Dla ustalonego „obserwatora” (punktu  $P$ ) wszystkie punkty  $P'$  leżą na powierzchni stożka.

Bardzo ważną cechą „długości” w przestrzeni Euklidesa jest twierdzenie:

*Najkrótszą odległość między punktami  $P$  i  $P'$  wyznacza linia prosta.*

W geometrii Minkowskiego rzecz ma się zupełnie inaczej. Jeżeli wybieramy dwie krzywe czasopodobne łączące punkty  $P$  i  $P'$  to czas własny jest najdłuższy dla linii prostej łączącej punkty  $P$  i  $P'$ . Prowadzi to do wielokrotnie sprawdzonego faktu, że dla dwóch obserwatorów z których jeden „spoczywa” względem Ziemi a drugi wyrusza z Ziemi z prędkością  $v$ , a następnie powraca z taką samą prędkością, odstęp czasu określający nieobecność obserwatora poruszającego się względem Ziemi jest krótszy niż odstęp czasu mierzony przez obserwatora „ziemskiego”. Jest tak dlatego, że ziemski „obserwator” porusza się w czasoprzestrzeni po linii prostej, a obserwator – podróżnik porusza się ruchem przyspieszonym – „jego linia świata nie jest linią prostą”.

### 3 Fale i cząstki

*Odkryło ono własności elektronu. Była to dla mnie wielka nieoczekiwana nagroda, kompletnie nieoczekiwana.*

Paul Maurice Dirac, o równaniu Diraca

Nowy, nieprzewidywalny przez nikogo z pracujących w owym czasie fizyków, zwrot w fizyce nastąpił w roku 1923. W krótkiej, zaledwie czterostro nicowej pracy: Promieniowanie: Fale i kwanty (*Comptes rendus*, vol.177, p.507-510, 1923), Louis de Broglie w oparciu o geometrię H. Minkowskiego doszedł do następującego stwierdzenia:

*Atom światła, który jest równoważny ze względu na wartość energii, promieniowaniu o częstotliwości  $\nu$ , jest jednocześnie ruchem periodycznym, który dla stacjonarnego obserwatora ma w dowolnym punkcie przestrzeni taką samą fazę jak fala o częstotliwości  $\nu$  poruszająca w tym samym kierunku ze stałą prędkością  $c$ .*

W dalszej części pracy Louis de Broglie formułuje ten sam wniosek dla elektronów. A zatem, każdej cząstce o masie  $m$  towarzyszy fala o długości  $\lambda = \frac{h}{p}$ , gdzie  $h$  jest stałą wprowadzoną przez Plancka w roku 1900, a  $p$  pędem cząstki,  $p = mv$ , gdy  $v \ll c$ . Jakie równanie spełnia fala o długości  $\lambda$  i o częstotliwości  $\nu$ ?

Odpowiedź na to pytanie zadał Erwin Schrödinger jesienią 1925 roku. Urodzony w roku 1887 w Wiedniu wybitnie zdolny i wszechstronnie wykształcony, 38-letni profesor Uniwersytetu w Zurychu, wszedł na zawsze do Panteonu nauki. E. Schrödinger znał pracę de Broglie i początkowo traktował ją dość sceptycznie. Aż przyszła zima 1925 roku. *Arosa* – piękna górską miejscowość i piękna kobieta – to wystarczyło, aby przełamać wewnętrzne opory i ogłosić drukiem cztery prace (w ciągu nadchodzącego roku). Cztery prace, które zawierają podstawy nowej wizji świata.

E. Schrödinger szukał równania falowego a znalazł równanie podobne raczej do równania dyfuzji. Dla E. Schrödingera równanie nazwane jego nazwiskiem musiało być zgodne ze szczególną teorią względności. Wielokrotne próby z równaniem falowym, do którego E. Schrödinger podstawiał „równanie fali de Broglie” dawały wyniki niezgodne. Należało przypuszczać, że nie zdoła zmusić profesora Zurich Univeristaet do ogłoszenia drukiem pracy zawierającej nierelatywistyczne (a więc niezgodne z STW) równanie, którego

„dobrym” – zgodnym z doświadczeniem były relatywistyczne fale de Broglie. W rękach kobiety spoczywał los mechaniki kwantowej i kobieta dokonała wyboru – po powrocie z Arosy, E. Schrödinger – chyba trochę wbrew sobie, opublikował swoje równanie.

Jak Schrödinger odkrył swoje równanie? Wyprowadzenie równania, jakie znajdujemy w Jego pracach, tak naprawdę nie jest ścisłym wyprowadzeniem a raczej stanowi dokumentację *post factum*. Z dzisiejszego punktu widzenia, należy traktować je jako równanie aksjomatyczne – dające dobry opis zachowania się atomów.

Wraz z równaniem E. Schrödingera na stałe do fizyki weszła funkcja falowa, enigmatyczne  $\Psi$ , którego interpretacja do dzisiaj stanowi nierozstrzygnięty problem. Równanie Schrödingera, ściśle mówiąc, stacjonarne równanie Schrödingera ma prostą postać:

$$H_S \Psi_S = E_S \Psi_S.$$

W tym równaniu cała informacja o układzie fizycznym jest zawarta w funkcji  $\Psi_S$ , a  $E_S$  jest całkowitą energią układu. Symbol  $H_S$  stanowi przepis Schrödingera, jak z funkcji  $\Psi_S$  wydobyć informację o energii układu,  $E$ .

W równaniu Schrödingera,  $E$  jest sumą energii kinetycznej i potencjalnej

$$E_S = \frac{p^2}{2m} + V$$

i jak to wykazał H. Minkowski ten wzór na  $E$  jest słuszny tylko dla  $v \ll c$ . Co się stanie, gdy  $v \rightarrow c$ . Wówczas zamiast prostego wyrażenia na  $E$  powinniśmy napisać:

$$E_D = \sqrt{(cp)^2 + (mc^2)^2}.$$

a więc i  $H_D$ , czyli przepis na uzyskanie wartości energii musi ulec zmianie. Na początku roku 1928 (data otrzymania pracy przez redakcję to 2 stycznia 1928 r.) nowy przepis na uzyskanie energii układu, przepis zgodny ze szczególną teorią względności, podał P. A. M Dirac:

$$H_D \Psi_D = E_D \Psi_D,$$

przy czym  $H_D \Psi_D > E_D \Psi_D$ , gdy  $\frac{v}{c} > 0$ .

Nadal interpretacja fizyczna funkcji  $\Psi_D$  jest równie tajemnicza jak interpretacja funkcji  $\Psi_S$ .



## 4 Kwantowe pytania

*Nie mogę uwolnić się od wrażenia, że wzory matematyczne mają własne życie i własną inteligencję, że są mądrzejsze od nas, mądrzejsze od swych odkrywców, że otrzymujemy od nich więcej niż się spodziewaliśmy.*  
H.Hertz, odkrywca fal elektromagnetycznych o równaniach Maxwella

Równania Schrödingera i Diraca doprowadziły do najbardziej radykalnej od początku współczesnej nauki zmiany w myśleniu o otaczającym świecie. Jeżeli porównać szczególną teorię względności i mechanikę kwantową (tak nazywamy teorię opartą o równania Schrödingera i Diraca) to, mimo, że ta pierwsza odrzucała pojęcie absolutnego czasu, druga stanęła w całkowitej sprzeczności z intuicyjnym postrzeganiem rzeczywistości.

Mówiąc dość nieprecyzyjnie, teoria kwantów pozwala na mieszanie tego, co w fizyce przedkwantowej nie da się mieszać. Mówiąc prościej, mechanika kwantowa dopuszcza stany, w których cząstka może jednocześnie znajdować się w dwóch różnych miejscach w przestrzeni.

Jednym z aksjomatów logiki klasycznej jest prawo dystrybucji.

*Jeżeli „A jest w X lub Y” to „A jest w X”, albo „A jest w Y”.*

To jednak nie zachodzi, że  $A$  jest na przykład fullerenem. Jak wykazała to grupa fizyków austriackich w 2003 roku, fulleren może być w stanie, który jest złożeniem stanu (fulleren w  $X$ ) i stanem (fulleren w  $Y$ ), przy czym stan ten jest całkiem różny od każdej z tych możliwości wziętej z osobna. Mówiąc mniej obrazowo istnieje skończone prawdopodobieństwo stanu, gdy fulleren jest w  $X$  i w  $Y$ .

Musimy zdać sobie sprawę, że to nie opis przyrody zawarty w rozważaniach Schrödingera i Diraca jest dziwny i nieintuicyjny – to świat na poziomie kwantowym jest dziwny i nieintuicyjny.

Podstawowe pytanie dotyczy statusu funkcji falowej  $\Psi$ .  
Sir Roger Penrose napisał:

*Chociaż zwykle dane są nam jedynie prawdopodobieństwa wyników pomiarów, w funkcji falowej... jest coś obiektywnego... jeżeli uwzględni się to co mechanika kwantowa ma do powiedzenia o rzeczywistości fizycznego świata.*

Rev. John Polkinghorne o funkcji  $\Psi$ :

*Funkcja falowa  $\Psi$  służy nam do zrozumienia kwantowego świata. Jeżeli osądzać ją za pomocą zdroworozsądkowych standardów fizyki przedkwantowej, może wydawać się jakimś bytem podobnym do widma...jej wyrafinowana istota może być właśnie formą, którą przyjmuje rzeczywistość na poziomie subatomowym lub niższym.*

Świat kwantowy objawia własną naturę rzeczywistości. Przy tym argumentem za poważnym traktowaniem tej rzeczywistości jest pojmowalność świata kwantów rozumiana jako nadająca sens rozległym obszarom eksperymentów prowadzonych w dziedzinie atomowej i subatomowej.

W wizjonerskim wykładzie zatytułowanym „Jest jeszcze wiele do zrobienia u podstaw” i wygłoszonym w 1959 roku w Caltech, Richard Feynman powołał do życia nową dziedzinę nauki, którą dzisiaj nazywamy nanotechnologia. Nazwa pochodzi od nanometra =  $10^{-9}$  m. 1 nanometr to w przybliżeniu średnia atomu wodoru.

W świetle przytoczonych faktów, trudno wyobrazić sobie, że świat kwantowy jest ulotną zjawą nie poddającą się systematycznym badaniom.

Rzeczywistość kwantowa przedstawia nowy świat rządzący się własną nieintuicyjną logiką. Poznanie logiki świata kwantowego otworzy nieprzewidywalne, niewyobrażalne horyzonty nauki. Co więcej, ulegnie zmianie nasz stosunek do otaczającej nas rzeczywistości.

Elektrony, jądra atomowe są tak samo realne jak Mount Everest, Księżyc, Słońce i galaktyki. Gdzie jest zatem granica między światem kwantowym i światem klasycznym? Na to pytanie nie umiemy na razie odpowiedzieć. Są już jednak pierwsze zwiastuny, gdzie jej szukać.

## 5 Mechanika kwantowa i świadomość

Świadomość nie jest tylko rezultatem działania neuronów. Aby odkryć, skąd się bierze i jak działa świadomość, powinniśmy zgłębić tajemnice kwantowych mechanizmów na znacznie głębszym poziomie niż neurony.

Jedna ze współczesnych prób kwantowej analizy świadomości została zaproponowana przez R. Penrosa i S. Hameroffa. Zajęli się oni działaniem nanorurek (nanotubul) wchodzących w skład synaps – połączeń neuronów. Okazuje się, że nanotubule w neuronach mają inną strukturę niż w pozostałych

komórkach żywych organizmów. Wyjątkowa struktura nanotubul neuronowych stwarza nadzieję, że procesy kwantowe odpowiedzialne za świadomość przebiegają na poziomie nanobul.

R. Penrose i S. Hameroff uważają, że do opisu świadomości nie wystarczy mechanika kwantowa Schrodingera – Diraca. Potrzebna jest nowa teoria uwzględniająca zarówno mechanikę kwantową jak i grawitację.

Według R. Penrosa i S. Hameroffa, podstawowe wartości, które ukształtowały homo sapiens, a więc etyka, estetyka, moralność zostały umocowane we Wszechświecie w jego najgłębszej strukturze – w skali Plancka.

Max Planck formułując swoją teorię zauważył, że trzy stałe: *stała grawitacji*  $G$ , *prędkość światła*  $c$  i *stała Plancka*  $\hbar$ , pozwalają zbudować elementarną komórkę czasoprzestrzeni scharakteryzowaną przez:

$$\begin{array}{ll} \text{Długość Plancka} & L_p = 10^{-35} \text{ m}, \\ \text{Czas Plancka} & T_p = 10^{-43} \text{ s}, \\ \text{Masa Plancka} & M_p = 10^{-5} \text{ g}. \end{array}$$

Elementarna komórka czasoprzestrzeni ma niewyobrażalnie małą objętość  $V_P = L_P^3 = 10^{-105} \text{ m}^3$  oraz niewyobrażalnie wielką gęstość  $Q_p = 10^{100} \text{ g/m}^3$ . W skali Plancka czasoprzestrzeń ma strukturę nieciągłą, przypomina pianę, której „bąbelki” mają promienie rzędu  $L_p$ . Rozerwanie czasoprzestrzeni na poszczególne „bąbelki” wymaga energii większej niż  $10^{19} \text{ GeV}$ . Skąd to wiemy?

Otóż 1 proton waży  $10^{24} \text{ g}$  a zatem cząstka Plancka  $\equiv$  cząstka o masie  $M_p = 10^{-5} \text{ g}$  zawiera  $10^{-5}/10^{-24} = 10^{19}$  protonów. Masa 1 protonu jest równoważna energii 1 GeV. Stąd  $10^{19}$  protonów  $\approx 10^{19} \text{ GeV}$ . Najpotężniejszy działający obecnie akcelerator jest w stanie dostarczyć energii rzędu  $10^3 \text{ GeV}$ . Wynika stąd, że hipotezę Penrosa – Hameroffa możemy badać w zasadzie tylko teoretycznie. Ale nie bądźmy pesymistami. A. Einstein długo nie chciał zaakceptować modelu rozszerzającego się Wszechświata – chociaż ten model wynikał z jego ogólnej teorii względności. Dopiero Edwin Hubble obserwując ruchy galaktyk wyznaczył prędkość rozszerzającego się Wszechświata.

## 6 Procesy kwantowe w neuronach – efekt Casimira

W roku 1948 Hendrik Casimir wykazał, że fluktuacje pola elektromagnetycznego – energia drgań zerowych, prowadzą do występowania sił przyciągających między obiektami. Jak wykazał H. Casimir, między dwoma przewodzącymi płytami, w próżni, w temperaturze  $T = 0$  znajdującymi się w odległości rzędu 10 nm działa siła przyciągająca odpowiadająca ciśnieniu 1 atm. Począwszy od roku 1997, w wielu laboratoriach, efekt Casimira potwierdzono doświadczalnie. Doświadczalne i teoretyczne badania efektu Casimira doprowadziły do nowego spojrzenia na strukturę próżni na odległościach rzędu nanometrów.

Jak już wspomnieliśmy w paragrafie 5, w modelu Hameroffa i Penrosa, główną rolę odgrywają mikrotubule zawarte w neuronach. Biorąc pod uwagę rozmiary mikrotubul (średnia ich jest rzędu kilku nanometrów), właściwie powinniśmy używać nazwy nanotubule. Zanim przejdziemy do omówienia roli, jaką odgrywa efekt Casimira w nanotubulach, zastanówmy się co robią nanotubule w neuronach. Przede wszystkim transportują neuroprzekaźniki wzdłuż aksonów. Poza tym najprawdopodobniej nanotubule wpływają na siłę połączenia synaptycznego, zmieniając własności kolców dendrytowych. Jak są zbudowane nanotubule? Są to rurki z białka zwanego tubuliną. Z kolei tubulina występuje w co najmniej dwóch postaciach, różniących się strukturą przestrzenną i pochodzących z jednej formy w drugą. Jak sugeruje Hameroff i Penrose, wzdłuż nanotubul mogą być przekazywane sygnały między neuronami.

Nanotubule stanowią zatem podstawową sieć połączeń, która gwarantuje przekazywanie sygnałów w korze mózgowej. Dzięki obecności nanotubul może ulegać zmianie struktura próżni a konsekwencji nanotubule mogą, dzięki efektowi Casimira, reagować na zmiany w próżni kwantowej.

## 7 Etyka kwantowa, *qualia*

Mechanika kwantowa to piękna teoria fizyczna, która kryje wiele tajemnic otaczającego świata. Jest to niezwykła teoria pod wieloma względami zagadkowa i paradoksalna. R. Penrose dzieli tajemnice mechaniki kwantowej na zagadki i paradoksy: *Z*– tajemnice i *X*– tajemnice.

*Z*– tajemnice to zjawiska i cechy fizyczne rzeczywistości przewidywane

przez mechanikę kwantową, których istnienie zostało potwierdzone w wielu doświadczeniach. Do takich tajemnic zaliczane są: dualizm korpuskularno-falowy, spin i wynikający z nich zakaz Pauliego. Według R. Penrosa główna  $Z$ -tajemnica to *zagadnienie pomiaru*. Najśłynniejszy  $X$  paradoks to *problem kota Schrödingera*. W tym eksperymencie na razie czysto myślowym kot znajduje się w stanie będącym superpozycją stanów opisujących kota żywego i kota martwego.

W rozdziale 4 rozpoczęliśmy krótką dyskusję równań Schrödingera i Diraca oraz odpowiednich funkcji  $\Psi_S$  i  $\Psi_D$ . Fizycy, którzy na co dzień zajmują się mechaniką kwantową dzielą się, wg Penrosa, na „poważnych” i „wierzących” w mechanikę kwantową. Poważni to m.in. odkrywcy mechaniki kwantowej. De Broglie oraz D. Bohm, a wierzący w mechanikę kwantową to przede wszystkim N. Bohr i ortodoksyjni zwolennicy tzw. kopenhaskiej interpretacji mechaniki kwantowej.

Poważni fizycy uważają, że funkcja falowa  $\Psi$  opisuje rzeczywistość – jest wielkością realną. Ci natomiast, którzy wierzą, uważają, że jest to błędna interpretacja. N. Bohr uważał, że  $\Psi$  istnieje tylko „w umyśle”. Jest to po prostu nasz sposób opisywania świata, nie zaś element fizycznej rzeczywistości. Prowadzi to do stanowiska, które J. Bell określał skrótem FAPP (for all practical purposes) – teoria niezbędna w praktyce.

Fizycy poważni dzielą się na dwie podgrupy: część z nich uważa, że w zasadzie mechanika kwantowa wyczerpała swoje zdolności interpretacyjne i potrzebny jest jakiś nowy element, który zmieni strukturę mechaniki kwantowej i rozszerzy jej możliwości interpretacyjne na zjawiska świadomości. Pozostali zadawalają się obecnym stanem mechaniki kwantowej.

Zajmijmy się na krótko ludzką świadomością. Czy powinniśmy szukać jej naukowego wyjaśnienia? Ze świadomością wiążemy często takie pojęcia jak dusza, duch, religia, rozumienie – wgląd.

Ze świadomością wiążemy również *qualia*, a więc miłość, dobroć, poczucie piękna krajobrazu, rzeźby, melodii.

Jeżeli przyjmiemy, że  $\Psi$  – funkcja falowa opisuje całą rzeczywistość, a więc nas samych, *qualia*, które stanowią o tym że jesteśmy ludźmi, to musimy raczej uznać za przekonujące stanowisko poważnych fizyków. Chcą oni zbudować – a moim zdaniem odkryć – nową mechanikę kwantową, która pozwoli, być może, odkryć kwantowe podstawy etyki, etykę kwantową.

## 8 Epilog

Jesteśmy w przededniu kolejnego przełomu w mechanice kwantowej. Ostatnio Shahriar Afshar, fizyk irańsko-amerykański, pracujący w *Institute for Radiation-Induced Mass Studies* powtórzył klasyczny eksperyment Younga dla fali elektromagnetycznej w nieco zmodyfikowanej wersji. Wynik jego doświadczenia jest zaskakujący – możemy „podglądać” fotony. Ten wynik jest sprzeczny z kopenhaską interpretacją mechaniki kwantowej. W niedalekiej przyszłości Prof. Zeilinger z Technische Universitaet Wien przeprowadzi eksperyment Younga z bakteriami. Będziemy mogli zobaczyć jak zachowuje się ożywiona materia poddana testowi mechaniki kwantowej. W USA przeprowadzono doświadczenie Younga z ludźmi, którzy wybierali losowo bramki przez które przechodzili. Wyniki są dziwne ale trzeba wziąć pod uwagę, że w eksperymencie wzięło udział tylko tysiąc osób. Co przyniesie przyszłość? Kto pierwszy dokona przełomu w badaniu świadomości: poważni fizycy teoretycy czy poważni fizycy eksperymentatorzy? Sądzę, że rozstrzygającą rolę odegrają w niedługim czasie nowe eksperymenty.