

ZACHOWANIE INFORMACJI W RÓŻNYCH INTERPRETACJACH MECHANIKI KWANTOWEJ

(Czy materialny świat powstał przypadkowo, a wszelka informacja
pojawia się znikąd i znika bezpowrotnie?)

inż. Czesław Hławiczka
Cieszyn, prywatny przedsiębiorca
hlawiczsl@wp.pl

Streszczenie

Komisja Parlamentu Europejskiego zabroniła 4 października 2007 roku uczenia w szkołach o „inteligentnym projekcie”, uznając go za nienaukowy zabobon. Urzędowo narzuca się tylko kopenhaską interpretację mechaniki kwantowej, gdzie rola prawdopodobnego przypadku jest decydująca. Pomija się tutaj fakt, że chociaż interpretacja ta opisuje zjawiska zgodne z doświadczeniami, to jednak nie wyjaśnia wszystkich problemów fizyki. Przede wszystkim interpretacja kopenhaska nie jest jedyną naukową interpretacją, jak to próbuje się narzucić. Między innymi rozwijane od lat 80-tych teoria kwantowej grawitacji pętlowej oraz teoria dekoherencji kwantowej wskazują na zachowanie informacji na poziomie kwantowym, co coraz częściej potwierdzają eksperymenty. Zaprzeczają one jednocześnie wnioskowi wyciąganemu z probabilistycznej interpretacji kopenhaskiej.

W moim referacie skoncentrowałem się na wnioskach wynikających z tych dwóch ostatnich teorii. Pomiąłem natomiast inne teorie, których nie można praktycznie zweryfikować.

1. Wprowadzenie

Do opisu zjawisk zachodzących w mikroświecie konieczne jest stosowanie mechaniki kwantowej [1]. Mechanika klasyczna nie nadaje się do poprawnego opisu tych dziwnych zjawisk. Albert Einstein, a później David Bohm próbowali znaleźć ukryte zmienne [2], które wprowadziłyby przyczynowość do mechaniki kwantowej, podobnie jak w szczególnej teorii względności, gdzie punktowo zlokalizowane cząstki poruszają się i oddziałują z realną prędkością, mniejszą lub równą prędkości światła.. Jednak rozważania Bella doprowadziły w roku 1964 do odrzucenia jednoczesnego realizmu i lokalności zjawisk kwantowych [3].

Realizm w fizyce oznacza, że rezultaty pomiaru pokazują właściwości cząstki, które istnieją rzeczywiście, niezależnie od samego pomiaru, np. polaryzacja, prędkość, pęd.

Lokalność oznacza, że rezultaty pomiaru „tu” i „teraz” nie zależą od zdarzeń odbywających się w odległej przestrzeni i nie oddziałują na odległość.

W związku z doświadczeniami Morley-Michelsona w 1887 roku odrzucono eter jako medium dla światła [4] i przyjęto naczelną zasadę, że cząstki poruszają się jak punkty w pustej przestrzeni, a więc są zlokalizowane. Jeśli takie cząstki działają lokalnie, to zgodnie z twierdzeniem Bella nie mogą mieć realnych własności, a jedynie statystyczne, obliczane zgodnie z rachunkiem prawdopodobieństwa.

Dlatego też najpopularniejszą interpretacją mechaniki kwantowej w XX wieku od 1927 roku była interpretacja kopenhaska związana z Nielsem Bohrem [5]. Zgodnie z tą interpretacją, probabilistyczna natura mechaniki kwantowej nie może być wyjaśniona w ramach innej deterministycznej teorii, ale jest odbiciem probabilistycznej, a więc przypadkowej natury samego Wszechświata. Cząstki punktowe pojawiają się wszędzie z jakimś prawdopodobieństwem, co uogólniono do prawdopodobnej rzeczywistości, a więc przypadkowego pojawienia się Wszechświata. Takie podejście wystarcza do obliczania większości procesów kwantowych, ale nie wyjaśnia jednak ich istoty.

Czy w takim razie wszystko powstało przez przypadek?

Działanie na odległość w mechanice kwantowej

Istnieją pewne cząstki splątane, tzw. singlety, które mają taką właściwość, że gdy dokonujemy pomiaru wartości jakiegokolwiek składowej spinu jednej z cząstek, to otrzymujemy zawsze przeciwne wyniki drugiej – czyli pełna anty-korelacja. W związku z tym, że dla singletu przed pomiarem składowe spinów każdej z cząstek są całkowicie nieokreślone, to mamy pozornie do czynienia z pewnego rodzaju oddziaływaniem rozchodzącym się natychmiastowo na dowolną odległość. Tymczasem według szczególnej teorii względności nie ma możliwości przekazywania informacji szybciej niż prędkość światła [6, 9].

Według interpretacji kopenhaskiej dwie skorelowane cząstki punktowe nie mają określonych własności, takich jak położenie, pęd, spin, a jedynie wzajemnie przeciwne, co wynika z wartości funkcji falowej Schroedingera [7, 8]. Cząstki znajdują się w każdym miejscu z jakimś prawdopodobieństwem i w związku z tym pomiar oznacza przypadkowe złapanie jednej z nich, co matematycznie opisuje się tzw. kolapsem funkcji falowej. Własności cząstki są w superpozycji, czyli praktycznie posiadają obie własności, ponieważ nie wiemy, którą cząstkę złapiemy podczas obserwacji. Pomiar oznacza określenie własności jednej i automatycznie skorelowanej z nią drugiej cząstki. Chociaż wiemy, że druga skorelowana cząstka ma przeciwny spin, to nie możemy transmitować żadnych informacji tą drogą, ponieważ wybór samej cząstki jest przypadkowy. Nie możemy przewidzieć, czy złapiemy cząstkę spolaryzowaną pionowo, czy poziomo.

Wynalezienie lasera umożliwiło od lat 70-tych eksperymentalną weryfikację kwantowego splątania. Te doświadczenia zdecydowanie odrzucają punktowo zlokalizowane cząstki, jak to interpretuje szkoła kopenhaska. Spowodowało to powstanie w latach 80-tych wielu alternatywnych interpretacji mechaniki kwantowej.

W interpretacji kopenhaskiej istnieje pojęcie pola elektromagnetycznego grawitacyjnego. Jednak oddziaływania przekazywane są według tej teorii przez punktowe cząstki wirtualne lub hipotetyczne grawitony. Cząstka realna i punktowa wysyła punktową cząstkę wirtualną jako kwant energii, który przekazuje tę energię innej punktowej cząstce. Pole sił tworzą tu punktowe cząstki, które z jakimś prawdopodobieństwem znajdują się wokół cząstki realnej. Dlatego w szkole kopenhaskiej pole sił posługuje się lokalnym oddziaływaniem punktowych cząstek wirtualnych.

2. Kwantowa grawitacja pętlowa

Kwantowa grawitacja pętlowa jest próbą pogodzenia pozornie niekompatybilnych teorii mechaniki kwantowej i ogólnej teorii względności. Teoria ta próbuje stworzyć kwantową teorię grawitacji, w której sama przestrzeń wszystkich zjawisk fizycznych jest skwantowana [10]. Cząstki posiadają tu realne własności fali oddziałującej nielokalnie. Funkcja falowa jest obrazem struktury samej przestrzeni razem z cząstkami, które oddziałują z tą przestrzenią. Energia próżni jest realna, niezerowa i stanowi nielokalną część realnej cząstki w przestrzeni [11, 12, 13, 14].

W interpretacji kopenhaskiej przestrzeń jest pusta, a w niej poruszają się punktowe cząstki statystycznie zlokalizowane, co w efekcie daje statystycznie niepustą próżnię. Efekt jest może ten sam, ale inna przyczyna.

Energii próżni potwierdzają doświadczalnie siły Van der Waalsa, efekt Casimira i przesunięcie Lamba. Bezładność mas tłumaczą Puthof i Heisch energią punktu zerowego i wspiera ich w tym profesor Paul Davies, który razem z profesorem Unruh wyjaśnił efekt promieniowania próżni podczas przyspieszenia.

Formalizm grawitacji pętlowej powstał w 1986 roku, kiedy Abhay Ashtekar zaproponował nowe opisanie pola w teorii Einsteina-Cartana przy pomocy tzw. zmiennych Ashtekara [15]. Ashtekar użył tzw. pętli Wilsona do kwantyzacji pola grawitacyjnego [16]. Lee Smolin i Carlo Rovelli w roku 1990 użyli zaproponowanej przez Rogera Penrose w roku 1971 struktury przestrzennej tzw. „spin network” do uogólnienia pętli Wilsona [17, 18, 19].

Sir Roger Penrose proponuje swoją interpretację mechaniki kwantowej, mianowicie jeśli obiekt nie narusza pola grawitacyjnego, to może znajdować się równocześnie w wielu miejscach w czasie odwrotnie proporcjonalnym do jego masy [20, 21]. Roger Penrose jest sceptycznie nastawiony do teorii strun i raczej preferuje grawitację pętlową. Rozwija też teorię, podobną do grawitacji pętlowej, tzw. Twistor Theory [22].

3. Dekoherencja kwantowa

Od lat 80-tych fizycy zajmują się ignorowanymi dotychczas zakłóceniami kwantowymi. Dzięki temu tzw. dekoherencja kwantowa stała się nową interpretacją mechaniki kwantowej. Zasadniczo jest to proces powodujący niekontrolowane

splątanie układu kwantowego i jego przejście do tzw. stanu splątanego z otoczeniem [23]. W dekoherencji nie zachodzi „kolaps” funkcji falowej, tak jak w interpretacji kopenhaskiej, a raczej symulacja tego kolapsu [24].

Pierwsze poważne badania nad dekoherencją prowadził Wojciech Żurek, który stworzył teorię „no-cloning”. Według niej niemożliwe jest stworzenie identycznej kopii kwantowego elementu. Niemożliwa jest też komunikacja szybsza od prędkości światła oraz praktyczna kwantowa teleportacja. W rzeczywistości kwantowa teleportacja prowadzi raczej do unicestwienia oryginału [25, 26].

Humorystyczną ilustrację teleportacji pokazują lata 60-te, kiedy nie wolno było wywozić dolarów z Polski. Wtedy grupa emigrantów spisała komisyjnie w obecności pracowników ambasady USA numery z banknotów i po również komisyjnym ich spaleniu w Polsce wydrukowano legalnie w USA, gdzie czekały na właścicieli. Dolary znikły w Polsce i zostały teleportowane do Ameryki.

Stany splątane mają obecnie szerokie zastosowanie w informatyce, np. w kryptografii czy teleportacji kwantowej [27].

W roku 1999 przeprowadzono eksperyment z trzema splątanymi cząstkami. Potwierdził on już jednoznacznie nielocalne oddziaływanie cząstek. Otworzył szeroką perspektywę pola wielkocząsteczkowego splątania. Większa niepewność w ilości splątanych fotonów w interferometrze prowadzi do mniejszej niepewności w ich fazach, co daje lepszy pomiar w porównaniu z taką samą ilością niesplątanych cząstek.

W 2004 roku zespół Antona Zeilingera przeprowadził bezpieczny transfer pieniędzy między bankiem a ratuszem w Wiedniu, używając pary splątanych fotonów generowanych przez laser w światłowodzie w nieliniowym optycznym procesie. W roku 2007 eksperymentowano ze splątanymi fotonami na odległość 144 km między wyspami La Palma a Teneryfą. Używano też odbicia impulsów lasera od satelity do stacji naziemnej.

Komercyjne urządzenia do kwantowego kodowania są już na rynku, a pracuje się teraz nad zwiększeniem ilości transmitowanych bitów na jeszcze większe dystanse [28].

Informatyka kwantowa

Obecnie naukowcy pracują nad stworzeniem komputera kwantowego. Podstawowymi elementami budowy kwantowego komputera są kwantowe bramki logiczne. Kwantowy bit, tzw. kubit, jest kwantową superpozycją zera i jedynki. Pojedynczy wynik obliczeń komputera kwantowego będzie praktycznie niepewny. Istotne staje się wykonanie całej serii obliczeń i dopiero ich średnia wartość z dużą dokładnością określi prawidłowy wynik – tym dokładniejszy, im więcej komputer dokona obliczeń. Kubit niesie w sobie naraz o wiele więcej informacji niż zero-jedynkowy klasyczny bit. Dlatego jest w stanie wykonać równoległe wiele obliczeń [29].

Działanie komputera kwantowego poddane jest zakłóceniom z otoczenia, czyli dekoherencji. Dokonuje się to w ciągu drobnego ułamka nanosekundy. Nawet najmniejszy kontakt z otoczeniem może wpłynąć na wynik pomiaru. Jednym z testowanych sposobów na rozwiązanie tego problemu jest przetrzymywanie atomów

w pułapkach magnetycznych i sterowanie nimi za pomocą impulsów światła laserowego [30].

Wynik pomiaru pojedynczej niesplątanej cząstki jest na fundamentalnym kwantowym poziomie zupełnie przypadkowy. Stosując jednak kwantowe splątanie, Raussendorf i Briegel z Uniwersytetu w Monachium chcą wyeliminować tę przypadkowość przez ustawienie specyficznej sekwencji pomiarów zależnych od wcześniejszych wyników. Cały schemat daje całkiem deterministyczny kwantowy komputer, gdzie cząstki w końcowym rozrachunku wszystkich pomiarów dają prawidłowy jednoznaczny wynik.

Już w 1994 roku Peter Shor opracował algorytm dla komputera kwantowego do obliczania liczb pierwszych. W 2001 roku grupa informatyków z firmy IBM zademonstrowała jego działanie na 7-kubitowym komputerze kwantowym opartym o jądrowy rezonans magnetyczny. W 2005 zespół Zeilingera w Wiedniu zademonstrował zasady one-way kwantowego komputera używającego 4 splątanych fotonów. W 2007 roku na Uniwersytecie Hefei (Chiny) zastosowano podobny schemat dla 6 fotonów.

Po eksperymentach, które udowodniły nielocalne oddziaływanie cząstek w mechanice kwantowej, przyszła kolej na badanie ich realności. W 2003 roku Anthony Leggett z Uniwersytetu Illinois (USA) zaproponował zmierzenie stałości własności splątanej cząstki w nielokalnym oddziaływaniu. W 2007 roku zespół Antona Zeilingera przeprowadził eksperyment wg założenia Leggetta, który wykazał, że wynik pomiaru w nielokalnie splątanym układzie cząstek sugeruje zależność własności cząstek od samej obserwacji. Dekoherencja obejmuje więc nie tylko wpływ samego otoczenia, ale też rodzaj aparatury i sposób pomiaru.

Okazuje się, że nie ma ścisłej granicy oddzielającej efekty mechaniki kwantowej od świata makroskopowego obserwowanego na co dzień. W roku 1999 Zeilinger obserwował interferencje ciężkich cząstek 60 i 70 fulerenów węgla. Obecnie bada się możliwość kwantowego falowania przestrzeni małych wirusów lub nanobakterii. Ostatnie próby schładzania do temperatury blisko zera bezwzględnej otworzyło możliwość interferencji układów zawierających 10^{20} atomów, czyli około tysięcznej części grama. Uczniowie próbują sprawdzić kwantowe splątanie fotonu i mechanicznego systemu lub nawet splątanie między dwoma mechanicznymi systemami. Czy telepatia to tylko science-fiction? Ostatnie eksperymenty nie wykluczają kontroli nad dekoherencją systemów całkiem makroskopowych [31].

Prawo zachowania informacji na poziomie kwantowym

Teoria no-cloning rozwinęła się w kilka nowych pojęć, jak no-creating, no-deleting, no-flipping, no-signalling teorie pod ogólną nazwą no-go theorem. Doprowadziło to do sformułowania prawa zachowania informacji, które nie było uznawane w interpretacji kopenhaskiej ze względu na statystyczne, a więc przypadkowe pojawianie się tam cząstek.

Silniejsza wersja teorii no-cloning dowodzi, że aby stworzyć kopię danej informacji, należy ją importować gdzieś ze Wszechświata, a chcąc informację zdeletować, możemy ją tylko wyeksportować gdzieś dalej, gdzie będzie kontynuować swą

egzystencję [32, 33, 34]. Według najnowszych badań prawo zachowania informacji wydaje się najbardziej fundamentalne. Z tego prawa wynika zasada zachowania energii, na co wskazują Ryszard i Paweł Horodeccy, profesorowie Uniwersytetu Gdańskiego [35].

Jeśli 20 lat temu według Landaua popularne było hasło „informacja jest fizykalna”, to teraz możemy powiedzieć, że to „fizyka jest informatyczna”. Profesor Bekenstein stwierdził w 2003 roku, że coraz więcej naukowców uważa fizyczny świat za zbudowany z samej informacji [36].

O zmianie w środowisku fizyków w postrzeganiu zachowania informacji świadczy ewolucja modelu Czarnej Dziury. Klasyczny obiekt zwany Czarną Dziurą pochłaniał wszystko, co do niego wpadło, bez możliwości odzyskania informacji (no-hair Black Hole Johna Wheelera). Teoria promieniowania Hawkinga zaproponowana w 1975 roku także nie zachowywała informacji w Czarnej Dziurze. W 1997 roku Preskill i Thorne założyli się z Hawkingiem na temat zachowania informacji. Dopiero w lipcu 2005 Hawking przyznał, że informacja może zostać zachowana w Czarnej Dziurze i nie zniknie w jej centralnym punkcie osobliwości [37, 38, 39].

4. Zakończenie

Na pograniczu informatyki kwantowej rozważa się też możliwość, że świadomość odgrywa rolę w fizyce kwantowej [40]. Roger Penrose razem z Hameroffem stworzyli ideę, według której ludzka świadomość jest wynikiem oddziaływania mikrotubuli [41] w komórkach mózgowych z grawitacją kwantową. Mózg wysyła też fale elektromagnetyczne, które są odbierane przez encefalografy i nowsze urządzenia w metodzie SPECT [42]. Max Tegmark twierdzi, że temperatura w mózgu jest dużo wyższa niż absolutne zero i efekty kwantowe są kilka milionów razy słabsze, a więc człowiek nie ma wolnej woli. Z kolei Penrose i Tuszyński argumentują, że nagromadzenie efektów kwantowych może przyczynić się do destabilizacji jonowej równowagi w mikrotubulach jako efekt wtórny kwantowej dekoherencji [43, 44].

W medycynie znane są też choroby psychosomatyczne. W powstawaniu wszystkich zaburzeń zdrowia, obok czynników biofizycznych, biorą udział czynniki psychospołeczne [45]. Wpływ samej informacji na materię jest tu całkiem widoczny. Każda myśl to zbiór dostarczonych do mózgu informacji, które są w nim sekwencjonowane i wysyłane w przestrzeń w postaci fal mózgowych. Te informacje ulegają dekoherencji, czyli splątaniu, gdzieś w przestrzeni z innymi cząstkami, ale nie znikają nigdy. Kogo obchodzi zeszłoroczny płatek śniegu? Jednak informacja o tym, jak spadł, roztopił się i wyparował, istnieje dalej gdzieś w przestrzeni. Według profesora Bennetta zapisane są zdarzenia, które były, ale też i te, które mogły się wydarzyć, a nie wydarzyły się, bo dokonano innego wyboru [46].

Dlaczego te wszystkie zdarzenia razem z naszymi myślami są wpisane w przestrzeń? Czy ktoś to w przyszłości odkoduje i wykorzysta? Czy tak zapisaną infor-

mację można odczytać? Dla obserwatora zlokalizowanego na Ziemi jest niemożliwe pozbiierać wszystkie informacje rozproszone gdzieś między gwiazdami. Inaczej wygląda to z perspektywy programisty – Twórcy, który lokuje i koduje informacje według znanego sobie programu.

Obecnie można przekształcić energię w cząstkę materialną, jak elektron czy proton z odpowiednimi antycząstkami. Informacja zawarta w tych cząstkach materialnych podlega zakazowi Pauliego, bo te cząstki kolidują ze sobą. Daje to odczucie dotyku i przyjemności oraz możliwość wyboru, ale też bólu i cierpienia. Z kolei informacja zawarta w kwantach energii fali elektromagnetycznej poza atomami nie podlega zakazowi Pauliego i odczucie bólu dla niematerialnej informacji nie istnieje. Zbiór informacji tworzących ciało człowieka i jego myśli pojawia się w określonym czasie, kiedy może dokonywać wyboru, odczuwać przyjemność i cierpienie, a następnie ulega rozproszeniu, ale nie znika, tylko istnieje dalej zakodowany gdzieś w przestrzeni.

Odkrywamy, że cały nasz Wszechświat materialny i niematerialny działa jak jeden wielki komputer, który powstał na bazie dostarczonej informacji. Profesor Uniwersytetu Wiedeńskiego Zeilinger, współtwórca słynnego eksperymentu GHZ potwierdzającego nielokalność cząstek, twierdzi, że wszystko zbudowane jest z informacji. Na początku była informacja i z niej powstały materialne cząstki, jak elektrony, protony... Na poziomie kwantowym czas i odległość nie istnieją. Dopiero informacja tworzy czas i przestrzeń [47, 48].

Jeśli teza kwantowej dekoherencji i zachowania informacji jest prawdziwa, to powstanie i istnienie naszego Wszechświata jest możliwe dzięki informacji. Ta informacja nie powstała z niczego, bo zabrania tego teoria no-creating, i nie jest niszczone, bo zabrania tego teoria no-deleting. Aby system mógł się rozwijać, musi być do niego dostarczana informacja z zewnątrz, tzw. wolna energia wg Schrodingera. Większa ilość informacji wymaga też większej przestrzeni do zapisania. Dlatego nasz widzialny Wszechświat rozszerza się, co obserwują astronomowie i określają jako prawo Hubble'a [49]. Energię odpowiedzialną za powiększanie przestrzeni Wszechświata astronomowie nazywają Ciemną Energią, a każda energia to przede wszystkim informacja. Bez dostarczania informacji oraz energii z zewnątrz nic nie powstało, co powstało [50].

Przyszłość = terażniejszość + dekoherencja + informacja z zewnątrz

Bez informacji z zewnątrz system przez dekoherencję z otoczeniem dochodzi do maksymalnej entropii i zamiera.

Fizycy XXI wieku dochodzą do wniosku, że bez programu i informacji istnienie materii i całego naszego Wszechświata jest niemożliwe. Profesor Dieter Zeh uważa cały Wszechświat za jedną Uniwersalną Falę kwantowo splątaną [51]. Jeśli cały Wszechświat jest połączony w jeden system kwantowo splątanych informacji, to jaka jest rola przypadku? Jak stwierdzono, kwanty informacji nie są odbijającymi się bezładnie kulami bilardowymi. Te kwanty informacji są wzajemnie powiązane, realizują pewien plan i jednocześnie dają określony margines wyboru wolnej woli dla cząstek materialnych. Każdy wybór pociąga za sobą zaplanowane konsekwencje. Rola przypadku jest więc zredukowana do wyboru jednej z dostarczonych informacji na „tak” lub „nie”, ale nadrzędny plan i tak jest realizowany.

Informacja, która jest w pewnym logicznym systemie wzajemnie powiązana, nie może powstawać przypadkowo. Z definicji przypadkowe jest niezależne i niepowiązane zdarzenie, niemające przyczyny. W kwantowo splatany świat istnieje tylko niewielki margines wyboru w ramach genialnego programu wysyłającego informacje. Czy taki genialny program mógł powstać przypadkiem? Taka hipoteza wydaje się niedorzeczna.

Bibliografia

- [1] http://pl.wikipedia.org/wiki/Fizyka_kwantowa
- [2] <http://pl.wikipedia.org/wiki/Determinizm>
- [3] http://pl.wikipedia.org/wiki/Twierdzenie_Bella
- [4] http://pl.wikipedia.org/wiki/Do%C5%9Bwiadczenie_Michelsona-Morleya
- [5] http://pl.wikipedia.org/wiki/Interpretacja_kopenhaska
- [6] http://www.insomnia.pl/_stan_spl%C4%85tany,_teleportacja_NEWS-t576621.html
- [7] http://pl.wikipedia.org/wiki/Fale_materii
- [8] http://pl.wikipedia.org/wiki/R%C3%B3wnanie_Schr%C3%B6dingera
- [9] http://pl.wikipedia.org/wiki/Paradoks_EPR
- [10] http://pl.wikipedia.org/wiki/P%C4%99tlowa_grawitacja_kwantowa
- [11] http://pl.wikipedia.org/wiki/Stan_spl%C4%85tany
- [12] http://en.wikipedia.org/wiki/Anton_Zeilinger
- [11] <http://pl.wikipedia.org/wiki/Pr%C3%B3b%C5%BCnia>
- [12] http://pl.wikipedia.org/wiki/Energia_punktu_zerowego
- [13] http://pl.wikipedia.org/wiki/Zasada_nieoznaczono%C5%9Bci
- [14] http://pl.wikipedia.org/wiki/Cz%C4%85stka_wirtualna
- [15] http://en.wikipedia.org/wiki/Ashtekar_variables
- [16] http://en.wikipedia.org/wiki/Wilson_loop
- [17] http://en.wikipedia.org/wiki/Spin_network
- [18] http://pl.wikipedia.org/wiki/Diagram_Feynmana
- [19] http://en.wikipedia.org/wiki/Spin_foam
- [20] http://en.wikipedia.org/wiki/Penrose_Interpretation
- [21] <http://www.snarkpit.net/pits/leperous/pages/dissertation.pdf>
- [22] http://pl.wikipedia.org/wiki/Teoria_twistor%C3%B3w
- [24] http://en.wikipedia.org/wiki/Wavefunction_collapse
- [25] http://en.wikipedia.org/wiki/No_cloning_theorem
- [26] http://en.wikipedia.org/wiki/Quantum_teleportation
- [27] http://pl.wikipedia.org/wiki/Stan_spl%C4%85tany
- [28] http://en.wikipedia.org/wiki/Anton_Zeilinger
- [29] http://pl.wikipedia.org/wiki/Informatyka_kwantowa
- [30] http://pl.wikipedia.org/wiki/Komputer_kwantowy
- [31] http://www.quantum.at/fileadmin/Presse/2008-07-01MGPW_A_QuantumRenaissance.pdf
- [32] <http://adsabs.harvard.edu/abs/2006quant.ph..5173C>
- [33] <http://www.research.ibm.com/journal/rd/481/jozsa.html>

- [34] http://en.wikipedia.org/wiki/Quantum_no-deleting_theorem
- [35] <http://arxiv.org/abs/quant-ph/0306044>
- [36] http://en.wikipedia.org/wiki/Physical_information
- [37] http://pl.wikipedia.org/wiki/Czarna_dziura
- [38] <http://igc.psu.edu/outreach/articles/solvaynet.pdf>
- [39] <http://skfiz.wdfiles.com/local-files/materialy/VIOSKNF%20-%20Jacek%20Puchta%20-%20LQC.pdf>
- [40] http://en.wikipedia.org/wiki/The_Road_to_Reality
- [41] <http://www.laboratoria.net/pl/modules.php?name=News&file=article&sid=1450>
- [42] http://pl.wikipedia.org/wiki/Badania_SPECT
- [43] http://en.wikipedia.org/wiki/Quantum_mind
- [44] <http://en.wikipedia.org/wiki/Orch-OR>
- [45] http://pl.wikipedia.org/wiki/Choroba_psychosomatyczna
- [46] <http://www.astro.unipd.it/quantumastronomy/documents/PaduaForgetfulness-of-Nature.short.pdf>
- [47] <http://www.decoherence.de/>
- [48] http://www.quantum.at/fileadmin/quantum/documents/New_Scientist__In_the_beginning_was_the_bit.pdf
- [49] http://pl.wikipedia.org/wiki/Prawo_Hubble'a
- [50] http://pl.wikipedia.org/wiki/Ciemna_energia
- [51] <http://arxiv.org/abs/quant-ph/0204088>