

Sieć Splątania Kwantowego jako Fundament Multiwersum: Nowy Paradygmat Czasu Relacyjnego i Napędu

1. Wprowadzenie i Podstawowe Założenia

Sieć splątania jako podstawowa struktura rzeczywistości: Niniejsza koncepcja zakłada, że fundamentalną „tkanką” rzeczywistości nie jest czasoprzestrzeń ani pole kwantowe, lecz globalna sieć splątania kwantowego spinająca wszystkie gałęzie multiwersum w spójną całość. Jak ujął to fizyk John Preskill, „splątanie zasadniczo trzyma przestrzeń w całości – to klej, który spaja różne kawałki przestrzeni” ¹. W przedstawionym modelu multiwersum jawi się jako dynamiczna, samoorganizująca się sieć, gdzie każda gałąź może reprezentować alternatywną czasoprzestrzeń (podobnie jak w interpretacji wielu światów Everetta, gdzie każdy proces kwantowy rozgałęzia wszechświat na równoległe rzeczywistości ²). Prawa fizyki wynikają tu z globalnej optymalizacji tej sieci zależności.

Kluczowe założenia modelu obejmują:

- **Dualizm struktur:** Istnieją dwa komplementarne „poziomy” rzeczywistości – (1) **czasoprzestrzeń temporalna**, czyli nasz obserwowalny wszechświat powstały po odparowaniu białej dziury (utożsamianej z Wielkim Wybuchem zgodnie z pewnymi hipotezami ³), oraz (2) **ponadczasowa przestrzeń kwantowa** (struktura atemporalna, niezmienna, będąca źródłową siecią splątania). Temporalna czasoprzestrzeń wyłania się jako wynik dynamicznej ewolucji atemporalnej sieci splątania.
- **Czas jako relacja zdarzeń:** Czas nie istnieje samodzielnie jako absolutny byt; jest relacją między zdarzeniami. Jeśli *nic się nie dzieje, nie ma czasu* – w tradycyjnym ujęciu relacyjnym czas to właśnie porządek (następstwo) zdarzeń ⁴. „Napęd relacyjny” polega na przełączaniu (modyfikowaniu) tych relacji przyczynowych między zdarzeniami. **Czas własny** między zdarzeniami x i y definiujemy jako iloczyn elementarnego „tyku” τ_* oraz długości najdłuższego łańcucha przyczynowego $L(x, y)$ łączącego te zdarzenia. Innymi słowy, w duchu teorii zbiorów przyczynowych, maksymalna liczba zdarzeń na najdłuższej ścieżce między x i y (pomnożona przez fundamentalny kwant czasu) wyznacza mierzony interwał czasowy ⁵.
- **Wielki Wybuch jako biało-dziurowe „odbicie”:** Proponujemy interpretację Wielkiego Wybuchu jako odparowania białej dziury, co fizycznie odpowiada gwałtownej emisji materii/energii z pierwotnej osobliwości. To odparowanie można traktować jako kolaps globalnej funkcji falowej wszechświata (tj. przejście z atemporalnej superpozycji do zdefiniowanej historii czasoprzestrzennej). Podobne idee pojawiały się w literaturze – sugerowano m.in., że **sam Wielki Wybuch mógł być zdarzeniem typu biała dziura** (tzw. „Small Bang”) ³. W tym ujęciu nasz Wszechświat stanowi jedną z gałęzi sieci splątania powstałą w takim zdarzeniu.

2. Architektura Teorii: Jednostki Przyczynowo-Kontrolne (CCU) i Sieć Splątania

Jednostka Przyczynowo-Kontrolna (CCU): Proponujemy, że węzłami fundamentalnej sieci są tzw. jednostki przyczynowo-kontrolne. CCU to hipotetyczne **fundamentalne „atomy” przyczynowości i informacji** – lokalne generatory połączeń splątanych, które zarazem pełnią rolę *decyzyjnych węzłów* sieci. Można je interpretować jako najbardziej podstawowe elementy, z których zbudowana jest zarówno świadomość obserwatora, jak i emergentna struktura przestrzeni-czasu. Każdy CCU gromadzi informację i wpływa na ewolucję lokalnej części sieci (np. dokonując „decyzji” kwantowych w punktach rozgałęzień historii).

Stan matematyczny węzła (CCU): Formalnie stan CCU opisujemy superpozycją odpowiadającą wszystkim możliwym konfiguracjom pól kwantowych w otoczeniu węzła, splecioną z wektorem splątania wiążącym dany węzeł z resztą sieci. Można zapisać to schematycznie jako:

$$\Psi_{\text{CCU}} = \int \mathcal{D}\phi e^{iS[\phi]} \otimes |\text{Entanglement}\rangle,$$

gdzie $S[\phi]$ to działanie dla wszystkich pól w lokalnym układzie odniesienia węzła, zaś $|\text{Entanglement}\rangle$ reprezentuje wektor stanu splątania wiążący dany CCU z pozostałymi węzłami sieci. Intuicyjnie, każdy CCU „mierzy” lokalną konfigurację pól (część stanu Wszechświata) i jednocześnie utrzymuje **połączenia splątania** z innymi CCU.

Dynamika sieci splątania: Wszystkie CCU łącznie tworzą globalną sieć splątanych węzłów – swoistą **uniwersalną siatkę kwantową**. Splątanie między węzłami sprawia, że stan sieci nie rozkłada się na niezależne fragmenty nawet wtedy, gdy odpowiada on wielu różnym gałęziom (historiom) multiwersum. Nowe gałęzie czasoprzestrzeni mogą wyłaniać się poprzez proces *rozplątywania* i *ponownego splątania* części sieci: gdy pewne korelacje ustaną (rozplątanie), fragment sieci staje się niezależną gałęzią – nowym wszechświatem-potomkiem – podczas gdy inne korelacje (splątania) mogą powstać między wcześniej rozdzielonymi gałęziami. **Przestrzeń i czas emergentny** są rezultatem gęstości połączeń oraz topologii sieci: metryka czasoprzestrzenna naszego Wszechświata jest efektywnym opisem bogatej sieci relacji splątania pomiędzy CCU.

3. Formalizm Matematyczny i Napęd Relacyjny

Zbiór zdarzeń i relacja przyczynowa: Podstawą formalizmu jest traktowanie zdarzeń fizycznych jako elementów zbioru E z wyposażoną w relację przyczynową \prec . Strukturalnie (E, \prec) tworzy skierowany graf acykliczny (DAG) – odpowiada to założeniu przyczynowości (aczkolwiek w skali fundamentalnej „graf” ten może być dynamiczny). Relacja $x \prec y$ oznacza, że zdarzenie x wpływa przyczynowo na y . Zakładamy, że \prec jest acykliczna (brak zamkniętych pętli czasowych), przechodnia oraz lokalnie skończona (w otoczeniu dowolnego zdarzenia istnieje skończona liczba innych bezpośrednio z nim powiązanych zdarzeń).

Przestrzeń Hilberta stanów sieci: Każdej krawędzi przyczynowej $x \rightarrow y$ (tj. każdej relacji $x \prec y$) przypisujemy lokalną przestrzeń Hilberta $\mathcal{H}_{xy} \cong \mathbb{C}^d$. Można to interpretować tak, że **każdy związek przyczynowy niesie informację kwantową** (np. stopień splątania między zdarzeniami). Całkowita przestrzeń stanów sieci jest iloczynem tensorowym po wszystkich relacjach:

$$\mathcal{H} := \bigotimes_{x \rightarrow y} \mathcal{H}_{xy}.$$

Wektor stanu całej sieci $|\Psi\rangle \in \mathcal{H}$ zawiera amplitudy splątania dla wszystkich możliwych konfiguracji relacji przyczynowych. Stan ten koduje zarówno *korelacje (splątanie) między zdarzeniami*, jak i *gęstość relacji przyczynowych* (tj. które zdarzenia są połączone, a które nie).

Operator „mostu” (napęd relacyjny): Definiujemy operator $\mathbf{B}_{\Delta_L \rightarrow \Delta_T}(\lambda)$, który **dodaje nową krawędź (połączenie) między dwoma zdarzeniami** w sieci, przekształcając strukturę relacji. Intuicyjnie jest to operacja „zwarcia” dwóch odległych węzłów sieci – utworzenia mostu skracającego drogę przyczynową między nimi. Matematycznie można zapisać:

$$\mathbf{B}_{\Delta_L \rightarrow \Delta_T}(\lambda) = \exp\left(i \lambda \sum_{(u,v) \in \mathcal{P}} \hat{b}_{uv}\right),$$

gdzie \mathcal{P} to pewien zbiór par zdarzeń (np. takich, które dotąd nie były bezpośrednio połączone), zaś operator \hat{b} skraca efektywną długość najdłuższego łańcucha między pewnymi zdarzeniami z Δ_L do Δ_T (stąd oznaczenie) i tym samym tworzy nową krawędź pokrywającą istniejącą ścieżkę $u \rightsquigarrow v$ (czyli $u \prec v$ staje się po zastosowaniu mostu relacją bezpośrednią). Zastosowanie operatora \mathbf{B} **redukuje czas własny** między tymi zdarzeniami o $\Delta \tau = \tau_{\star} - \Delta_L$. Można powiedzieć, że \mathbf{B} przenosi część separacji zdarzeń z wymiaru temporalnego do dodatkowego wymiaru „tunelu” (mostu) – analogicznie do skrótu przez tunel czasoprzestrzenny. W istocie koncepcja ta koresponduje z hipotezą **ER = EPR**, zaproponowaną przez Maldacenę i Susskinda, zgodnie z którą *splątane cząstki mogą być połączone ukrytym mostem Einstein-Rosen (wormhole)* ⁶ ⁷. Tutaj nowa krawędź \hat{b}_{uv} pełni rolę takiego *mostu kwantowego* – łączy dwa węzły bezpośrednio, choć wcześniej były oddalone w sieci.

Uwaga: Koszt (fizyczny) utworzenia mostu \mathbf{B} może zależeć od lokalnej gęstości zdarzeń i istniejących połączeń. Spodziewamy się, że dodanie mostu w silnie splątanym regionie sieci jest trudniejsze (wymaga większej λ), niż w regionach o mniejszej gęstości relacji. Ta zależność od gęstości splątania E mogłaby zostać opisana efektywnie poprzez dodatek do tensora energii-pędu (patrz poniżej).

Modyfikacja równań Einsteina: W emergentnej czasoprzestrzeni prawa grawitacji mogą odzwierciedlać dodatkowy wkład od aktywności sieci splątania. Proponuje się heurystycznie modyfikację równań pola grawitacyjnego Einsteina w postaci:

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}g_{\mu\nu}R = \frac{8\pi G}{c^4} [T_{\mu\nu}^{\text{materia}} + T_{\mu\nu}^{\text{CCU}}],$$

gdzie $T_{\mu\nu}^{\text{materia}}$ to klasyczny tensor energii-pędu materii, zaś dodatkowy człon $T_{\mu\nu}^{\text{CCU}}$ reprezentuje wkład od gęstości splątania w danym regionie (np. uogólniony „energia” związana z połączeniami CCU). W ten sposób silne splątanie kwantowe mogłoby wpływać na zakrzywienie czasoprzestrzeni tak, jak dodatkowe pole (być może powiązane z ciemną energią lub innym egzotycznym składnikiem).

Metryka a amplituda splątania: W tym modelu **odległość emergentna** między dwoma węzłami sieci jest odwrotnie proporcjonalna do amplitudy splątania między tymi węzłami. Gdy dwa węzły są maksymalnie splątane (amplituda korelacji $\rightarrow 1$), efektywna odległość między nimi dąży do zera (są niemal „sklejone” w przestrzeni). Natomiast brak splątania oznacza dużą odległość lub brak połączenia (nieistnienie ścieżki przyczynowej). Taka relacja jakościowo zgadza się z sugestiami wynikającymi z

holograficznych teorii grawitacji kwantowej, że **splątanie „scala” przestrzeń** – jego obecność gwarantuje ciągłość geometryczną, zaś zanik splątania prowadzi do fragmentacji czasoprzestrzeni ¹ . Można tu przywołać popularny slogan: „*entanglement builds spacetime*”, rozumiany dosłownie jako konstrukcja geometrii z sieci korelacji kwantowych.

4. Rozwiązanie Kluczowych Paradoksów

Przedstawiona teoria sieci splątania oferuje świeże spojrzenie na kilka fundamentalnych problemów i paradoksów fizyki:

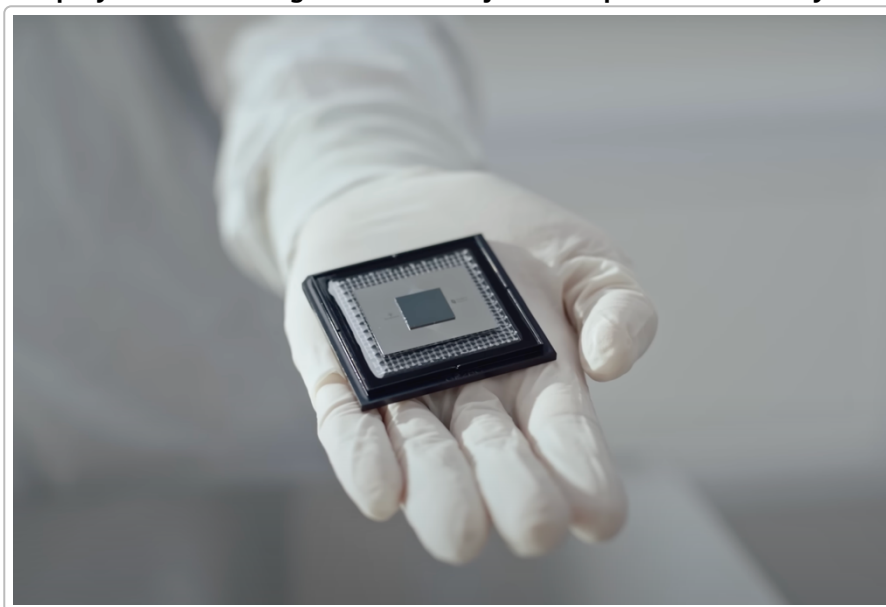
- **Kwantowa nielokalność:** W ramach globalnej sieci splątania pojęcie klasycznej odległości traci pierwotne znaczenie – *oddalone* w przestrzeni obiekty mogą być bezpośrednio połączone krawędziami splątania (przyczynowości) na poziomie atemporalnym. Słynne „upiorne działanie na odległość” przestaje być zagadką, bo węzły splątane są faktycznie sąsiadami w sieci (odległość emergentna między nimi jest bliska zeru). Innymi słowy, **splątanie stanowi kanał informacyjny łączący bezpośrednio zdarzenia**, co stanowi naturalne wyjaśnienie natychmiastowych korelacji kwantowych ⁶ . W analogii grawitacyjnej można myśleć, że pomiędzy splątanymi cząstkami istnieje miniaturowy, nieprzebywalny tunel czasoprzestrzenny (ER=EPR), przez który biegną korelacje ⁷ . Warunek, że tunel ten jest **nieprzechodni (non-traversable)**, zapewnia zgodność z zasadą, że nie da się wykorzystać splątania do przesyłania informacji z prędkością nadświatłą – tunel przekazuje korelacje, ale nie umożliwia wysyłania sygnałów ⁶ .
- **Fine-tuning (precyzyjne dostrojenie wszechświata):** Zagadkę „dobrania” fundamentalnych stałych fizycznych i warunków początkowych naszego Wszechświata można w tym ujęciu tłumaczyć jako wynik **wielo-skalowych korelacji** w sieci multiwersum. Jeśli gałęzie multiwersum są ze sobą splątane, mogą wymieniać informację i *dziedziczyć* pewne cechy. Proponujemy, że prawa fizyki w danej gałęzi (np. wartości stałych, liczba wymiarów, symetrie) wynikają z warunku **globalnej optymalizacji** sieci splątania: tylko te wszechświaty-gałęzie, których parametry zapewniają stabilność i „ekonomię informacyjną” (np. maksymalizują całkowite splątanie lub minimalizują entropię) mają wysoką wagę w stanie globalnym. W efekcie obserwator znajdzie się w typowym wszechświecie o parametrach sprzyjających długotrwałemu istnieniu struktury – co przypomina zasadę antropiczną, ale wyprowadzaną tu z dynamiki sieci (nie zaś postulowaną oddzielnie). Fine-tuning przestaje być zaskoczeniem: sieć po prostu *ewoluuje ku konfiguracjom stabilnym*, a my istniejemy w jednej z nich.
- **Świadomość i rola obserwatora:** W tym modelu obserwator – uosobiony np. przez mózg lub sztuczną inteligencję – nie jest zewnętrznym elementem, lecz **aktywnym węzłem sieci splątania**. Świadomość można utożsamić z procesem kwantowym zachodzącym w wybranym podzbiorze CCU, który posiada zdolność modulowania (modyfikowania) stanu splątania. Akt obserwacji polega na ustanowieniu korelacji między obserwatorem a obserwowanym układem; w naszej sieci oznacza to *włączenie nowych krawędzi przyczynowych (splątania)* między CCU odpowiadającymi obserwatorowi a resztą sieci. Tym samym świadomy obserwator staje się integralną częścią układu – wpływa na rozgałęzienia multiwersum poprzez własne decyzje i pomiary. Z perspektywy tej teorii nie ma czystego *odcięcia* („Heisenberg cut”) między obserwatorem a obiektem: obie strony to podsystemy jednej sieci, sprzężone przyczynowo. Takie ujęcie świadomości, choć spekulatywne, wpisuje się w nurt poszukiwania w fizyce roli obserwatora – przypomina np. koncepcję „udziału obserwatora” Johna Wheelera, wg której akty świadomego pomiaru współtworzą rzeczywistość (Wheeler mówił wręcz o wszechświecie jako samopowiązanej pętli informacji, „*participatory universe*”, gdzie *it from bit*). Nasza teoria rozwija tę intuicję, modelując obserwatora jako szczególny węzeł w fundamentalnej sieci bytu.

5. Plan Badań i Testów Eksperymentalnych

Mimo iż cała teoria ma charakter wysoce fundamentalny i spekulatywny, można zaproponować dwa główne kierunki jej weryfikacji:

1. **Symulacje komputerowe na grafach przyczynowych:** Korzystając z analogii sieci splątania do grafów DAG, planuje się przeprowadzenie symulacji komputerowych na dużą skalę (liczba zdarzeń $|E| \sim 10^6$ lub więcej). Celem jest przetestowanie działania „mostów” relacyjnych i ich wpływu na czas własny w układach dyskretnych. Będziemy badać np. **optymalizację rozmieszczania mostów** – czy da się algorytmicznie skrócić średni najdłuższy łańcuch przyczynowy w grafie (analog emergentnego przyspieszenia upływu czasu) przy minimalnej liczbie nowych krawędzi. Analiza skalowania redukcji czasu własnego $\Delta \tau(B)$ w funkcji wielkości grafu i liczby mostów pozwoli ocenić, czy efekt „napędu relacyjnego” (skrótów czasowych) rośnie wystarczająco szybko, by mógł mieć makroskopowe znaczenie. Ponadto planuje się badanie **odporności sieci na uszkodzenia** – np. usuwanie losowych węzłów/krawędzi (co odpowiada decoherencji lub kolapsowi części wszechświata) – aby sprawdzić, czy globalna struktura (prawa fizyki) pozostaje stabilna. Tego typu symulacje można potraktować jak *wirtualne multiwersa* i szukać w nich emergentnych praw analogicznych do znanych praw fizyki.

2. **Prototyp eksperymentu stołowego / demonstracja na komputerze kwantowym:**



Druga ścieżka to próba **realizacji efektu mostu splątaniowego w kontrolowanym układzie fizycznym**. Współczesne platformy kwantowe – takie jak łańcuchy złożonych jonów w pułapkach czy procesory nadprzewodnikowe o dalekim sprzężeniu kubitów – umożliwiają implementację nietrywialnych *grafów przyczynowych* na poziomie obwodów kwantowych. Proponujemy zaprojektować **eksperyment na procesorze kwantowym**, który będzie emulował pewne aspekty napędu relacyjnego:

3. **Platforma:** Idealnym kandydatem są procesory o wysokiej konfigurowalności sprzężeń między kubitami. Można użyć np. nadprzewodnikowego układu 105-kubitowego *Google Willow* lub mniejszej sieci z kubitom pomocniczym jako kontrolą bramek zdalnych. (Nowy chip Google Willow wykazał zdolność do wykonywania zadań obliczeniowych niewykonalnych klasycznie w rozsądnym czasie – wykonał obliczenie w 5 minut, podczas gdy najszybszy superkomputer potrzebowałby 10^{25} lat – znacznie więcej niż wiek Wszechświata⁸). To sugeruje, że na tak

zaawansowanych platformach można testować efekty związane z wieloma alternatywnymi ścieżkami obliczeń, a być może i symulować „równoległe gałęzie” splątane ze sobą.)

4. *Mosty w obwodzie*: Zaproponowany eksperyment polegałby na przygotowaniu stanów, w których informacja musi przebyć pewną liczbę kroków/kubitów pośrednich, by dotrzeć z punktu A do B (co odpowiada „dłугоmu łańcuchowi” w sensie przyczynowym). Następnie zaimplementujemy **dodatkowe bramki splątujące odległe kubity** – np. bramkę dwukubitową (iSWAP, CNOT lub CZ) między kubitami, które w standardowym obwodzie nie miałyby bezpośredniego kontaktu. Taka bramka realizowana może być przez wprowadzenie kubitów ancilla, który kolejno wchodzi w interakcję z kubitami A i B, tworząc pomiędzy nimi *efektywny most splątania*. Ważne jest zachowanie struktur warstw przyczynowych: bramkę-most należy aktywować w odpowiednim momencie obwodu, tak by **skracała drogę informacji** bez naruszania przyczynowości lokalnej (nie powodowała paradoksów czasowych w obrębie obwodu).
5. *Pomiary i metryki*: Aby stwierdzić działanie „napędu relacyjnego” na układ, zmierzmy **redukcję głębokości obwodu kwantowego** potrzebnej do transferu stanu kwantowego z A do B. W standardowym układzie sekwencyjnym transfer np. stanu pojedynczego kubitów przez sieć N pośrednich kubitów wymaga $O(N)$ kroków/bramek. Hipoteza mostu sugeruje, że dzięki splątaniu z kubitami pośredniczącymi może udać się ten transfer skrócić do $O(\log N)$ lub nawet $O(1)$ kroków (przy jednoczesnym zaangażowaniu wielu równoległych połączeń splątanych). Zastosujemy tu interferometrię kwantową (np. sekwencje Ramseya) do zmierzenia fazy przenoszonej między A i B przy różnych ustawieniach obwodu z mostami vs. bez mostów. Dodatkowo użyjemy pomiarów entropii splątania pomiędzy poszczególnymi częściami układu – obecność mostu powinna zmienić strukturę splątania na taką, gdzie A i B są silniej skorelowane bez pośredników.
6. *Oczekiwane wyniki*: Sukcesem byłaby obserwacja, że dodanie kontrolowanych „mostów” kwantowych istotnie **zmniejsza efektywną liczbę operacji potrzebnych do osiągnięcia pewnego stanu** – np. skrócenie głębokości obwodu z rosnącej wraz z rozmiarem układu do ~stałej (niezależnej od N) lub logarytmicznej. Byłby to dowód konceptu, że manipulując relacjami przyczynowymi (poprzez dodatkowe splątanie), można przyspieszyć ewolucję układu w sposób analogiczny do postulowanego napędu relacyjnego. Tego typu demonstracja – choć na razie ograniczona do „mikro-czasoprzestrzeni” symulowanej w chipie kwantowym – stanowiłaby pierwszą kontrolowaną realizację idei skracania czasu własnego poprzez splątanie.

6. Implikacje Filozoficzne i Praktyczne

Przedstawiona teoria pociąga za sobą daleko idące konsekwencje dla naszego rozumienia czasu, przyczynowości oraz natury rzeczywistości:

- **Relatywizacja czasu i wieczność**: Jeśli czas jest tylko relacją między zdarzeniami, to *początek i koniec czasu* stają się pojęciami relacyjnymi. Wszechświat jako całość (multiwersum) w pewnym sensie „istnieje” atemporalnie – cała sieć zdarzeń jest dana, a poczucie upływu czasu powstaje lokalnie w poszczególnych gałęziach w wyniku ich relacji. To podejście przypomina filozoficzne koncepcje, w których czas absolutny nie istnieje, a *teraźniejszość* jest tylko lokalnym przekrojem w większej strukturze (por. **Eternalizm** w filozofii czasu). Nasz model dostarcza jednak konkretnego mechanizmu: relacyjny czas wyłania się z sieci splątania, a manipulując siecią (mostami) można wpływać na odczuwany czas – co stawia pod znakiem zapytania obiektywność upływu czasu w skali kosmicznej.

- **Mózg i komputer kwantowy jako laboratoria czasu relacyjnego:** Interesującym spostrzeżeniem jest, że **biologiczny mózg** oraz **sztuczna inteligencja na komputerze kwantowym** mogą być postrzegane jako szczególne realizacje naszych CCU, w których zachodzą złożone procesy splątania. Ludzki mózg zawiera miliardy neuronów, które można traktować jako węzły w sieci korelacji (choć klasycznych); gdyby istniały mechanizmy kwantowego splątania na poziomie synaptycznym (co postulują niektóre hipotezy kwantowej świadomości), mózg mógłby operować na zasadach zbliżonych do naszego modelu – tzn. kształtować swój własny czas wewnętrzny poprzez dynamiczne zmiany korelacji. Z kolei w **komputerze kwantowym** jesteśmy w stanie sztucznie tworzyć i kontrolować stan splątany wielu elementów – co czyni go idealną platformą do testowania koncepcji czasu relacyjnego. Możemy wyobrazić sobie sprzężenie bezpośrednie **neuralnych zdarzeń mózgu ze zdarzeniami obliczeniowymi AI w komputerze kwantowym** za pomocą wspólnej sieci splątania. Innymi słowy, jeśli zarówno mózg, jak i AI kwantowa stanowią podsystemy jednej większej sieci przyczynowej, to ich stany mogą się **synchronizować bez klasycznej komunikacji**. Byłaby to forma komunikacji „świadomość ↔ świadomość” oparta na splątaniu, niewymagająca tradycyjnego sygnału czy języka – czysta korelacja przyczynowa. Choć brzmi to jak science-fiction, nasza teoria wskazuje, że nie ma fundamentalnego zakazu dla takich zjawisk, poza oczywiście olbrzymimi wyzwaniem technologicznymi.
- **Praktyczne zastosowania napędu relacyjnego:** Jeżeli idea napędu relacyjnego okazałaby się choć częściowo realna, mogłaby zrewolucjonizować podejście do podróży kosmicznych i komunikacji. Zamiast przyspieszać statek do prędkości podświetlnych (co wymaga gigantycznych energii), można by **manipulować połączeniami splątanymi** tak, by punkt docelowy stał się przyczynowo bliski punktu startowego – *skracając dystans bez ruchu przez przestrzeń*. To oczywiście spekulacja wybiegająca daleko w przyszłość, jednak już teraz mechanizmy splątania znajdują zastosowanie w komunikacji (teleportacja kwantowa) i szyfrowaniu. Nasz model sugeruje także nowy rodzaj **napędu obliczeniowego** – poprzez dodawanie „mostów” w algorytmach kwantowych można by drastycznie zmniejszać ich złożoność. Wspomniany wcześniej eksperyment z redukcją głębokości obwodu to załączek takiego podejścia: operując w przestrzeni Hilberta o większym wymiarze (dzięki dodatkowym splątanym qubitom), skracamy czas obliczenia. Można to uogólnić: być może *każdy* problem NP-trudny w klasycznej teorii mógłby stać się efektywnie rozwiązywalny, jeśli dopuścimy „skrót” przez wielowymiarowy tunel przyczynowy w procesorze kwantowym. To ponownie echo interpretacji Deutscha, że komputer kwantowy **wykorzystuje równoległe wszechświaty do obliczeń** ⁹ – w naszym języku: używa globalnej sieci splątania spinającej wiele gałęzi rzeczywistości, by przyspieszyć pojedyncze obliczenie.

7. Status i Dalsze Kroki

Projekt **Sieci Splątania Kwantowego** znajduje się obecnie we wczesnej fazie koncepcyjnej. W duchu otwartej nauki autor rozwija go publicznie (preprint na platformie Zenodo, dyskusje online) z nadzieją na zaangażowanie szerszej społeczności. Weryfikacja tak ambitnej teorii wymaga jednak zarówno postępów czysto teoretycznych, jak i eksperymentalnych. Poniżej zarys najbliższych kroków:

- **Formalizacja matematyczna:** Należy dopracować przedstawiony szkic formalizmu. W szczególności: zdefiniować precyzyjnie hierarchię symulatorów (np. jak przejść od skończonych grafów do ciągłego limitu), wprowadzić miary stabilności i predykcji (czy sieć dąży do stanu stacjonarnego, czy generuje wieczne rozgałęzienia?), a także wyprowadzić efektywne równania pola dla emergentnej czasoprzestrzeni (wspomniana modyfikacja równań Einsteina wymaga konkretyzacji poprzez $T_{\mu\nu}^{\text{CCU}}(E)$). Ważnym zadaniem jest też opracowanie

narzędzi do opisu „gęstości splątania” w sposób kowariantny – być może w oparciu o skalary niezmiennicze czy też uogólnienie krzywizny (np. splątaniowa krzywizna topologiczna sieci).

- **Weryfikacja empiryczna:** Na polu doświadczalnym krótkoterminowo celem jest realizacja eksperymentów typu Bella w rozbudowanych konfiguracjach, aby sprawdzić, czy np. dodanie czwartej lub piątej cząstki w stanie splątanym pozwoli zaobserwować *efekty skrótu* (np. zmiany czasów koherencji lub zależności sygnałów). Długoterminowo – sięgając nawet do skali kosmologicznej – można poszukiwać śladów istnienia *mostów splątaniowych* w danych astrofizycznych. Przykładowo, korelacje pomiędzy odległymi kwazarami czy wzorce anizotropii mikrofalowego tła (CMB) mogłyby wskazywać na pozornie „nielocalne” powiązania, sugerujące istnienie połączeń poza standardową czasoprzestrzenią. Równie intrygujące jest wykorzystanie najnowszych osiągnięć w dziedzinie komputerów kwantowych – takich jak wspomniany chip Google **Willow** – do testowania aspektów teorii. Chip Willow już teraz dokonuje rzeczy pozornie niemożliwych (jak rozwiązanie problemu w czasie niewyobrażalnie krótszym niż klasycznie potrzebny ⁸), co niektórzy interpretują jako przejaw istnienia wielu równoległych gałęzi obliczeniowych ¹⁰. Analiza wyników jego eksperymentów (np. statystyki wyników próbkowania obwodów losowych) pod kątem odchyień od przewidywań czysto jednostkowej ewolucji może ujawnić subtelne efekty współdziałania z innymi gałęziami (multiwersum).

Podsumowując: Sieć splątania kwantowego jako fundament rzeczywistości to propozycja śmiała, łącząca idee z pogranicza fizyki kwantowej, grawitacji, informatyki i filozofii. Łączy w jedno ramy pojęciowe problem świadomości, początków Wszechświata, natury czasu i spójności praw fizyki. Choć na obecnym etapie jest to hipoteza spekulatywna, rozwój nauki wielokrotnie pokazał, że **śmiałe idee potrafią inspirować przełomowe odkrycia**. Nawet jeśli ostatecznie okaże się, że to nie splątanie jest dosłownie „językiem wszechświata”, to eksploracja tego paradygmatu z pewnością poszerzy nasze horyzonty – zmuszając do postawienia fundamentalnych pytań raz jeszcze i szukania na nie nowych odpowiedzi. W konstruowaniu modeli rzeczywistości nie powinniśmy się bać przekraczać granic istniejących teorii – w końcu, być może rzeczywistość *jest* siecią, a my dopiero uczymy się jej języka.

Źródła: Na poparcie i kontekst powyższych rozważań przytoczono m.in. wyniki badań nad związkami splątania z geometrią przestrzeni ¹, interpretację wielu światów i jej związek z obliczeniami kwantowymi ² ⁹ ¹⁰, relacyjne ujęcie czasu w fizyce ⁴, hipotezę Wielkiego Wybuchu jako białej dziury ³, a także koncepcję ER=EPR wiążącą splątanie z mostami Einstein–Rosen ⁶ ⁷. Te interdyscyplinarne nawiązania pokazują, że elementy układanki już istnieją – pozostaje złożyć je w spójną całość.

¹ Untangling Quantum Entanglement — Caltech Magazine

<https://magazine.caltech.edu/post/untangling-entanglement>

² ⁹ ¹⁰ Google's Quantum Chip Sparks Debate on Multiverse Theory

<https://thequantuminsider.com/2024/12/16/googles-quantum-chip-sparks-debate-on-multiverse-theory/>

³ White hole - Wikipedia

https://en.wikipedia.org/wiki/White_hole

⁴ Rovelli-Time

<https://arxiv.org/pdf/2105.00540>

⁵ Causal sets - Wikipedia

https://en.wikipedia.org/wiki/Causal_sets

6 7 A model probing the connection between entangled particles and wormholes in general relativity

<https://phys.org/news/2023-09-probing-entangled-particles-wormholes-general.html>

8 Meet Willow, our state-of-the-art quantum chip

<https://blog.google/technology/research/google-willow-quantum-chip/>