

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

Autor: Krzysztof Włodzimierz Banasiewicz

Afiliacja: Independent Researcher, The Hague, Netherlands

Data: 29 sierpnia 2025

## Abstrakt

Proponujemy hipotezę, zgodnie z którą fundamentalną strukturą rzeczywistości jest globalna sieć splątania kwantowego spinająca wielość gałęzi (światów) w sensie interpretacji wielu światów. Wprowadzamy pojęcie Jednostek Przyczynowo-Kontrolnych (CCU) jako elementarnych generatorów korelacji, z których emergentnie wyłaniają się: (i) czasoprzestrzeń jako skuteczny opis makroskopowy, (ii) relacyjny czas rozumiany jako porządek przyczynowy zdarzeń oraz (iii) procesy poznawcze obserwatorów. Proponujemy fenomenologiczny formalizm dynamiki sieci, obejmujący operator mostu relacyjnego, który modyfikuje lokalną strukturę przyczynową poprzez dodawanie połączeń splątania i efektywne skracanie interwałów czasowych w grafie przyczynowym. Pokazujemy w jaki sposób dodatkowy wkład tensora energii-pędu pochodzący od CCU może być traktowany jako źródło w równaniach Einsteina, w ścisłym sensie efektywnej teorii pola. Zarysowujemy program badań składający się z: (i) symulacji dużych grafów przyczynowych, (ii) eksperymentów na procesorach kwantowych będących analogową symulacją postulowanej dynamiki (proof-of-concept) oraz (iii) analiz astrofizycznych korelacji. Hipoteza ta wpisuje się w nurt traktujący splątanie jako „klej przestrzeni” i łączy idee holograficzne/ER=EPR z dyskretnymi modelami przyczynowymi. Potencjalne implikacje obejmują nowe algorytmy kwantowe, komunikację opartą na korelacjach oraz koncepcję napędu relacyjnego, który nie wymaga translacji w przestrzeni, lecz rekonfiguracji relacji przyczynowych. Na tym etapie model jest spekulatywny; celem pracy jest sformułowanie spójnego formalizmu i wskazanie testowalnych przewidywań.

## 1. Wprowadzenie: założenia i motywacje

Unifikacja mechaniki kwantowej i ogólnej teorii względności pozostaje otwartym wyzwaniem. Rosnąca liczba prac sugeruje, że splątanie odgrywa kluczową rolę w budowaniu geometrii i grawitacji efektywnej, co bywa ujmowane metaforą „kleju przestrzeni”. W tej pracy proponujemy hipotezę, w której globalna sieć splątania stanowi prymarną strukturę rzeczywistości, a czasoprzestrzeń jest opisem efektywnym rekonstruowanym z porządku przyczynowego i korelacji. Wprowadzamy CCU jako węzły sieci korelacji; obserwatorzy są szczególnym podzbiorem CCU sprzężonym z procesami decyzyjnymi i akwizycją informacji. Przyjmujemy relacyjną koncepcję czasu: czas to porządek na zbiorze zdarzeń, a nie absolutna zmienna globalna. W duchu idei ER=EPR oraz konstrukcji holograficznych, nowe połączenia splątania mogą mieć interpretację geometryczną jako skracanie efektywnych odległości w sensie przyczynowym.

## 2. Architektura hipotezy: CCU i sieć splątania

Niech  $E$  oznacza zbiór zdarzeń z relacją przyczynową „ $<$ ”. Para  $(E, <)$  tworzy skierowany graf acykliczny (DAG) w sensie teorii zbiorów przyczynowych. Węzły (zdarzenia) zgrupowane w CCU pełnią rolę elementarnych generatorów korelacji kwantowych. Stan CCU traktujemy fenomenologicznie jako superpozycję konfiguracji pól i zasobów splątania; dynamika CCU prowadzi do powstawania/zanikania krawędzi w grafie  $(E, <)$  oraz rozdzielania się (branchingu) gałęzi w sensie interpretacji wielu światów.

## 3. Formalizm: przestrzeń Hilberta i most relacyjny

Każdej krawędzi  $x \rightarrow y$  przypisujemy lokalną przestrzeń Hilberta  $H_{xy}$  z efektywnym hamiltonianem interakcji. Globalna przestrzeń stanów ma strukturę  $H = \otimes_{\{x \rightarrow y\}} H_{xy}$ . Wprowadzamy operator  $m$  relacyjnego działający na wybranym zbiorze par  $P$ :  $B_{\{\Delta L \rightarrow \Delta T\}}(\lambda) = \exp(i \lambda \sum_{\{(u,v) \in P\}} \delta_{\{uv\}})$ , gdzie  $\delta_{\{uv\}}$  tworzy (lub wzmacnia) korelacje splątania między  $u$  i  $v$ , a  $\lambda$  jest parametrem fenomenologicznym. Intuicyjnie  $\lambda$  jest miarą kosztu informacyjnego/energii koniecznej do ustanowienia połączenia. Wkład CCU do grawitacji opisujemy efektywnie przez dodatkowy tensor energii-pędu w równaniach pola Einsteina.

## 4. Paradoksy i problemy pojęciowe

Nielokalność: splątane węzły są sąsiadami w sensie relacji przyczynowo-informacyjnej, co eliminuje intuicyjny paradoks „działania na odległość”. Fine-tuning stałych: parametry efektywnej teorii mogą wynikać z globalnej optymalizacji funkcjonału sieciowego (np. minimalizacji kosztu informacyjnego przy zachowaniu stabilności). Rola obserwatora: obserwator jako CCU wpływa na rozgałęzienia poprzez wybór operacji pomiarowych i kontroli zasobów splątania.

## 5. Program badań i testów

(A) Symulacje grafów przyczynowych: generowanie dużych DAG ( $|E| \sim 10^6$ ); badanie wpływu operatora  $B_{\{\Delta L \rightarrow \Delta T\}}$  na rozkłady długości łańcuchów i średnicę grafu; estymacja  $L(S_{\text{ent}})$  metodą uczenia reprezentacji. (B) Eksperymenty kwantowe (symulacja analogowa): implementacja  $\hat{b}_{\{uv\}}$  jako wielokubitowych bramek entanglujących na NISQ/FTQC; pomiary entropii splątania i redukcji głębokości obwodu; wyniki interpretujemy jako proof-of-concept postulowanej dynamiki, a nie dosłowną realizację mostu czasoprzestrzennego. (C) Dane astrofizyczne i kosmologiczne: poszukiwanie anomalii korelacyjnych (np. w CMB, rozkładach kwazarów) oraz ograniczeń obserwacyjnych na wkład  $T^{\{(CCU)\}}_{\{\mu\nu\}}$ .

## 6. Implikacje i zastosowania

Czas relacyjny: czas wyłania się jako lokalny porządek zdarzeń. Napęd relacyjny: postulujemy możliwość rekonstrukcji ścieżki przyczynowej przez modyfikację połączeń splątania (rekonfiguracja grafu), co odpowiada skracaniu odległości przyczynowej między stanem początkowym a docelowym, przy zachowaniu braku sygnalizacji. Informatyka kwantowa: mosty relacyjne mogą prowadzić do nowych klas algorytmów i kompresji obliczeń.

## 7. Status, ograniczenia i dalsze kroki

Formalizm ma charakter hipotetyczny. Wyzwania: mikrofizyczna interpretacja  $\lambda$ ; operacyjna definicja  $S_{\text{ent}}$  w warunkach kosmologicznych; dobrze określone równania ruchu dla pola  $\eta$  i potencjału  $V$ ; obserwable odróżniające model od standardowych paradygmatów. Dalsze kroki: implementacje symulacyjne, eksperymenty PoC na procesorach kwantowych, metaanalizy danych astrofizycznych.

## Wnioski

Zarysowaliśmy spójny, choć fenomenologiczny, program badawczy, w którym splątanie pełni rolę konstytutywną dla struktury przyczynowej i efektywnej geometrii. Operator mostu relacyjnego oraz ansatz na  $T^{\{(CCU)\}}_{\{\mu\nu\}}$  tworzą ramę do formułowania testowalnych przewidywań. Niezależnie ostatecznej weryfikacji, hipoteza ta oferuje jednolite ujęcie nielokalności, emergencji czasu i możliwej inżynierii relacyjnej (napędu relacyjnego).

**Wybrane równania**

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

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

$$B_{\Delta L \rightarrow \Delta T}(\lambda) = \exp\Big(i\lambda \sum_{(u,v) \in \mathcal{P}} \hat{b}_{uv}\Big)$$

$$R_{\mu\nu}-\frac{1}{2}g_{\mu\nu}R=\frac{8\pi G}{c^4}\left(T_{\mu\nu}^{(m)}+T_{\mu\nu}^{(CCU)}\right)$$

$$T_{\mu\nu}^{(CCU)} = \alpha \nabla_\mu \eta \nabla_\nu \eta - g_{\mu\nu} V(\eta), \; \eta \equiv f(S_{ent})$$

## **Bibliografia**

1. J. Preskill, "Entanglement and the Nature of Space," Caltech Magazine, 2018.
2. H. Everett, "Relative State Formulation of Quantum Mechanics," Reviews of Modern Physics 29, 454–462 (1957).
3. J. Maldacena, L. Susskind, "Cool horizons for entangled black holes," Fortschritte der Physik 61, 781–811 (2013).
4. C. Rovelli, Quantum Gravity, Cambridge University Press (2004).
5. S. W. Hawking, "Particle Creation by Black Holes," Communications in Mathematical Physics 43, 199–220 (1975).
6. M. van Raamsdonk, "Building up spacetime with quantum entanglement," General Relativity and Gravitation 42, 2323–2329 (2010).
7. B. Swingle, "Entanglement renormalization and holography," Phys. Rev. D 86, 065007 (2012).
8. R. D. Sorkin, "Causal Sets: Discrete Gravity," Lectures on Quantum Gravity (2005); arXiv:gr-qc/0309009.