

# TUNELE CZASOPRZESTRZENNE I SPLĄTANIE KWANTOWE.

M. G. T. P.

Wydział Fizyki, Matematyki i Informatyki  
Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki

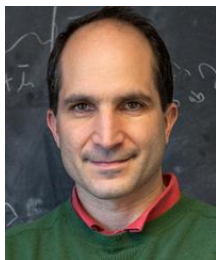
8 luty 2019

# Plan.

- 1 Motywacja.
- 2 TQFT i kreacja par.
- 3 2-kategorie.
- 4 Wnioski.
- 5 Bibliografia.

# Wprowadzenie.

W 2013 roku J. Maldacena i L. Susskind opublikowali pracę, w której zasugerowali zaskakujący związek między tunelami czasoprzestrzennymi a splątaniem kwantowym. Według autorów, jeśli dwa układy są ze sobą maksymalnie splątane to zawsze istnieje pomiędzy nimi tunel czasoprzestrzenny.



Rysunek: J. Maldacena

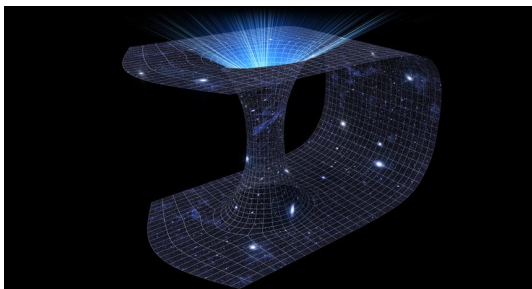


Rysunek: L. Susskind

# Tunel czasoprzestrzenny.

## Definicja

Tunelem czasoprzestrzennym nazywamy geometryczną strukturę łączącą dwa płaskie obszary czasoprzestrzeni.



Rysunek: Tunel czasoprzestrzenny.

## Definicja

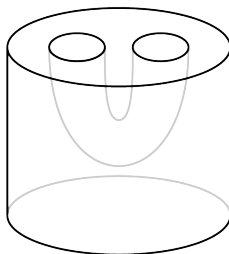
Stan splątany jest to rodzaj skorelowanego stanu kwantowego dwóch lub więcej układów kwantowych. Ma on niemożliwą w fizyce klasycznej cechę polegającą na tym, że stan całego układu jest lepiej określony niż stan jego części.

## Uwaga

Pojęcie stanu splątanego prowadzi do tzw. paradoksu EPR. Jeśli dwie cząstki tworzące singlet oddalimy od siebie i zmierzmy spin jednej z nich, dostaniemy informację także o spinie tej drugiej. Ponieważ stan każdej z nich przed pomiarem jest nieokreślony, a z mechaniki kwantowej nie wynika żadne opóźnienie, więc Einstein, Podolski i Rosen doszli do wniosku, że oznacza to natychmiastowe oddziaływanie z nieskończoną prędkością, co jest sprzeczne z teorią względności. Einstein nazwał to zjawisko „upiornym działaniem na odległość”.

## TQFT i kreacja par.

Związek między tunelami czasoprzestrzennymi a splątaniem kwantowym może zostać przeanalizowany w trójwymiarowej topologicznej kwantowej teorii pola. W teorii tej przestrzeń jest zwartą dwuwymiarową rozmaitością, natomiast czasoprzestrzeń jest zwartą trójwymiarową rozmaitością (dopuszczalny jest brzeg i rogi). W teorii tej cząstki mogą być opisywane jako defekty topologiczne.



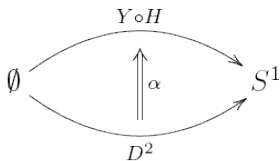
Rysunek: Kreacja par w 3d TQFT.

## 2-kategorie.

W teorii kategorii 2-kategoria to kategoria z "morfizmami między morfizmami". Pojęcie to może być użyte do opisu formowania się tunelu czasoprzestrzennego jak również procesu kreacji par.



Rysunek: Formowanie się tunelu czasoprzestrzennego.



Rysunek: 2-morfizm opisujący formowanie się tunelu czasoprzestrzennego.

$$\begin{array}{ccc} S^1 \sqcup S^1 & \xrightarrow{Y} & S^1 \\ \uparrow H & & \uparrow S^1 \times I \\ \emptyset & \xrightarrow{D^2} & S^1 \\ & & \uparrow \alpha \\ & & \emptyset \end{array}$$

**Rysunek:** Diagram przedstawia proces kreacji par w języku teorii kategorii.



## Wniosek

Diagram opisujący formowanie się tunelu czasoprzestrzennego jest taki sam jak diagram opisujący kreację par. W 3d TQFT gdy powstaje tunel czasoprzestrzenny to na jego końcach może pojawić się para cząstka - antycząstka dowolnego typu.

# Bibliografia.



J. Maldacena, L. Susskind.

Cool horizons for entangled black holes.

*arXiv:1306.0533*



John C. Baez, Jamie Vicary.

Wormholes and Entanglement.

*arXiv:1401.3416*