Przeszłość i przyszłość mechaniki kwantowej oraz grawitacji

Janek Kozicki

Politechnika Gdańska
Wydział Fizyki Technicznej i Matematyki Stosowanej
Instytut Fizyki i Informatyki Stosowanej
Zakład Fizyki Teoretycznej i Informatyki Kwantowej

Gdańsk, 7 październik 2025

Plan prezentacji

1. Wstęp
2. Mechanika Kwantowa
3. Grawitacja
4. Grawitacja Kwantowa w doświadczeniach
5. Teoria Grawitacji Kwantowej
6. Plany na przyszłość

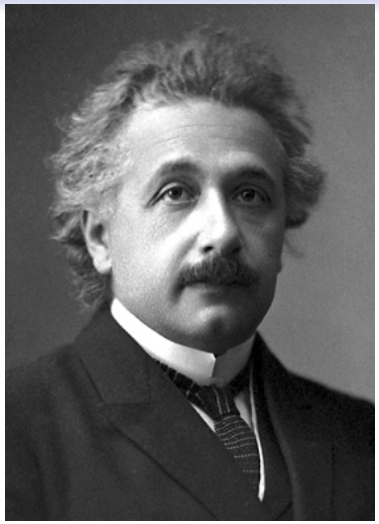
Stulecie Mechaniki Kwantowej

ONZ oraz UNESCO ogłosiły, że w roku 2025
świętujemy stulecie Mechaniki Kwantowej



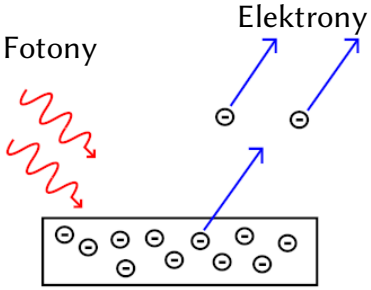
INTERNATIONAL YEAR OF
Quantum Science
and Technology

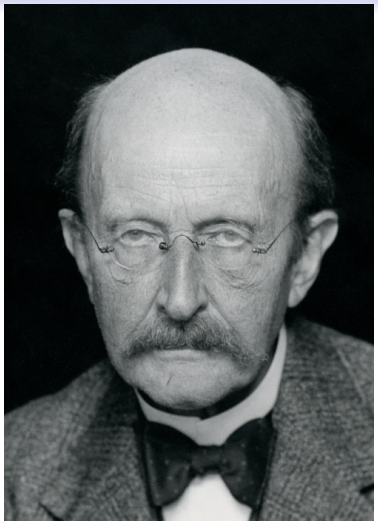
Mechanika Kwantowa — Opis mikroświata



Albert Einstein
(1879-1955)

Wyjaśnił efekt fotoelektryczny





Max Planck
(1858-1947)

Masa Plancka

$$m_P = \sqrt{\frac{\hbar c}{G}} = 22\mu g$$

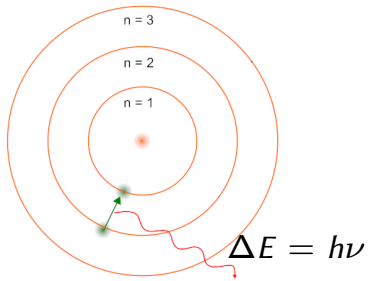
Najkrótsza długość Plancka

$$l_p = \sqrt{\frac{\hbar G}{c^3}} = 1,6 \times 10^{-35} \text{m}$$



Niels Bohr
(1885-1962)

Model atomowy





Werner Heisenberg
(1901-1976)

Relacje nieoznaczoności, że nie możemy zmierzyć dokładniej niż

$$\Delta x \cdot \Delta p \geq \frac{\hbar}{2}$$

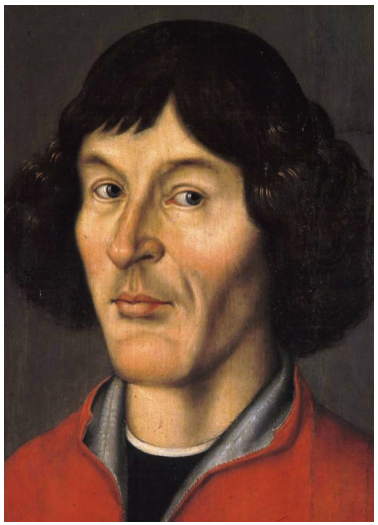


Erwin Schrödinger
(1887-1961)

Równanie Schrödingera

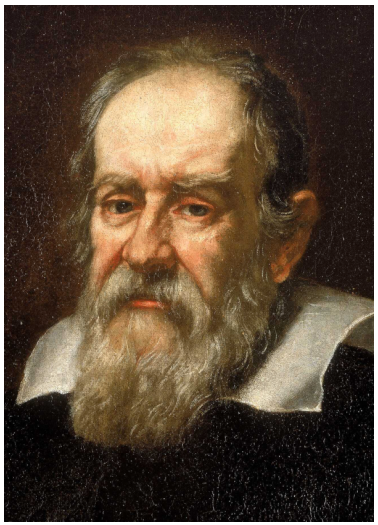
$$H\psi = E\psi$$

Pięćset lat Teorii Grawitacji – Ruch planet



Mikołaj Kopernik (1473-1543)

Heliocentryczny układ słoneczny



Galileo Galilei (1564-1642)

Badania nad przyspieszeniem grawitacyjnym



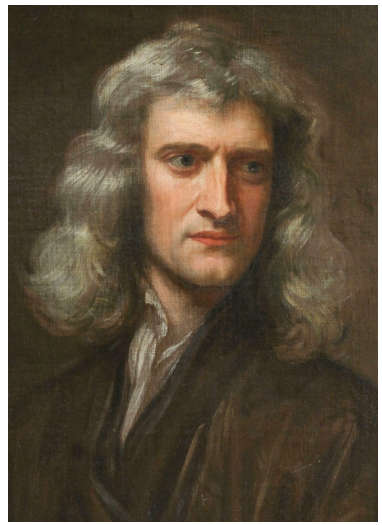
Johannes Kepler (1571-1630)

Trzy prawa Keplera opisujące ruch planet



Jan Heweliusz (1611-1687)

Obserwacje ruchu planet potwierdzające prawa Keplera (Gdańsk)



Isaac Newton (1643-1727)

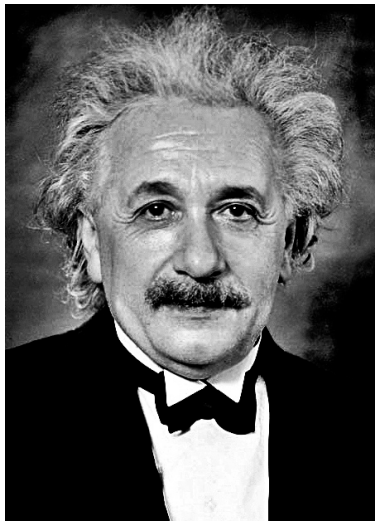
Uniwersalne prawo grawitacji Newtona

Tycho Brahe (1546-1601) Dokładne obserwacje ruchu planet

Badania nad grawitacją były kontynuowane...

Sto lat Ogólnej Teorii Względności – Grawitacja

Współczesny paradygmat opisu grawitacji: planety, galaktyki, czarne dziury.



Albert Einstein (1879-1955)

Ogólna Teoria Względności

$$G_{\mu\nu} = \kappa T_{\mu\nu}$$



Karl Schwarzschild (1873-1916)

Rozwiązanie równań Einsteina dla nierotującej czarnej dziury



Edwin Hubble (1889-1953)

Prawo Hubble'a opisujące ucieczkę galaktyk



Kip Thorne (1940-)

Opis oraz detekcja fal grawitacyjnych

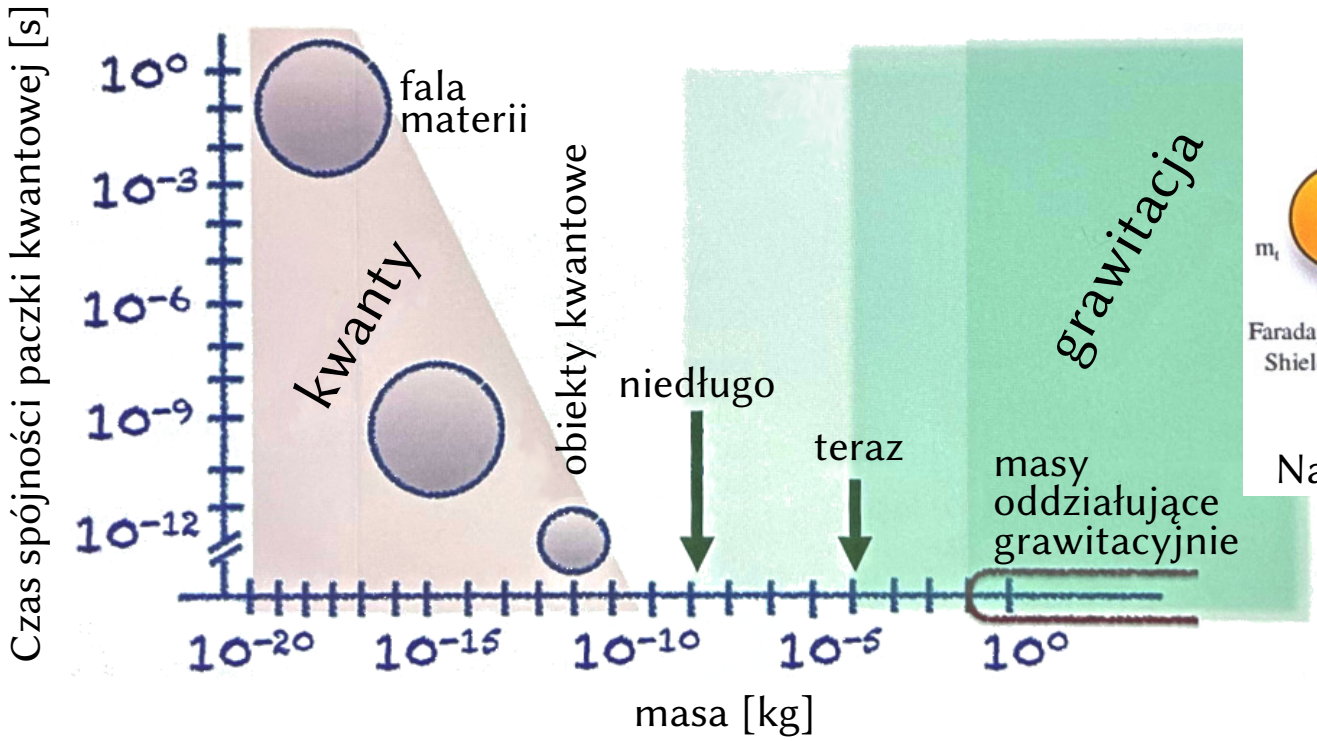


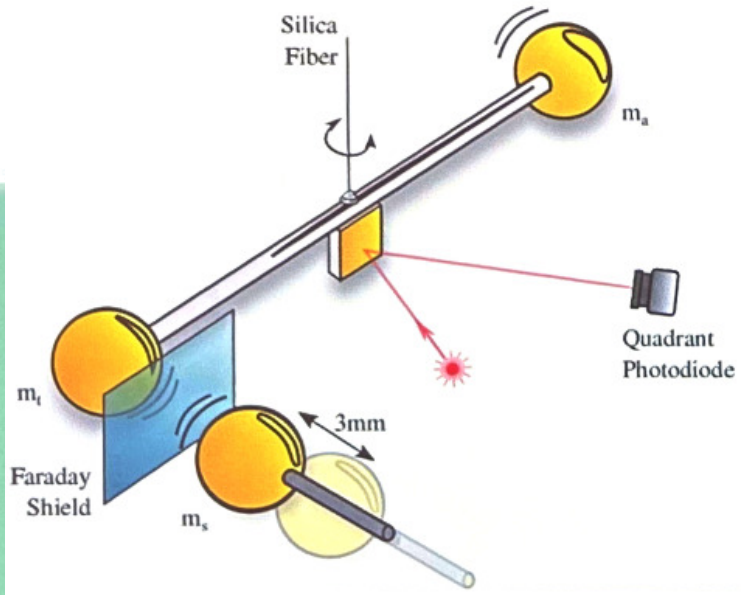
Stephen Hawking (1942-2018)

Badania nad czaso-przestrzenią i czarnymi dziurami

Grawitacja Kwantowa w doświadczeniach

- Jak małą można zrobić masę oddziałującą grawitacyjnie?
- Jak masywny może być układ kwantowo mechaniczny?





Najmniejsza masa do tej pory: 0.09 g

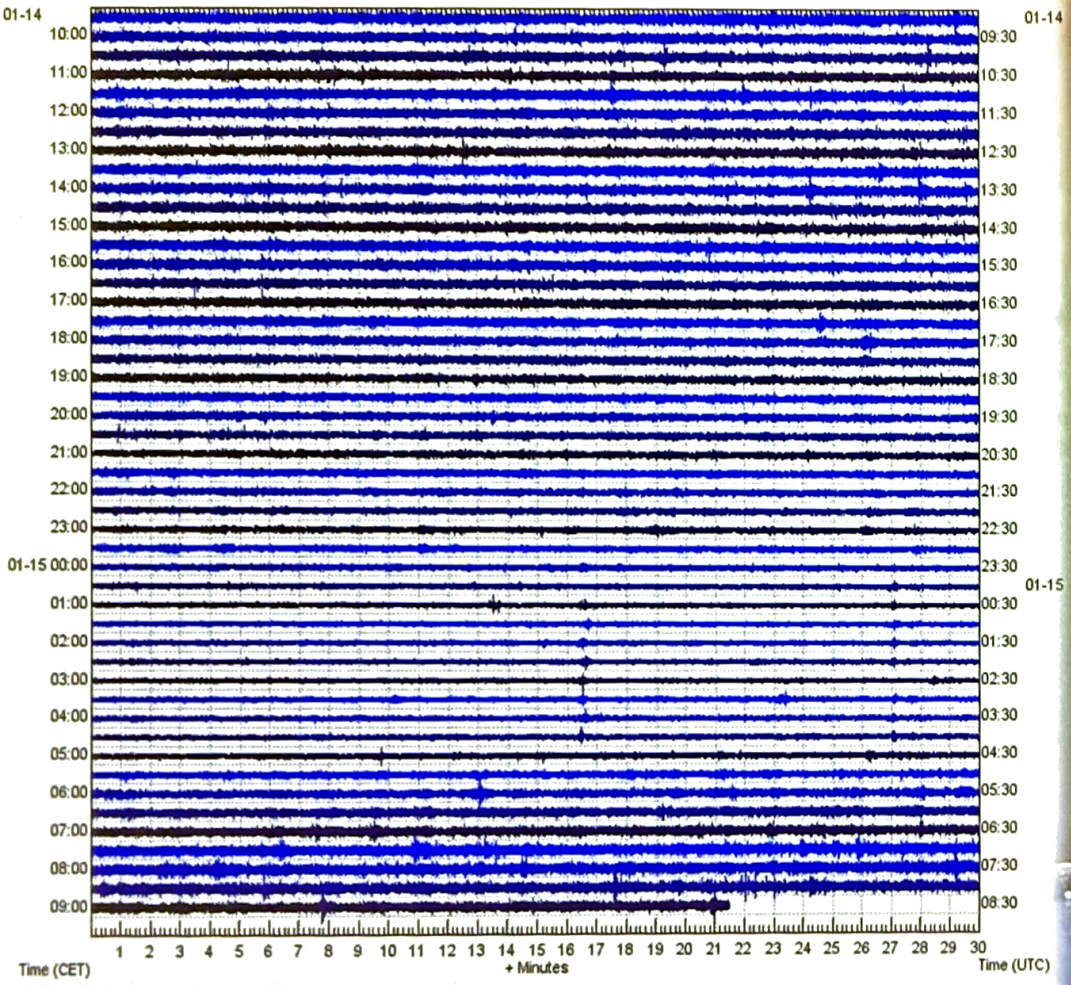
Jest to powtórzenie eksperymentu Cavendish'a z 1797 roku z masami 0,7 kg oraz 158 kg

źródło: Markus Aspelmeyer

Wymaganie: masy muszą być jak najmniejsze

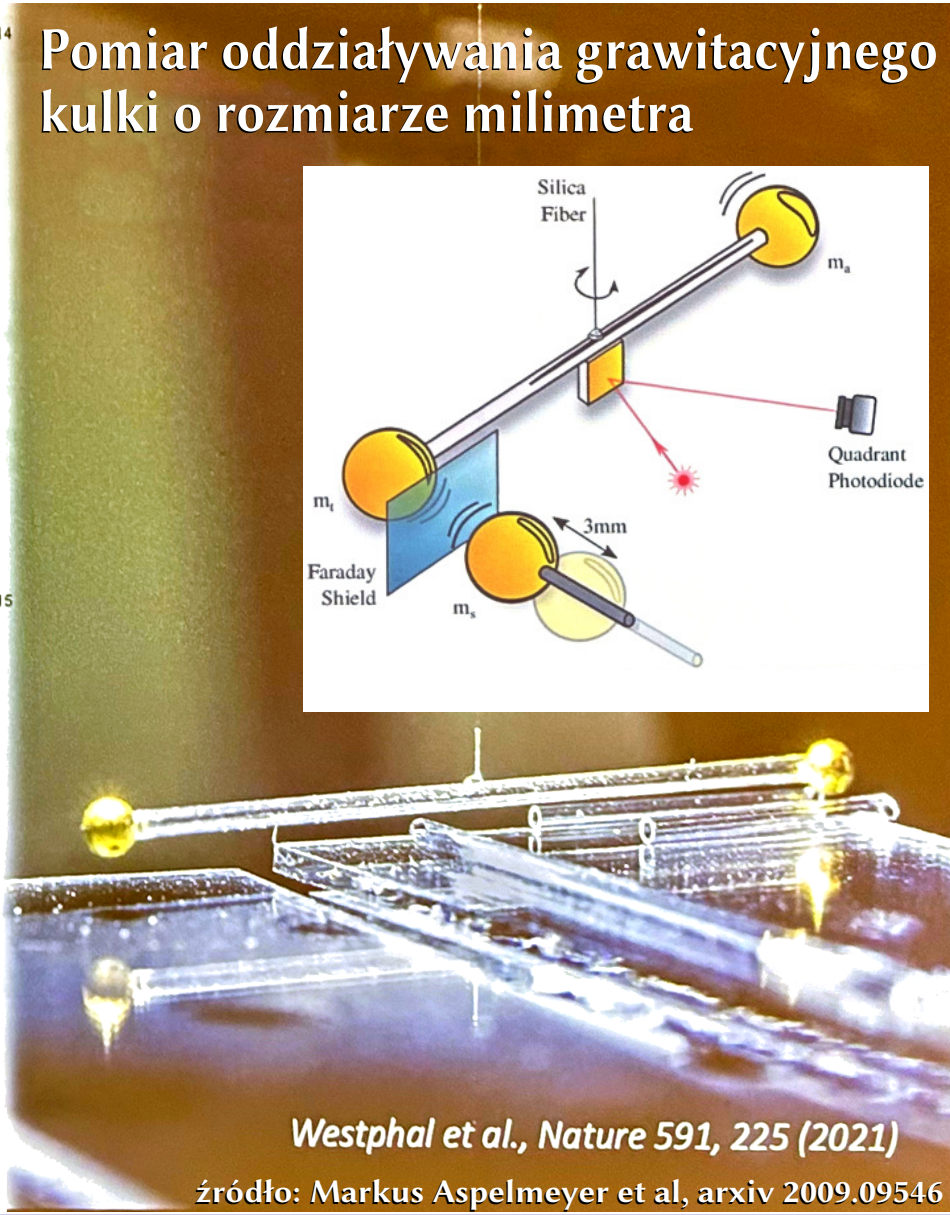


Siła grawitacji milimetrowej kulki



Oto w jaki sposób nie należy mierzyć ruchu ulicznego…

→ Podziemne laboratorium, Trafelberg, Austria



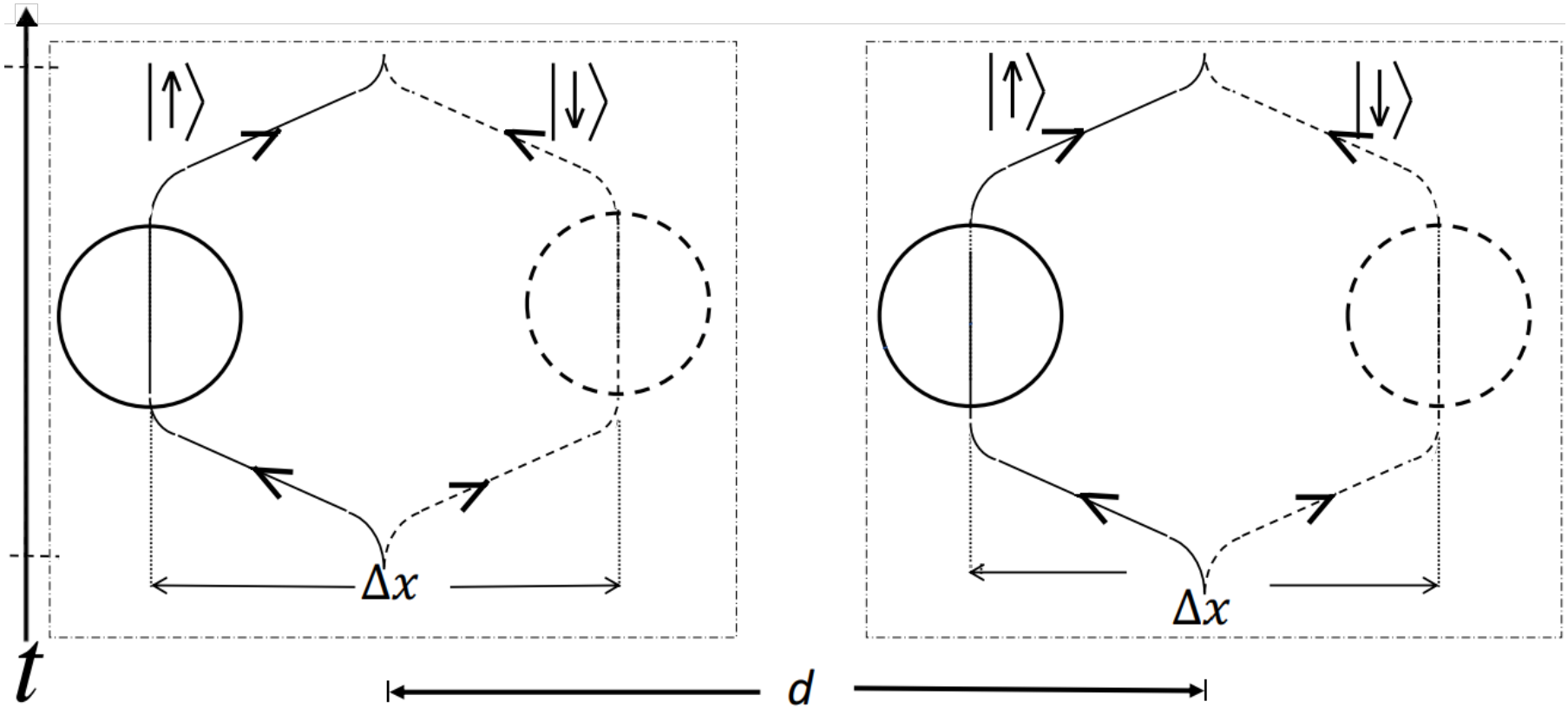
Podziemne laboratorium, Trafelberg, Austria



źródło: Markus Aspelmeyer

Oddziaływanie grawitacyjne mas kwantowych

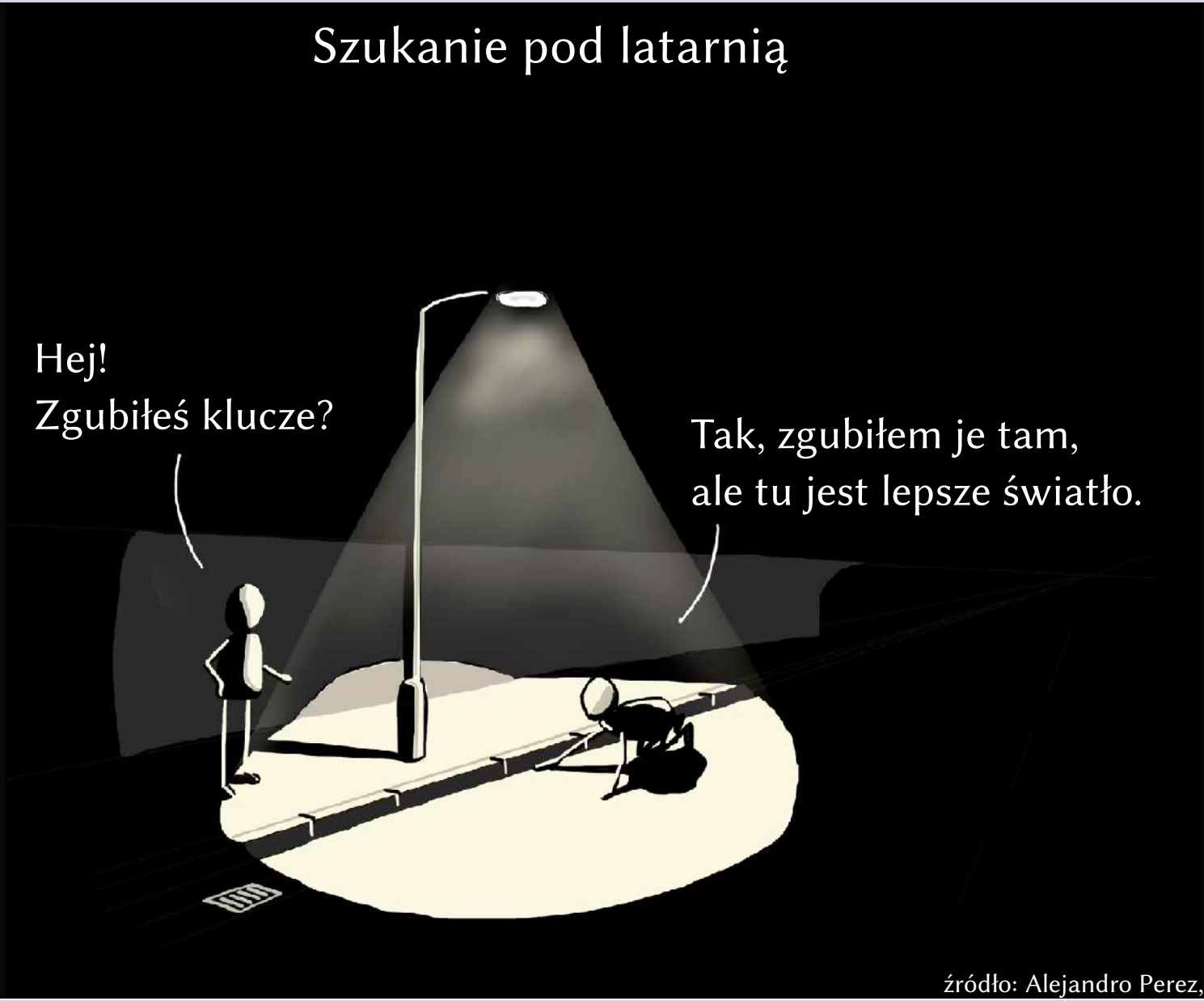
Dwie masy o spinie 1/2 w odległości d oddziałują między sobą grawitacyjnie. Każda z dwóch mas znajduje się w superpozycji dwóch położeń: na 50% jest w jednym miejscu i na 50% w drugim miejscu, oba miejsca są oddalone o Δx od siebie.



źródło: Sougato Bose et al, arxiv 2311.09218

Teoria Grawitacji Kwantowej

Szukanie pod latarnią

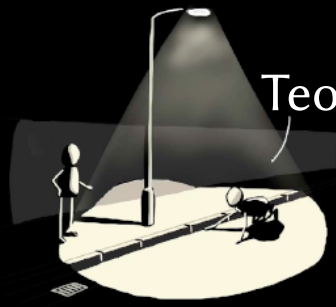


źródło: Alejandro Perez, sketchplanations

Poszukiwania Grawitacji Kwantowej



Kwantowa Teoria Pola



Teoria Superstrun



Pętlowa Grawitacja Kwantowa



Grawitacja Kwantowa

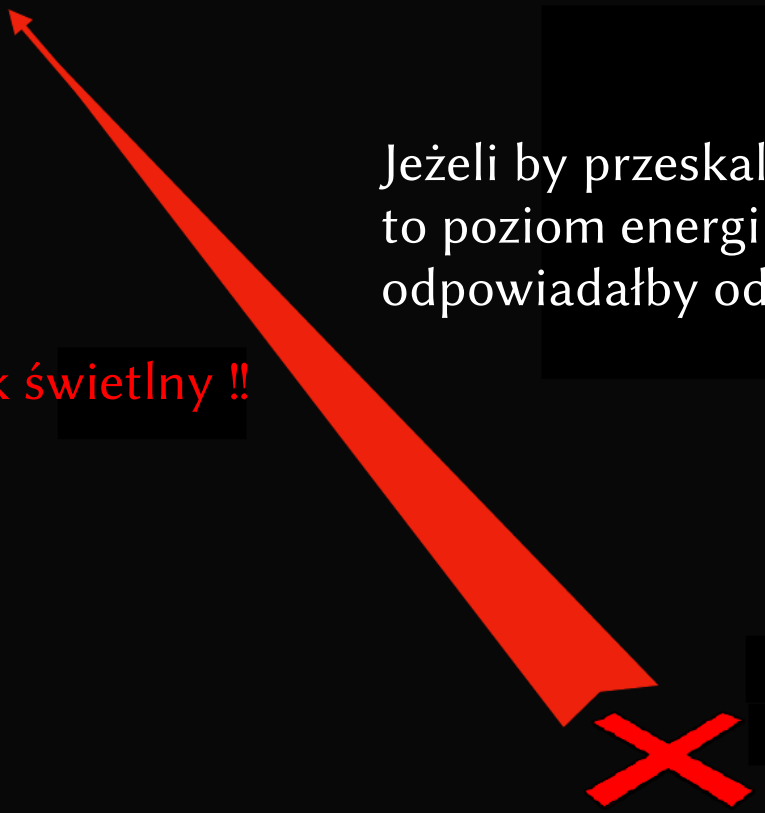
Dane doświadczalne dot. Grawitacji Kwantowej

Zderzanie cząstek elementarnych



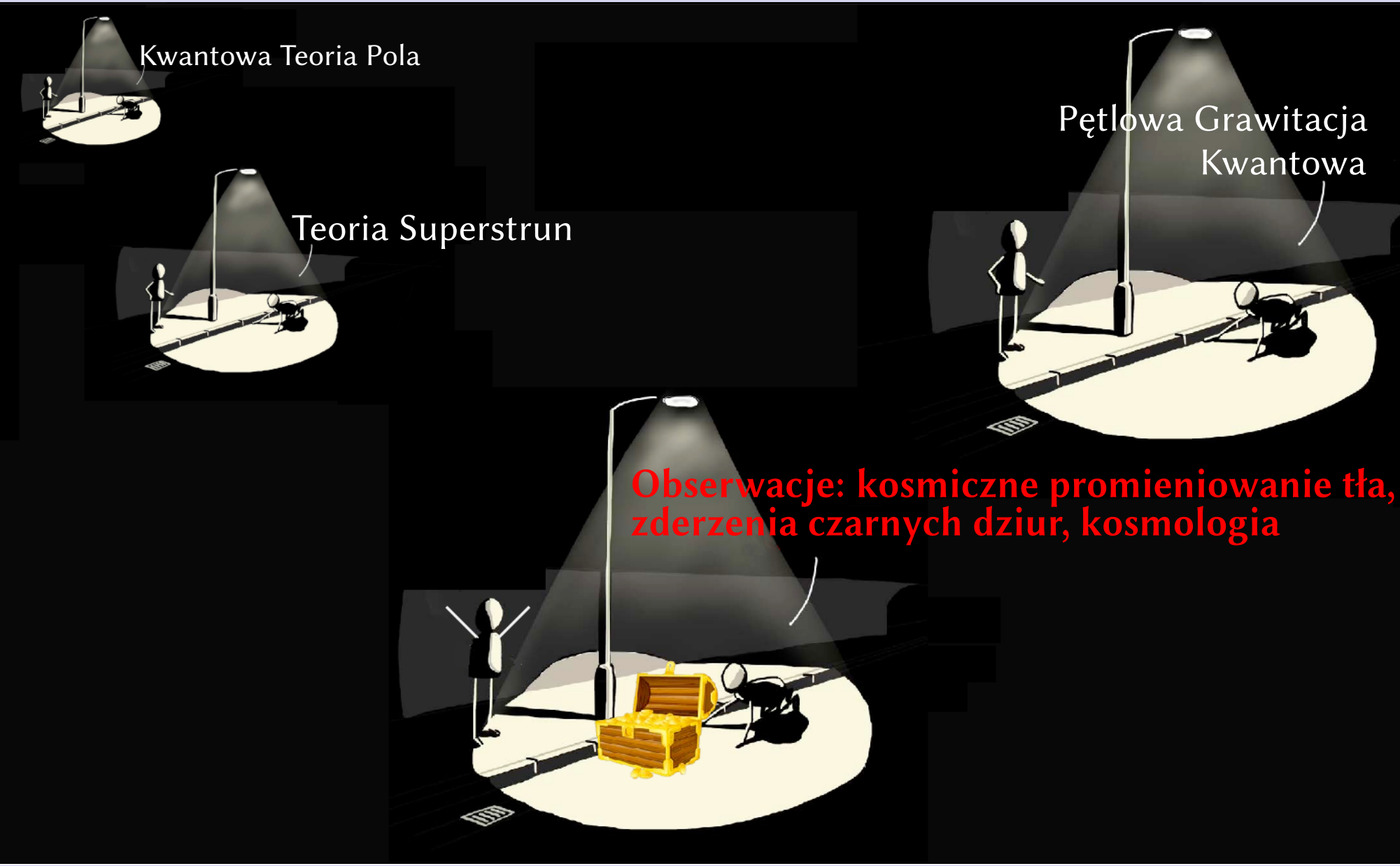
Jeżeli by przeskalować długość Plancka do 1 metra, to poziom energii 1 TeV zderzeń w LHC (CERN) odpowiadałby odległości 1 roku świetlnego.

1 rok świetlny !!

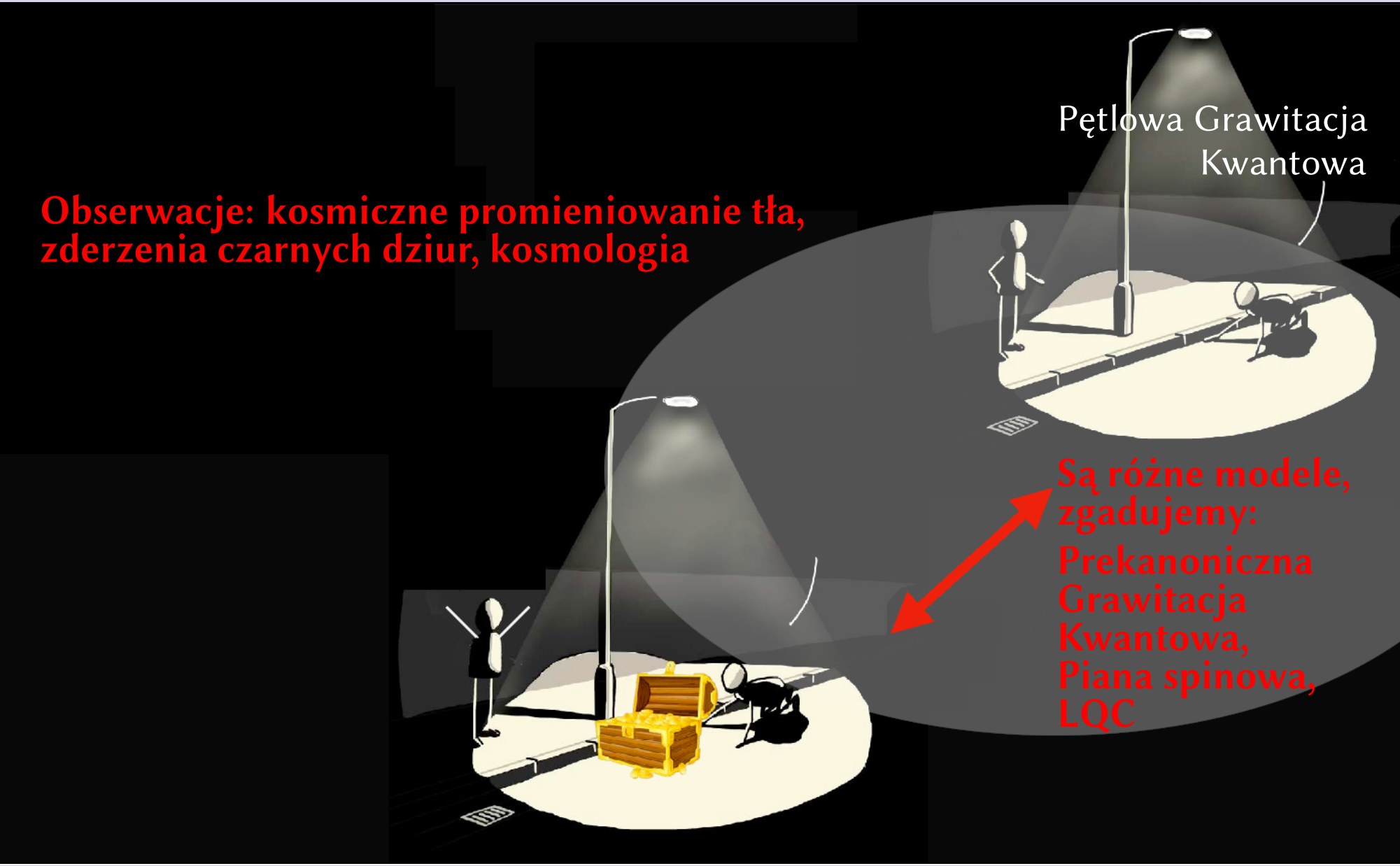


Grawitacja Kwantowa

Dane doświadczalne dot. Grawitacji Kwantowej



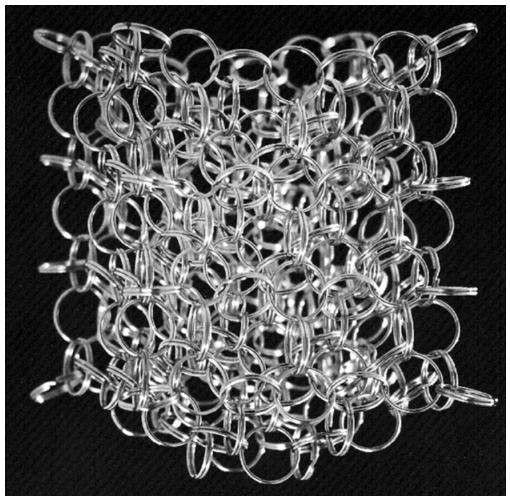
Drogi do Grawitacji Kwantowej

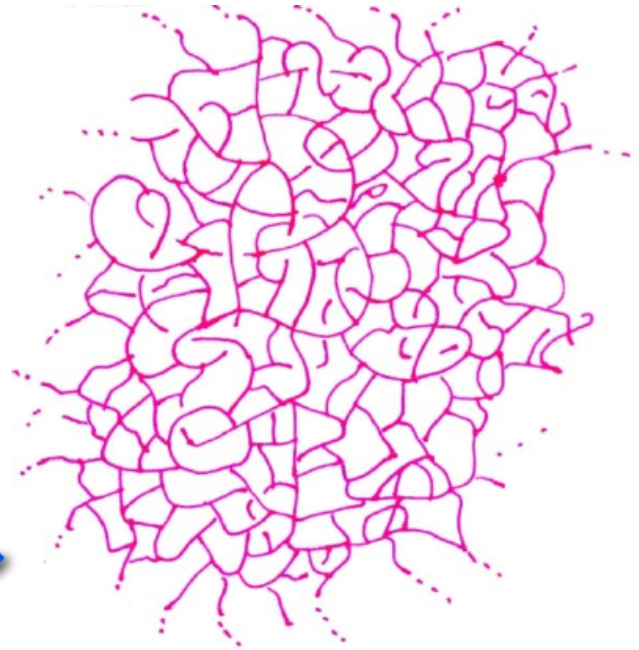


Pętlowa Grawitacja Kwantowa (LQG)

Przestrzeń jest opisana pętlami.
Różne układy pętli opisują
tą samą czasoprzestrzeń.





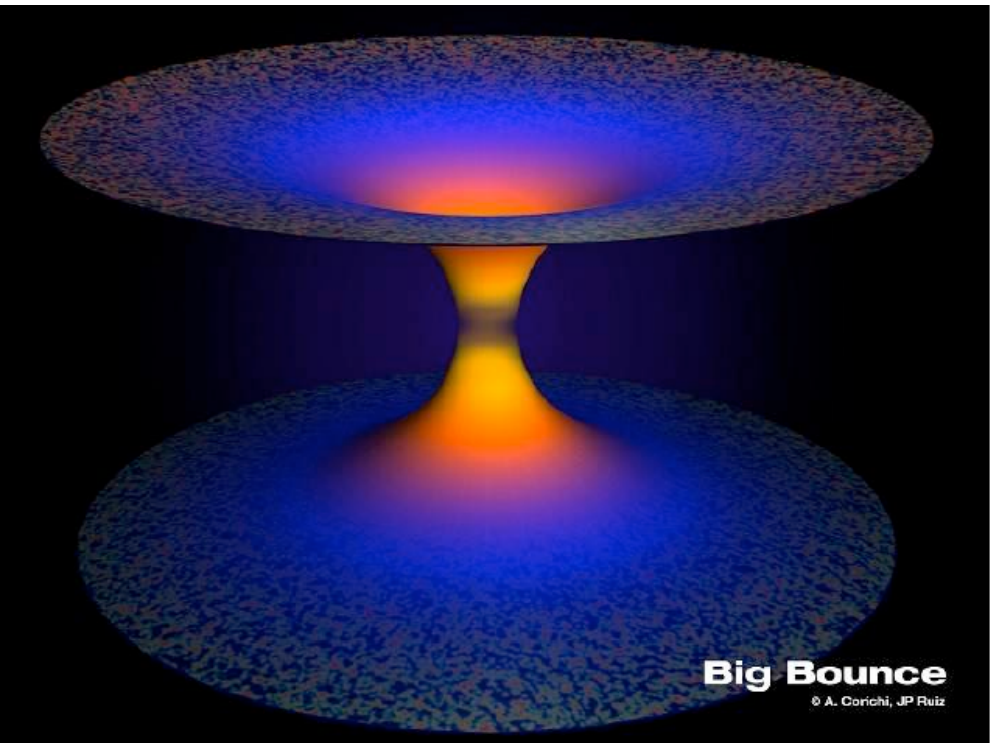


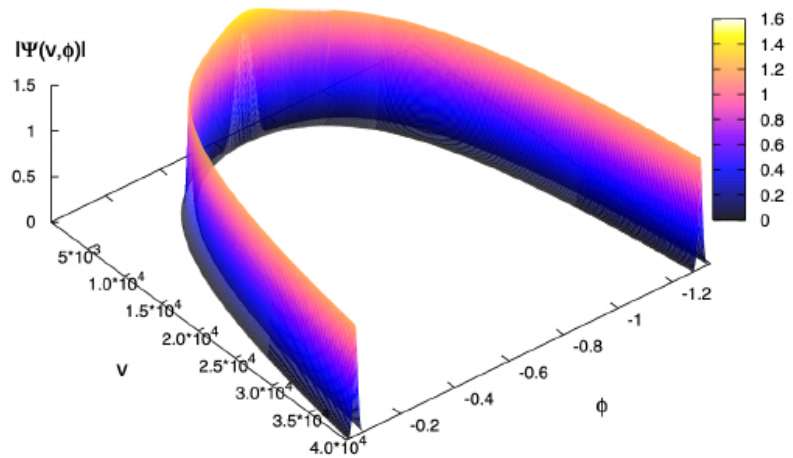


źródło: Alejandro Perez, Carlo Rovelli

Pętlowa Kosmologia Kwantowa (LQC)

Po przyjęciu pewnych uproszczeń w Pętlowej Grawitacji Kwantowej (LQG) uzyskujemy Pętlową Kosmologię Kwantową (LQC), która przewiduje że na początku istnienia wszechświata zamiast wielkiego wybuchu było wielkie odbicie.



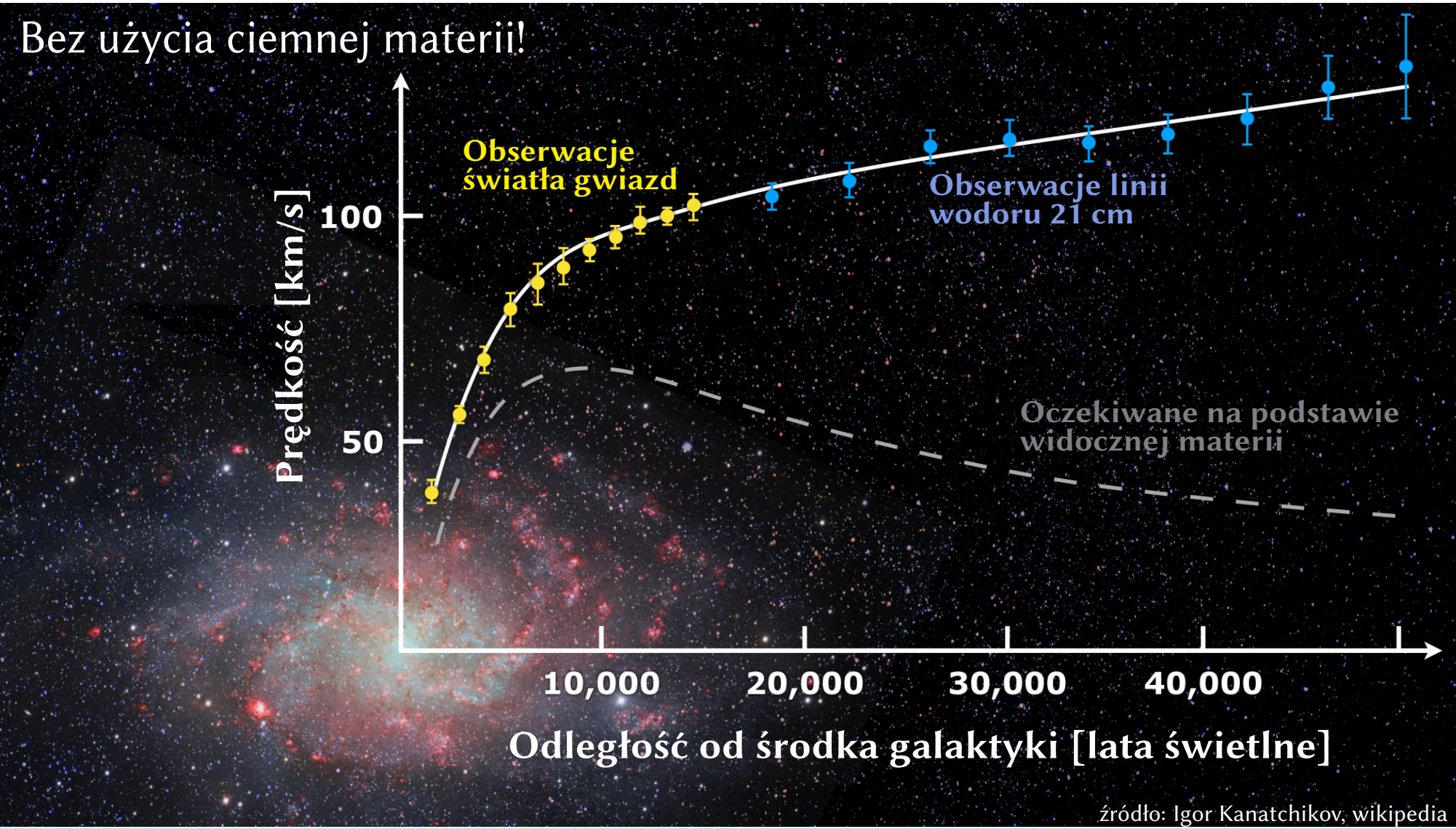


Ashtekar, Pawlowski, Singh, Phys. Rev. D 74, 084003 (2006)

źródło: Beatriz Elizaga Navascués

Prekanoniczna Grawitacja Kwantowa (PQG)

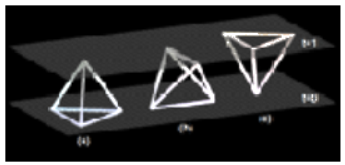
Z PQG można wyprowadzić MOND który wyjaśnia krzywe rotacji galaktyki.

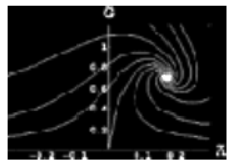


źródło: Igor Kanatchikov, wikipedia

Drogi do Grawitacji Kwantowej







Gravity from Thermodynamics

Dynamical Triangulations

(Celestial) Holography

Causal Sets

Matrix Models

String Theory

Asymptotic Safety

Spinfoams

Quantum Gravity

Precanonical Quantum Gravity

Loop Quantum Gravity

Non-Perturbative Renormalization Group

Geometrodynamics

Topological QFT

Group Field Theory

Non-Commutative Geometry

Relative Locality

Condensate Cosmology

źródło: Etera Livine

Dziękuję za uwagę!

Zajmuję się Grawitacją Kwantową:

- Prekanoniczna Grawitacja Kwantowa
- Pętlowa Grawitacja Kwantowa
- Pętlowa Kosmologia Kwantowa

Osoby zainteresowane proszę o kontakt:

prof. Janek Kozicki
jkozicki@pg.edu.pl

