

**GRAWITACYJNE INTERFERENCJE  
KWANTOWE:  
HIPOTEZA PULAPKI INFORMACYJNEJ  
W CZARNEJ DZIURZE**

Autor: Mikolaj Kot

Czerwiec 2025

# Wprowadzenie

W tej pracy przedstawiam autorska hipoteze dotyczaca wewnetrznej struktury czarnych dziur i ich zwiazku z przechowywaniem informacji. Centralnym elementem tej koncepcji jest zalozenie istnienia dodatkowego wymiaru  $\psi$ , ktory nie odpowiada klasycznemu kierunkowi przestrzennemu, lecz pelni role geometrycznego reprezentanta transferu informacji.

Zgodnie z hipoteza, czarna dziura nie jest miejscem, w ktorym informacja ginie bezpowrotnie, lecz tworem, ktory przechowuje ja w osobnej warstwie geometrycznej czasoprzestrzeni. Dodatkowy wymiar  $\psi$  nie wpływa na ruch klasycznych czastek, ale ma znaczenie fundamentalne dla procesow kwantowych, w tym dla zjawiska splatania.

W dalszej czesci pracy dokonuje konstrukcji nowej metryki czasoprzestrzennej rozszerzonej o wymiar  $\psi$ , analizuje jej konsekwencje fizyczne i geometryczne, oraz przedstawiam falsyfikowalne przewidywania wynikajace z tej teorii.

# 1. Rozszerzona metryka Schwarzschilda i struktura wymiaru $\psi$

Podstawowym punktem wyjścia jest metryka Schwarzschilda, która opisuje geometryczną strukturę czasoprzestrzeni wokół nierotującej, nieelektryzowanej czarnej dziury. Współrzędne standardowe  $(t, r, \theta, \phi)$  dają metrykę:

$$ds^2 = - \left(1 - \frac{2GM}{r}\right) c^2 dt^2 + \left(1 - \frac{2GM}{r}\right)^{-1} dr^2 + r^2 d\theta^2 + r^2 \sin^2 \theta d\phi^2 \quad (1)$$

W mojej hipotezie zakładam istnienie dodatkowego wymiaru  $\psi$ , który nie wpływa bezpośrednio na klasyczny ruch cząstek, ale strukturalnie rozszerza czasoprzestrzeń. Wymiar ten można interpretować jako informacyjny parametr przestrzeni – pozwalający na przemieszczanie się informacji w sposób kwantowy, nielokalny lub nieliniowy względem klasycznej geometrii. Proponowana rozszerzona metryka przyjmuje postać:

$$ds^2 = - \left(1 - \frac{2GM}{r}\right) c^2 dt^2 + \left(1 - \frac{2GM}{r}\right)^{-1} dr^2 + r^2 d\theta^2 + r^2 \sin^2 \theta d\phi^2 + \epsilon f(r) d\psi^2 \quad (2)$$

Gdzie:

- $\psi$  – nowy wymiar informacyjny,
- $\epsilon$  – parametr kontrolny o wartości bliskiej zeru ( $\epsilon \ll 1$ ), określający minimalny wpływ wymiaru  $\psi$  na geometrię klasyczną,
- $f(r)$  – funkcja struktury informacyjnej przestrzeni w zależności od promienia  $r$ .

Dla prostoty i zgodności z warunkiem asymptotycznej płaskości zakładam funkcję postaci:

$$f(r) = \frac{1}{1 - \frac{2GM}{r}} \quad (3)$$

Tym samym metryka staje się:

$$ds^2 = - \left(1 - \frac{2GM}{r}\right) c^2 dt^2 + \left(1 - \frac{2GM}{r}\right)^{-1} \left[ dr^2 + \epsilon d\psi^2 \right] + r^2 d\theta^2 + r^2 \sin^2 \theta d\phi^2 \quad (4)$$

Wartość  $\epsilon$  nie jest arbitralna – jej rola to regulacja intensywności oddziaływania przestrzennego z wymiarem  $\psi$ . W przypadku cząstek klasycznych  $\epsilon \rightarrow 0$ , natomiast dla splatanych

struktur informacyjnych (np. par czastek Hawkinga) można przyjąć  $\epsilon \rightarrow \delta$ , gdzie  $\delta$  jest minimalnym niezerowym parametrem geometrycznym.

Interpretacja fizyczna polega na tym, że ruch informacyjny może zachodzić w przestrzeni  $\psi$ , która nie jest mierzona klasycznie, ale pozwala na zachowanie splątania, odwrócenie entropii i kanał komunikacji kwantowej przez horyzont.

## 2. Tensor Ricciego i rozwazania krzywiznowe

W tej sekcji analizuje geometrie rozszerzonej czasoprzestrzeni wokol czarnej dziury wprowadzonej w poprzednim rozdziale. Bazujac na rozszerzonej metryce Schwarzschilda z dodatkiem wymiaru  $\psi$ , obliczam skladniki tensora Ricciego oraz krzywizne skalarna.

### 2.1. Rozszerzona metryka Schwarzschilda

Przypomne forme rozszerzonej metryki Schwarzschilda z dodatkowym wymiarem  $\psi$ :

$$ds^2 = - \left(1 - \frac{2GM}{r}\right) dt^2 + \left(1 - \frac{2GM}{r}\right)^{-1} dr^2 + r^2 d\theta^2 + r^2 \sin^2 \theta d\phi^2 + f(r) d\psi^2 \quad (5)$$

Gdzie  $f(r)$  jest funkcja opisujaca zaleznosc wymiaru  $\psi$  od promienia  $r$ . Dla uproszczenia analizy przyjmuje:

$$f(r) = \alpha \left(1 - \frac{2GM}{r}\right) \quad (6)$$

gdzie  $\alpha$  to stala o jednostkach  $[L^2]$ , pozwalajaca na zachowanie wymiarowosci metryki.

### 2.2. Obliczenie skladnikow tensora Ricciego

Rozpoczynam od zalozenia, ze caly ukklad posiada piaty wymiar, a wiec metryka jest  $5 \times 5$ . Obliczam skladniki tensora Ricciego  $R_{\mu\nu}$  przy zalozeniu, ze nie wystepuje zaleznosc metryki od  $\psi$  (czyli  $\partial_\psi g_{\mu\nu} = 0$ ).

Z uwagi na zlozonosc, wypisze tylko reprezentatywne skladniki tensora Ricciego:

$$R_{tt} = \frac{2GM}{r^3} \left(1 - \frac{2GM}{r}\right) \quad (7)$$

$$R_{rr} = -\frac{2GM}{r^3} \left(1 - \frac{2GM}{r}\right)^{-1} \quad (8)$$

$$R_{\psi\psi} = \frac{\alpha \cdot 2GM}{r^3} \quad (9)$$

Pozostale skladniki (np.  $R_{\theta\theta}, R_{\phi\phi}$ ) przyjmuja te same wartosci co w klasycznym rozwiazaniu Schwarzschilda, a dodatkowy skladnik  $R_{\psi\psi}$  wynika z obecności funkcji  $f(r)$ .

### 2.3. Skalar krzywizny Ricciego

Skalar Ricciego  $R$  uzyskuje sie poprzez sciezkovanie tensora Ricciego z metryka:

$$R = g^{\mu\nu} R_{\mu\nu} \quad (10)$$

Dla naszej metryki (z uwzglednieniem dodatku  $\psi$ ) wynik przyjmuje postac:

$$R = \frac{4GM}{r^3} + \frac{2GM\alpha^{-1}}{r^3} \quad (11)$$

Pierwszy czlon odpowiada klasycznej geometrii Schwarzschilda, natomiast drugi jest nowym czlonem pochodzacym z wymiaru  $\psi$  i znika, gdy  $\alpha \rightarrow \infty$ , co jest zgodne z klasycznym limitem, gdzie wymiar  $\psi$  nie istnieje.

### 2.4. Interpretacja geometryczna

Dodatkowy skladnik Ricciego ( $R_{\psi\psi}$ ) wskazuje, ze wymiar  $\psi$  uczestniczy w ogolnej krzywiznie czasoprzestrzeni. Oznacza to, ze choc czasteczki klasyczne nie reaguja na  $\psi$ , to jego obecności nie mozna zignorowac w analizie geometrii. Funkcja  $f(r)$  odgrywa tu role warstwy geometrycznej powiazanej z dystrybucja informacji.

### 3. Wektor przesuwu i transport informacji w wymiarze

$\psi$

Po obliczeniu geometrii rozszerzonej czasoprzestrzeni i krzywizny, przechodzę do interpretacji wymiaru  $\psi$  jako niosącego informacje. Ponieważ klasyczne czastki nie wykazują przyspieszenia względem  $\psi$ , mogę zdefiniować specjalny wektor przesuwu odpowiadający propagacji informacji w tym kierunku.

#### 3.1. Wektor przesuwu

Definiuje wektor przesuwu informacji  $I^\mu$  jako:

$$I^\mu = \delta^\mu_\psi \quad (12)$$

czyli wektor o jedynce w kierunku  $\psi$ , zerach w pozostałych komponentach. Oznacza to, że informacja porusza się wyłącznie w kierunku wymiaru  $\psi$ , nie zmieniając klasycznej pozycji czastki w przestrzeni  $(t, r, \theta, \phi)$ .

Z warunku normy tego wektora:

$$g_{\mu\nu} I^\mu I^\nu = g_{\psi\psi} = f(r) \quad (13)$$

Wektor  $I^\mu$  jest spacjalny (dla  $f(r) > 0$ ), a jego wielkość zależy od odległości od horyzontu ( $r \rightarrow 2GM$ ). Im bliżej horyzontu, tym bardziej "rozciąga" się wymiar  $\psi$  — czyli tym większy potencjał na przechowywanie informacji.

#### 3.2. Zachowanie geodezyjne względem $\psi$

Z równań geodezyjnych:

$$\frac{d^2 x^\mu}{d\lambda^2} + \Gamma^\mu_{\alpha\beta} \frac{dx^\alpha}{d\lambda} \frac{dx^\beta}{d\lambda} = 0 \quad (14)$$

Dla komponentu  $\mu = \psi$  i zakładając brak zależności od  $\psi$  ( $\partial_\psi g_{\mu\nu} = 0$ ), otrzymuje się:

$$\frac{d^2 \psi}{d\lambda^2} = 0 \quad (15)$$

co oznacza, że ruch informacji w wymiarze  $\psi$  odbywa się po linii prostej — bez żadnych lokalnych zakłóceń ani przyspieszenia. To zgodne z założeniem, że  $\psi$  jest kanałem informa-

cyjnym bez masy ani ładunku.

### 3.3. Energia i lagranżian informacji

Definiuje Lagrangian dla czystego ruchu informacyjnego w  $\psi$ :

$$\mathcal{L} = \frac{1}{2}f(r) \left( \frac{d\psi}{d\lambda} \right)^2 \quad (16)$$

co prowadzi do zachowania energii:

$$E_\psi = f(r) \frac{d\psi}{d\lambda} = \text{const} \quad (17)$$

Zatem strumień informacji zachowuje swoją "energie" niezależnie od odległości od horyzontu — co wspiera hipotezę o możliwości przechowywania danych niezależnie od klasycznej krzywizny.

### 3.4. Interpretacja fizyczna

Interpretacja wektora  $I^\mu$  jako transportującego informacje sugeruje, że czarna dziura nie niszczy informacji, lecz przekierowuje je do wymiaru  $\psi$ . To daje nowe spojrzenie na paradoks informacyjny Hawkinga. Informacja nie zostaje zniszczona, tylko ukryta przed klasycznym obserwatorem, który nie ma dostępu do  $\psi$ .

## 4. Interpretacja fizyczna czarnej dziury jako pulapki informacyjnej

Z rozszerzenia metryki Schwarzschilda o wymiar  $\psi$  wynika, że czarna dziura posiada dodatkowy kanał transportowy dla informacji, niedostępny z klasycznej czasoprzestrzeni  $(t, r, \theta, \phi)$ . Ruch w  $\psi$  nie wymaga masy, nie generuje krzywizny i nie powoduje przyspieszenia klasycznych cząstek. Pozwala to zinterpretować  $\psi$  jako ukrytą strukturę czasoprzestrzeni odpowiedzialną za przechowywanie, dystrybucję i ewentualny odzysk informacji.

### 4.1. Korelacja z paradoksem informacyjnym Hawkinga

Hawking udowodnił, że parowanie czarnej dziury prowadzi do zaniku horyzontu, a tym samym zniszczenia informacji — co narusza fundamentalne zasady mechaniki kwantowej (nieunitarność ewolucji). W mojej teorii informacja nie znika, lecz opuszcza klasyczną czasoprzestrzeń i przepływa do wymiaru  $\psi$ , skąd może zostać odzyskana w procesach kwantowych.

### 4.2. Zgodność z hipotezą $ER = EPR$

W hipotezie  $ER = EPR$ , zaproponowanej przez Maldacene i Susskinda, splątane cząstki kwantowe są połączone miniaturowymi mostami Einsteina-Rosena (wormhole'ami). Mój wymiar  $\psi$  pełni podobną funkcję — łączy różne stany informacji w nieklasycznej przestrzeni. Można więc interpretować  $\psi$  jako emergentną geometrię splątania kwantowego.

### 4.3. Zachowanie zasady unitarności

Zasada unitarności wymaga, aby suma prawdopodobieństw dla wszystkich możliwych stanów wynosiła 1. W modelu klasycznym, czarna dziura "gubi" informacje — co łamie unitarność. W moim modelu unitarność zostaje zachowana globalnie — informacja opuszcza klasyczny obszar przestrzeni, ale nie zostaje zniszczona, tylko schowana w  $\psi$ .

### 4.4. Granica klasyczna — niedostępność $\psi$

Obserwator klasyczny nie może oddziaływać z wymiarem  $\psi$ , ponieważ nie ma klasycznej energii ani ładunku. Zatem nie można bezpośrednio wykryć informacji w  $\psi$ , ale jej istnienie można postulować z matematycznej spójności i przez falsyfikowalne przewidywania np. co do zachowania entropii czarnej dziury.

## 4.5. Podsumowanie roli wymiaru $\psi$

- Wymiar  $\psi$  nie wpływa na klasyczny ruch cząstek (czyli testowalne trajektorie).
- Daje nową drogę dla transportu informacji — bez masy, bez lokalnego zakrzywienia.
- Zachowuje normę i energię ruchu informacyjnego — czyniąc  $\psi$  strukturą fizyczną, a nie matematyczną ciekawostką.
- Umożliwia przetrwanie informacji poza horyzontem zdarzeń.
- Wprowadza realny kanał do rozwiązania paradoksu informacyjnego.

## 5. Falsyfikowalnosc teorii i przewidywania eksperymentalne

Aby teoria rozszerzonej metryki Schwarzschilda z dodatkowym wymiarem  $\psi$  mogła zostac uznana za wartosciowa naukowo, konieczne jest zdefiniowanie falsyfikowalnych przewidywan oraz sposobow ich potencjalnej weryfikacji.

### 5.1. Przewidywania zwiazane z entropia czarnej dziury

W moim modelu informacja jest przechowywana w wymiarze  $\psi$ , co powinno miec wpływ na entropie czarnej dziury. Dokladne przewidywania:

- Entropia powinna wykazywac odchylenia od klasycznego prawa Bekensteina-Hawkinga  $S = \frac{kc^3 A}{4G\hbar}$ , zwlaszcza w okolicy horyzontu zdarzen.
- Obserwacje mikrofluktuacji entropii moga wskazywac na istnienie dodatkowych stopni swobody, powiazanych z wymiarem  $\psi$ .

### 5.2. Wpływ na promieniowanie Hawkinga

Poniewaz informacja nie ginie, lecz jest transferowana do  $\psi$ , promieniowanie Hawkinga powinno wykazywac subtelne korelacje kwantowe (splatanie) miedzy emisja a stanem czarnej dziury:

- Detekcja takich korelacji moze zostac osiagnieta przez analize spektroskopowa promieniowania w przyszłych eksperymentach.
- Zmiany widma promieniowania moga odbijac strukture wymiaru  $\psi$ .

### 5.3. Wpływ na fale grawitacyjne

Rozszerzona metryka powinna modyfikowac fale grawitacyjne emitowane w procesach kolizji czarnych dziur:

- Drobne odchylenia od przewidywan Einsteina w sygnalach obserwowanych przez LIGO/Virgo/KAGRA.
- Wskazniki splatania kwantowego lub "echo" po kolizjach, bedace sygnałem obecności wymiaru  $\psi$ .

## 5.4. Przewidywania związane z unitarnością

W teorii możliwe jest sprawdzenie, czy ewolucja stanu kwantowego jest unitarna, co oznacza:

- Brak utraty informacji na poziomie kwantowym.
- Możliwość kwantowego odwzorowania emisji promieniowania Hawkinga na stany w  $\psi$ .

## 5.5. Możliwe metody testowania

- Precyzyjna analiza danych z detektorów fal grawitacyjnych (szczególnie poszukiwanie echa fal).
- Badania promieniowania Hawkinga w modelach analogowych (np. akustycznych czarnych dziur).
- Testy teoretyczne za pomocą symulacji kwantowej informacji i splatania w rozszerzonym modelu.

## 5.6. Podsumowanie

Model rozszerzonej metryki Schwarzschilda z dodatkowym wymiarem  $\psi$  stanowi nowatorskie podejście do problemu informacyjnego czarnych dziur, łącząc klasyczną geometrię czasoprzestrzeni z kwantowymi mechanizmami przechowywania informacji. Kluczowym elementem wartości naukowej teorii jest jej falsyfikowalność, czyli możliwość postawienia eksperymentalnych lub obserwacyjnych testów, które mogą potwierdzić lub obalić przedstawioną hipotezę.

W kontekście entropii, moja teoria przewiduje istnienie dodatkowych stopni swobody powiązanych z wymiarem  $\psi$ , co powinno manifestować się jako odchylenia od klasycznego prawa Bekensteina-Hawkinga. Te odchylenia mogą być bardzo subtelne i wymagać ekstremalnie precyzyjnych pomiarów, jednak ich wykrycie otworzyłoby nową drogę do zrozumienia mechanizmu zachowania informacji w czarnych dziurach, zwłaszcza w fazie parowania. Ponadto, zmieniona entropia wskazywałaby na kwantową naturę przestrzeni w obszarze horyzontu zdarzeń, co jest kluczowe dla teorii kwantowej grawitacji.

W zakresie promieniowania Hawkinga, teoria proponuje, że informacja o stanie czarnej dziury jest przechowywana i przekazywana poprzez wymiar  $\psi$ , co implikuje istnienie kwantowych korelacji i splatania między emisją a wewnętrznym stanem czarnej dziury. W praktyce oznacza to, że promieniowanie to nie jest zwykłą emisją termiczną, lecz posiada strukturę informacyjną, która mogłaby zostać wykryta przez analizę widma i korelacji w przyszłych,

bardziej zaawansowanych eksperymentach. Potwierdzenie tej predykcji rozwiązałoby tzw. paradoks informacyjny czarnej dziury, układając fundament pod pełną unitarną ewolucję kwantową.

Mój model przewiduje także zmiany w strukturze fal grawitacyjnych emitowanych podczas kolizji czarnych dziur. Wymiar  $\psi$  może wpływać na geometryczne i kwantowe cechy tych fal, co może objawiać się jako drobne odchylenia od klasycznych przewidywań Einsteina, czy nawet powstawanie echa fal, czyli opóźnionych sygnałów związanych z wewnętrzną strukturą wymiaru  $\psi$ . Detekcja takich efektów przez obecne i przyszłe detektory fal grawitacyjnych, takie jak LIGO, Virgo czy KAGRA, mogłaby być przełomowym dowodem na poprawność mojej teorii.

Ważnym aspektem jest unitarna ewolucja stanów kwantowych w teorii, która eliminuje problem utraty informacji i gwarantuje, że proces parowania czarnej dziury jest odwracalny na poziomie kwantowym. Wymiar  $\psi$  pełni w tym procesie rolę magazynu informacji, co stawia moją hipotezę w zgodzie z podstawowymi aksjomatami mechaniki kwantowej i wskazuje na jej potencjalną zgodność z przyszłą pełną teorią kwantowej grawitacji.

Pomimo obecnych ograniczeń eksperymentalnych, takich jak brak bezpośredniej możliwości detekcji wymiaru  $\psi$  czy precyzyjnych pomiarów promieniowania Hawkinga, proponowane falsyfikowalne przewidywania tworzą konkretne ramy dla przyszłych badań. Testowanie mojej teorii może odbywać się na wielu płaszczyznach: od symulacji komputerowych, przez badania analogowe w laboratoriach, aż po analizę danych z obserwatoriów fal grawitacyjnych.

Zatem, teoria rozszerzonej metryki Schwarzschilda z wymiarem  $\psi$  nie tylko rozwija teoretyczne rozumienie problemu informacyjnego czarnych dziur, ale również wyznacza konkretne kierunki dla dalszych badań, w tym potencjalnych przełomów naukowych, które mogą znacząco poszerzyć naszą wiedzę o strukturze czasoprzestrzeni i naturze informacji w skali kosmicznej.

## 6. Bibliografia

### References

- [1] S. W. Hawking, *Particle Creation by Black Holes*, Communications in Mathematical Physics, 43(3), 199–220 (1975).
- [2] J. D. Bekenstein, *Black Holes and Entropy*, Physical Review D, 7(8), 2333–2346 (1973).
- [3] R. Penrose, *Gravitational Collapse and Space-Time Singularities*, Physical Review Letters, 14(3), 57–59 (1965).
- [4] R. M. Wald, *General Relativity*, University of Chicago Press (1984).
- [5] S. M. Carroll, *Spacetime and Geometry: An Introduction to General Relativity*, Addison-Wesley (2004).
- [6] G. 't Hooft, *Dimensional Reduction in Quantum Gravity*, arXiv:gr-qc/9310026 (1993).
- [7] L. Susskind, *The World as a Hologram*, Journal of Mathematical Physics, 36(11), 6377–6396 (1995).
- [8] J. M. Maldacena, *The Large  $N$  Limit of Superconformal Field Theories and Supergravity*, International Journal of Theoretical Physics, 38(4), 1113–1133 (1999).
- [9] J. Preskill, *Do Black Holes Destroy Information?*, arXiv:hep-th/9209058 (1992).
- [10] B. F. Schutz, *A First Course in General Relativity*, Cambridge University Press (2009).