

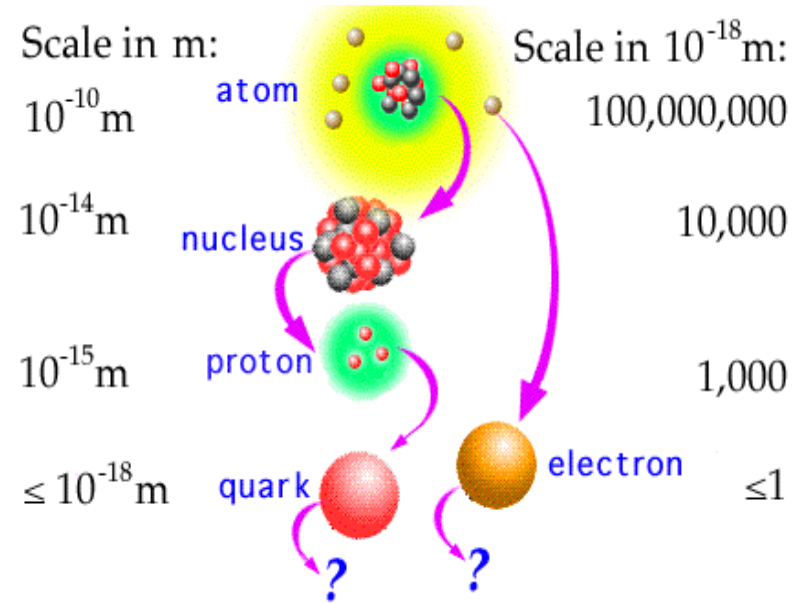
Jak cerować czarne dziury?

Jakub Jankowski
Uniwersytet Warszawski



Siły w przyrodzie

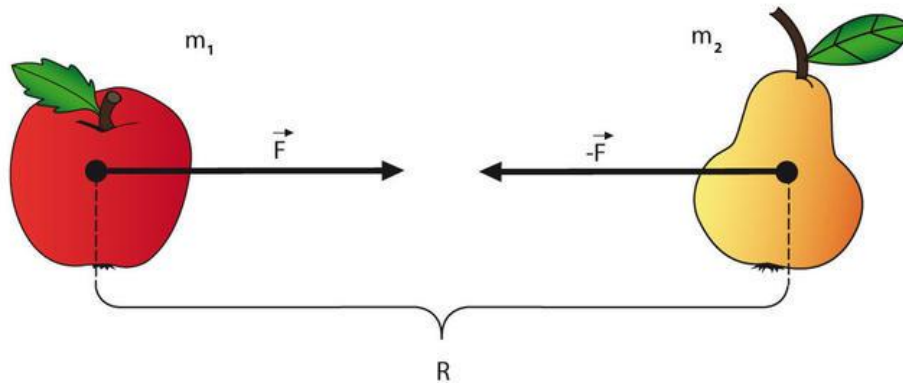
- Elektromagnetyczne
- Jądrowe słabe
- Jądrowe silne
- **Grawitacyjne:**
 - **najsłabsza siła**
 - **zawsze przyciągające**
 - **działa na wszystkie obiekty**



$$\frac{\text{Gravitation Attraction}}{\text{Electrical Repulsion}} = 1 / 4.17 \times 10^{42}$$



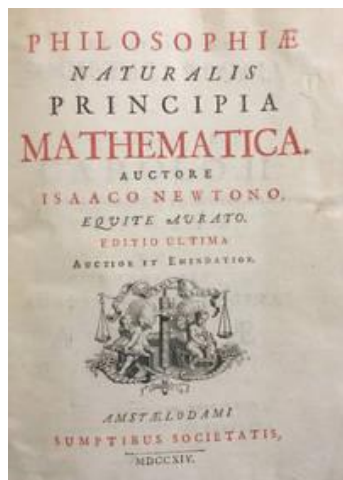
Prawo powszechnego ciążenia



Wszystkie ciała we Wszechświecie przyciągają się wzajemnie z siłą proporcjonalną do iloczynu ich masy i odwrotnie proporcjonalną do kwadratu odległości między nimi (05.07.1687)



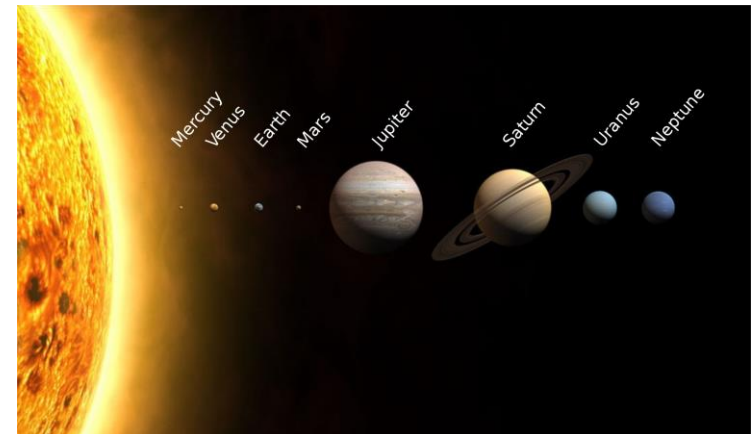
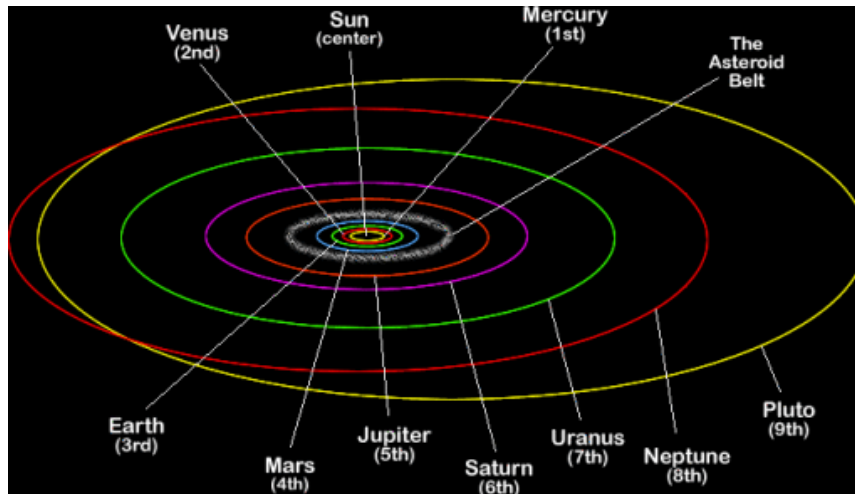
Isaac Newton (1642-1727)



Konsekwencje i wnioski



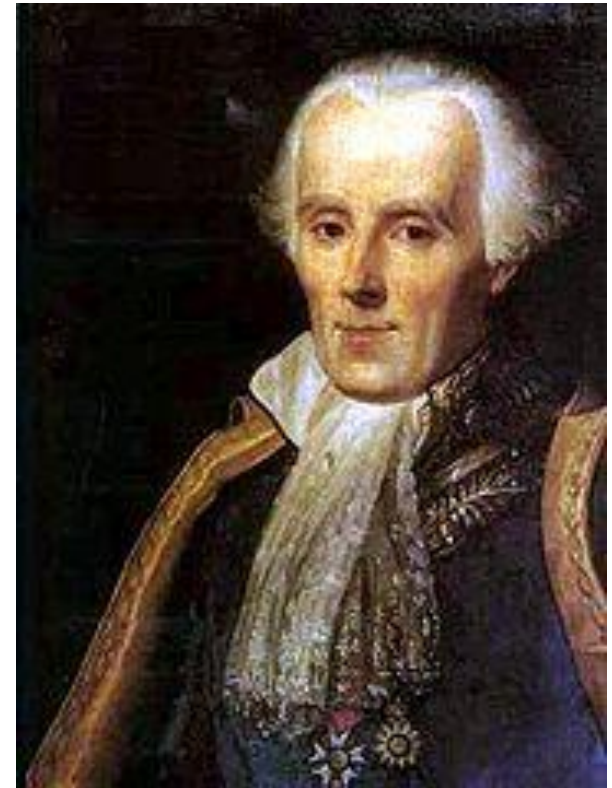
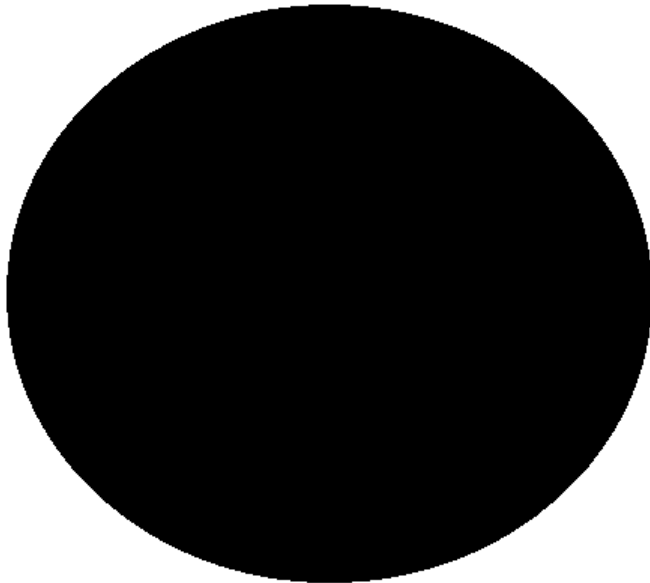
- Zrozumienie ruchów planet
- Wyjaśnienie pływów oceanicznych
- Pierwsze oszacowanie prędkości światła
- Przewidzenie istnienia Neptuna 23.09.1846





The dark star

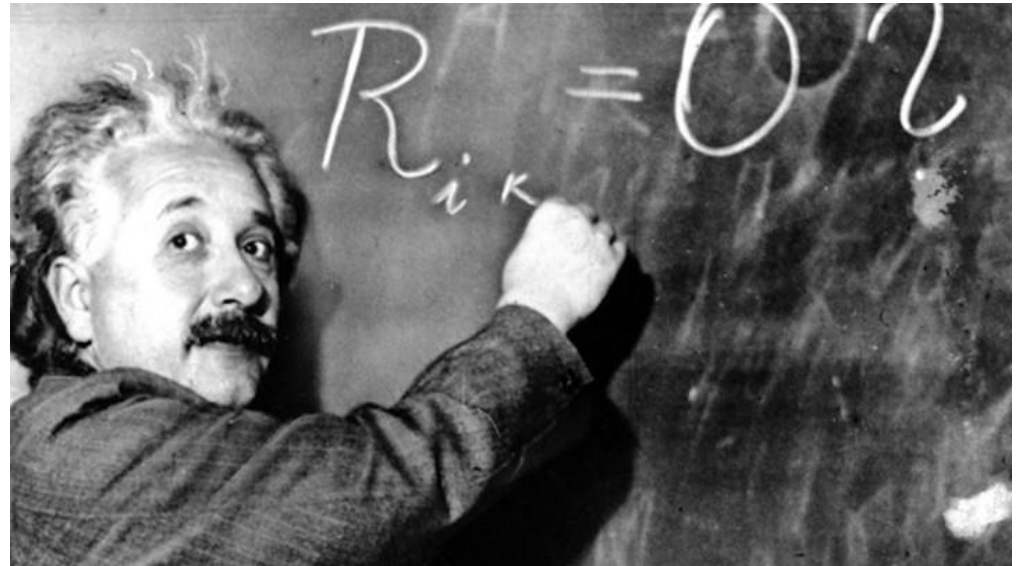
- Gwiazda, dla której prędkość ucieczki jest równa prędkości światła
- Im mniejszy obiekt, przy danej masie, tym większa wartość prędkości ucieczki



Pierre Simon de Laplace (1749-1827)

Ogólna Teoria Względności (1916)

Czas i przestrzeń są dynamicznymi obiektami biorącymi aktywny udział w procesach fizycznych



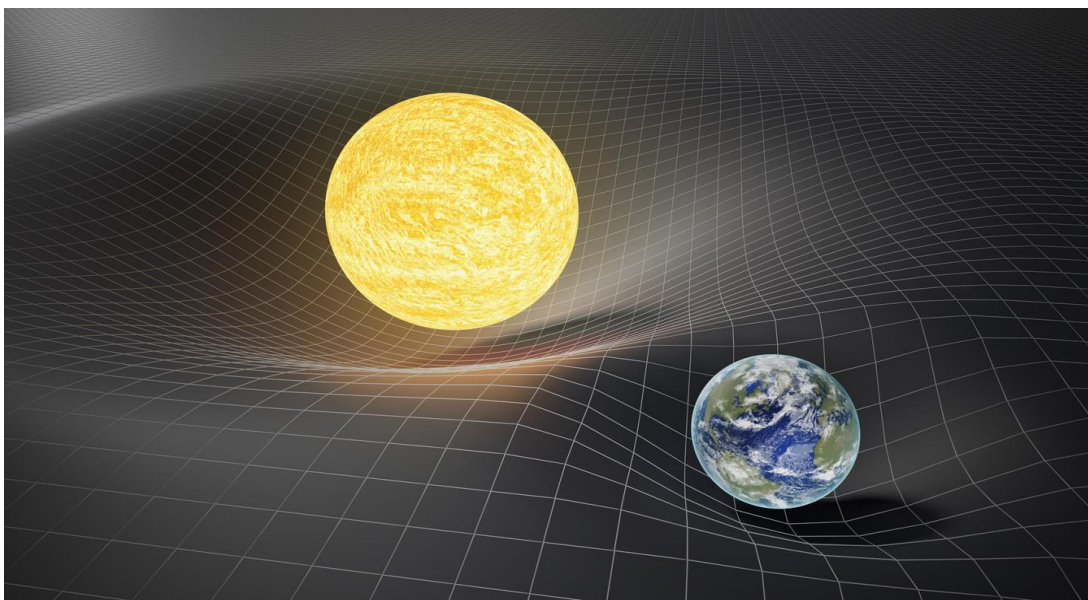
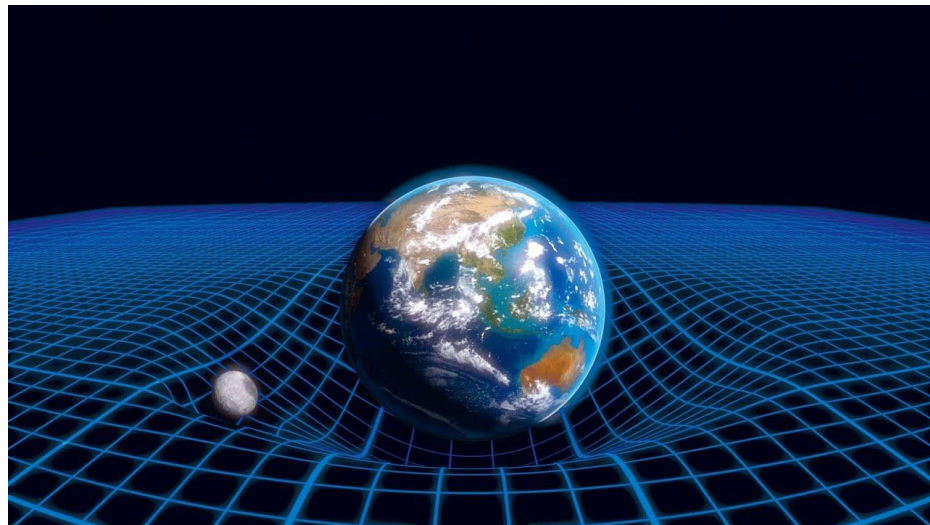
Albert Einstein (1879-1955)

A photograph of a piece of aged, yellowed paper with handwritten mathematical notes in cursive. The notes include the text "les (positiv geordnet)" and "conkur ist) in genügtenden", followed by the equation $B = \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{\partial y}{\partial x_1} dx_2$, and then "und (23) und (20) ergeben". At the bottom, the equation $\gamma = \sqrt{\frac{g_{44}}{g_{11}}} = 1 + \frac{\alpha}{2v}$ is written.

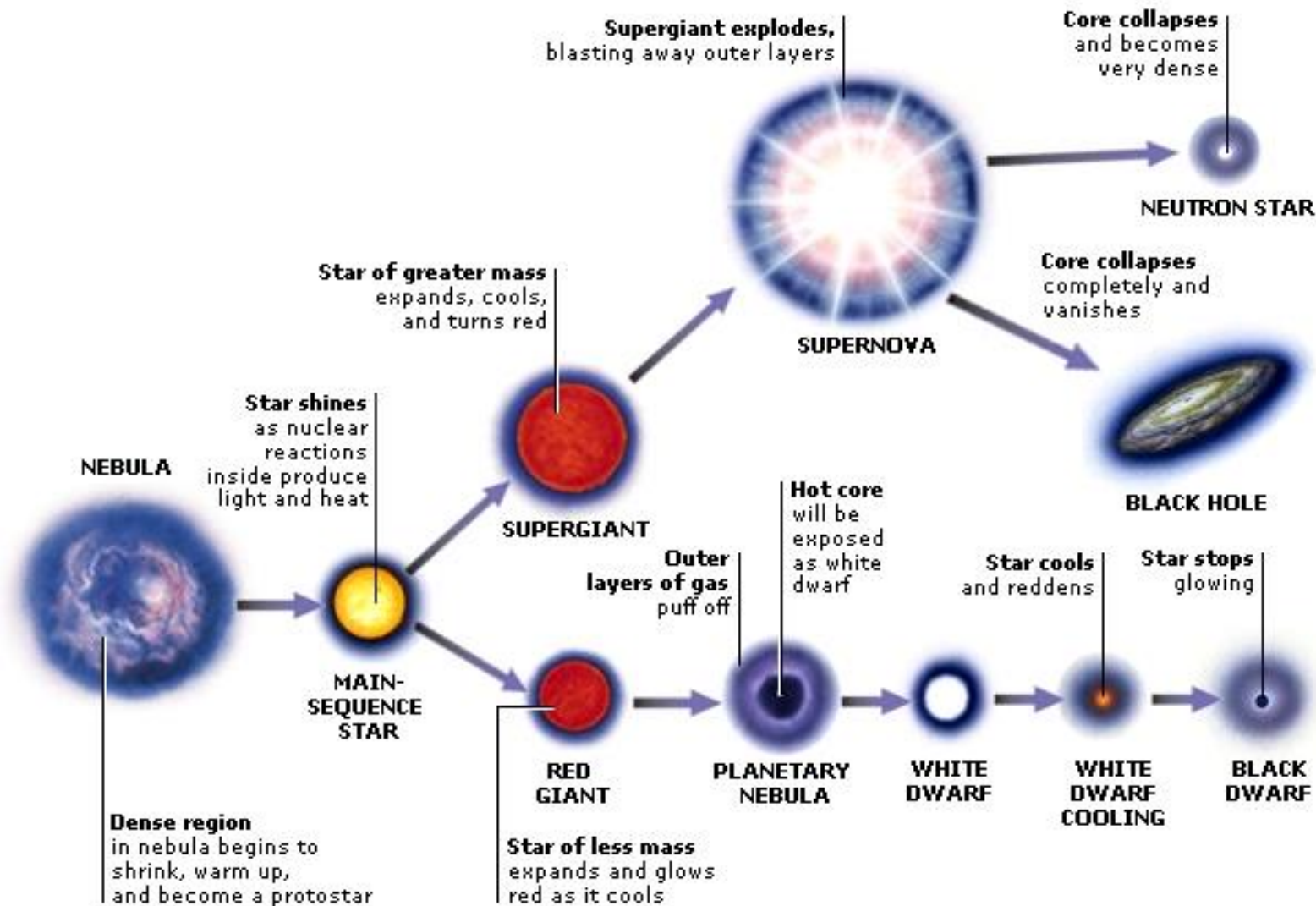
Wszyscy obserwatorzy
są równoważni

Ogólna Teoria Względności

Masa i Energia modyfikują
(zakrzywiają) otaczającą je
czasoprzestrzeń

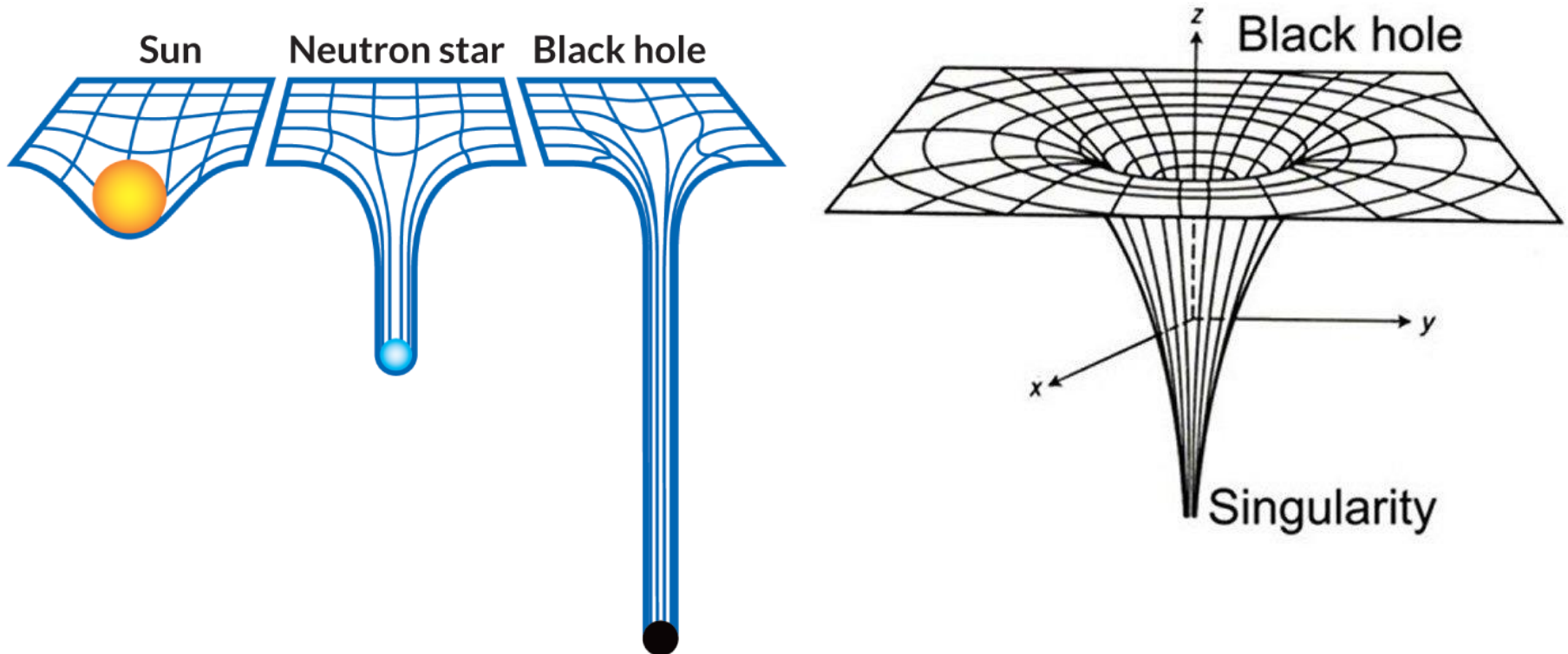


Życie gwiazd!



Czarne dziury

- Obszar czasoprzestrzeni z którego nie ma ucieczki
- Granicą tego obszaru jest *horyzont zdarzeń* złożony z fotonów, którym prawie udało się uciec

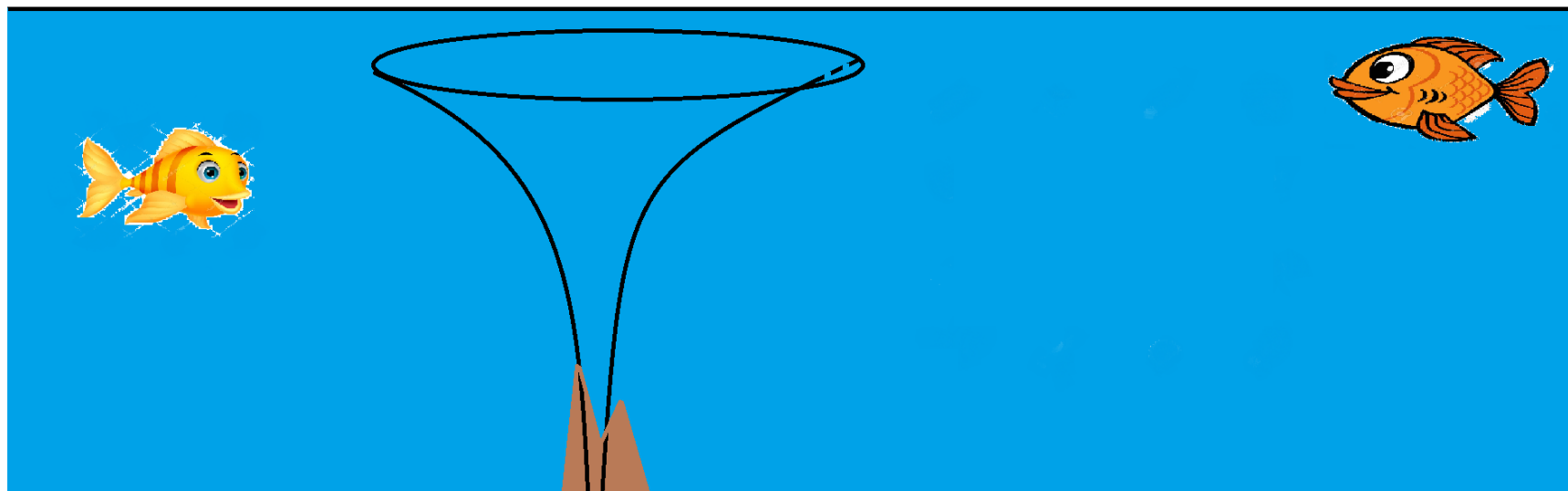


Analogia czarnej dziury



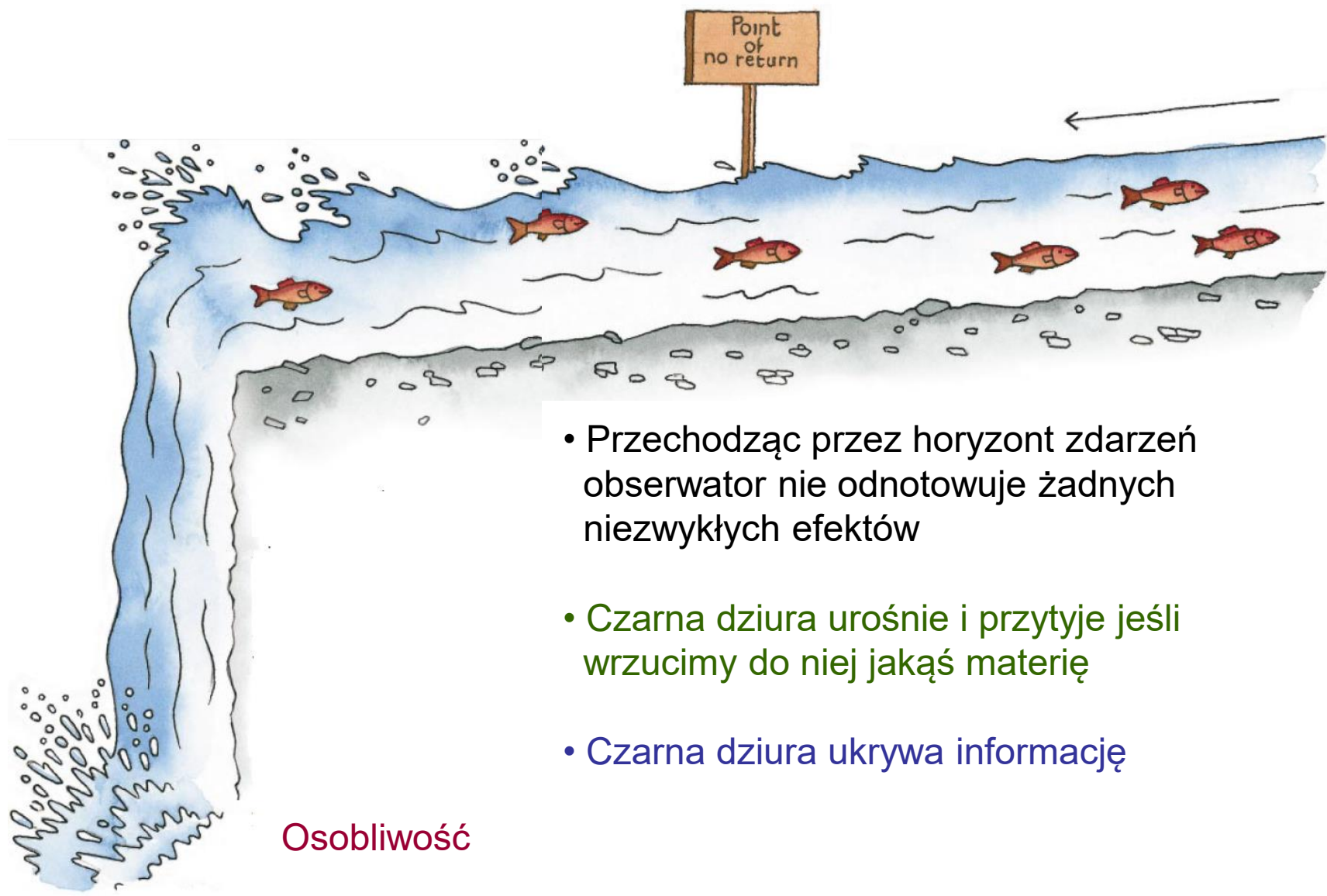
William Unruh

Punkt bez powrotu



Osobliwość

Czarne dziury a reszta świata ...

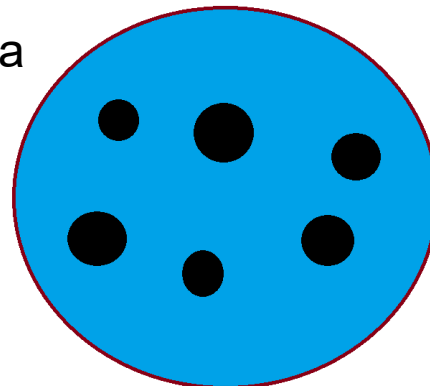
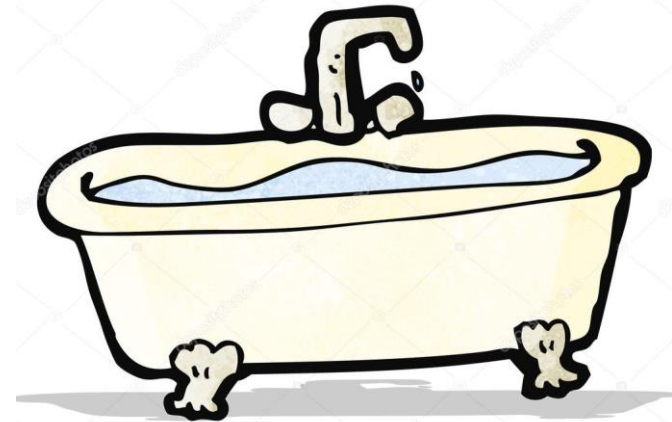


- Przechodząc przez horyzont zdarzeń obserwator nie odnotowuje żadnych niezwykłych efektów
- Czarna dziura urośnie i przytyje jeśli wrzucimy do niej jakąś materię
- Czarna dziura ukrywa informację

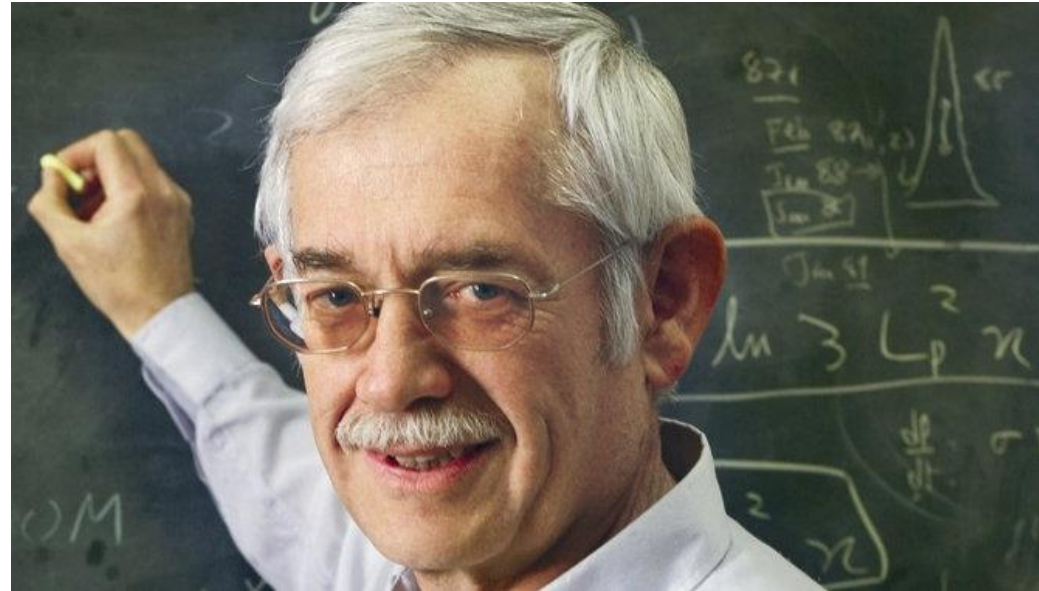
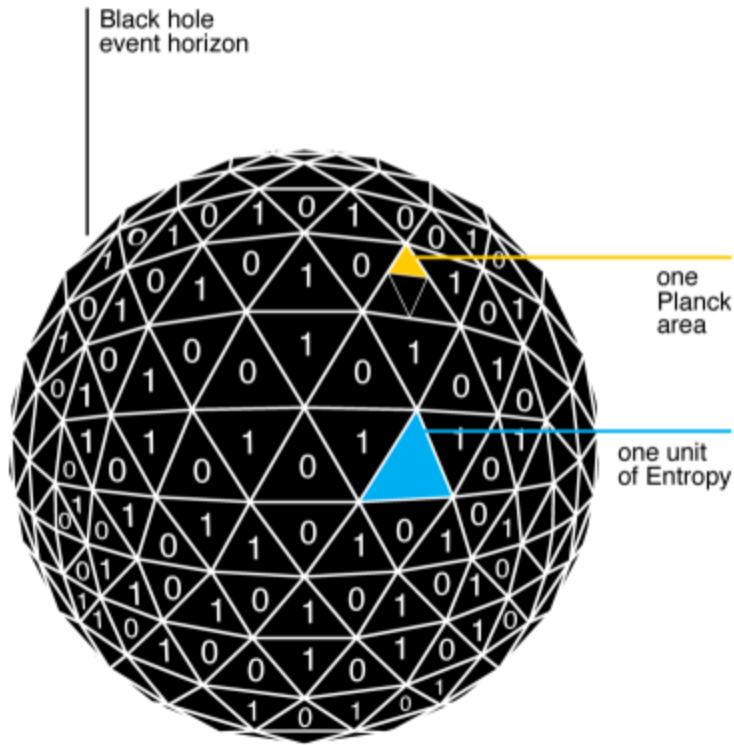
Osobliwość

entropia

- Entropia mierzy informację ukrytą w mikroskopowych stopniach swobody
- Entropię mierzy się w bitach
- Z reguły liczba bitów $\sim$ objętość sytemu
- Druga zasada termodynamiki:
entropia nigdy nie maleje
- Informacja nie może być zniszczona



Czarne dziury mają entropię (1972)



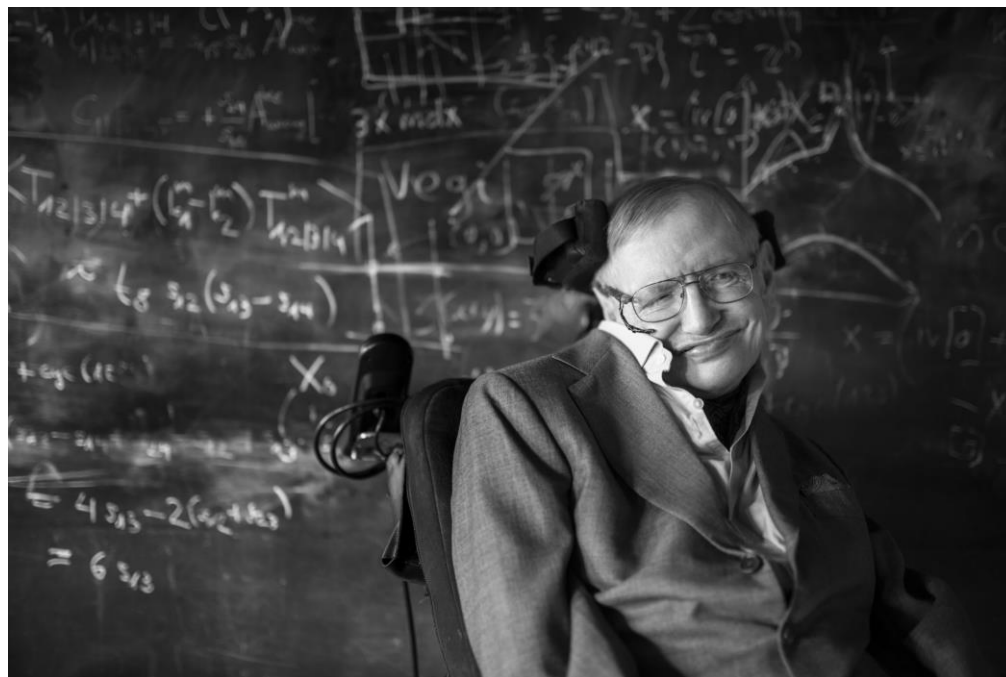
Jacob Bekenstein (1947-2015)

Czarne dziury mają entropię proporcjonalną do pola powierzchni horyzontu zdarzeń mierzonego w jednostkach Plancka

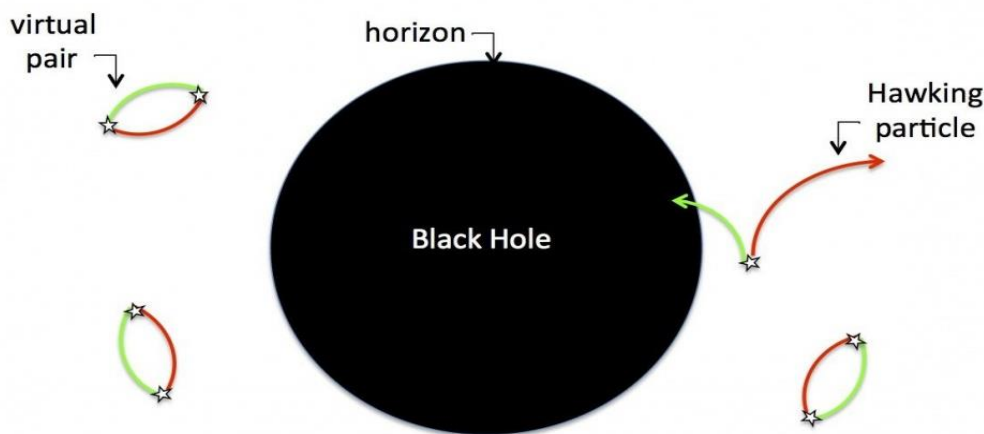
$$\text{One Planck Area} = 10^{-66} \text{ m}^2$$

Czarne dziury nie są czarne!

- Czarne dziury emitują cząstki!
- Zachowują się jak rozgrzane obiekty
- Czarne dziury znikają wypromieniowując swoją masę!



Stephen Hawking (1942-2018)



Dla zewnętrznego obserwatora horyzont zdarzeń wygląda jak gorąca, gęsto upakowana materia powierzchnia

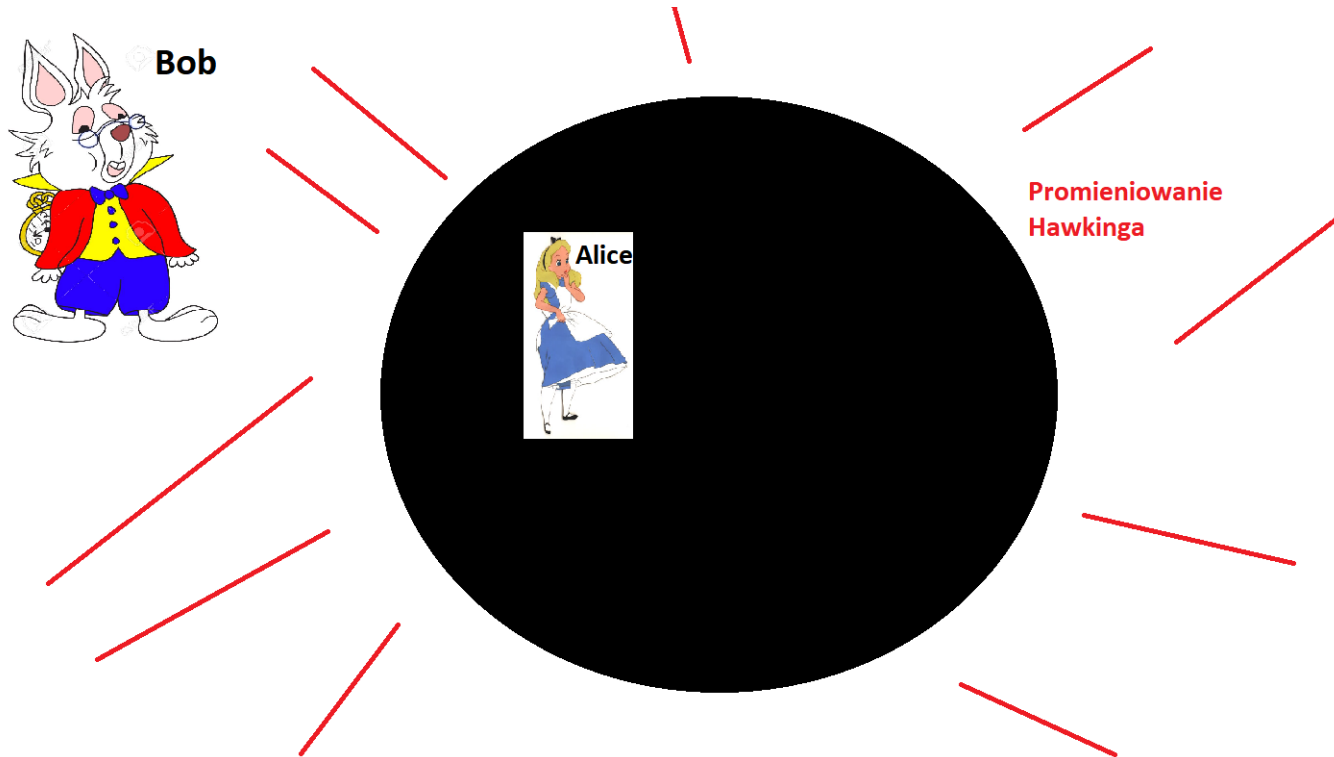
Paradoks ...



- Dla spadającego obserwatora horyzont zdarzeń niczym się nie różni od reszty czasoprzestrzeni
- Zewnętrzny obserwator widzi kapiel materii rozsmarowanej na horyzoncie zdarzeń
- Czarne dziury niszczą informację ...!?

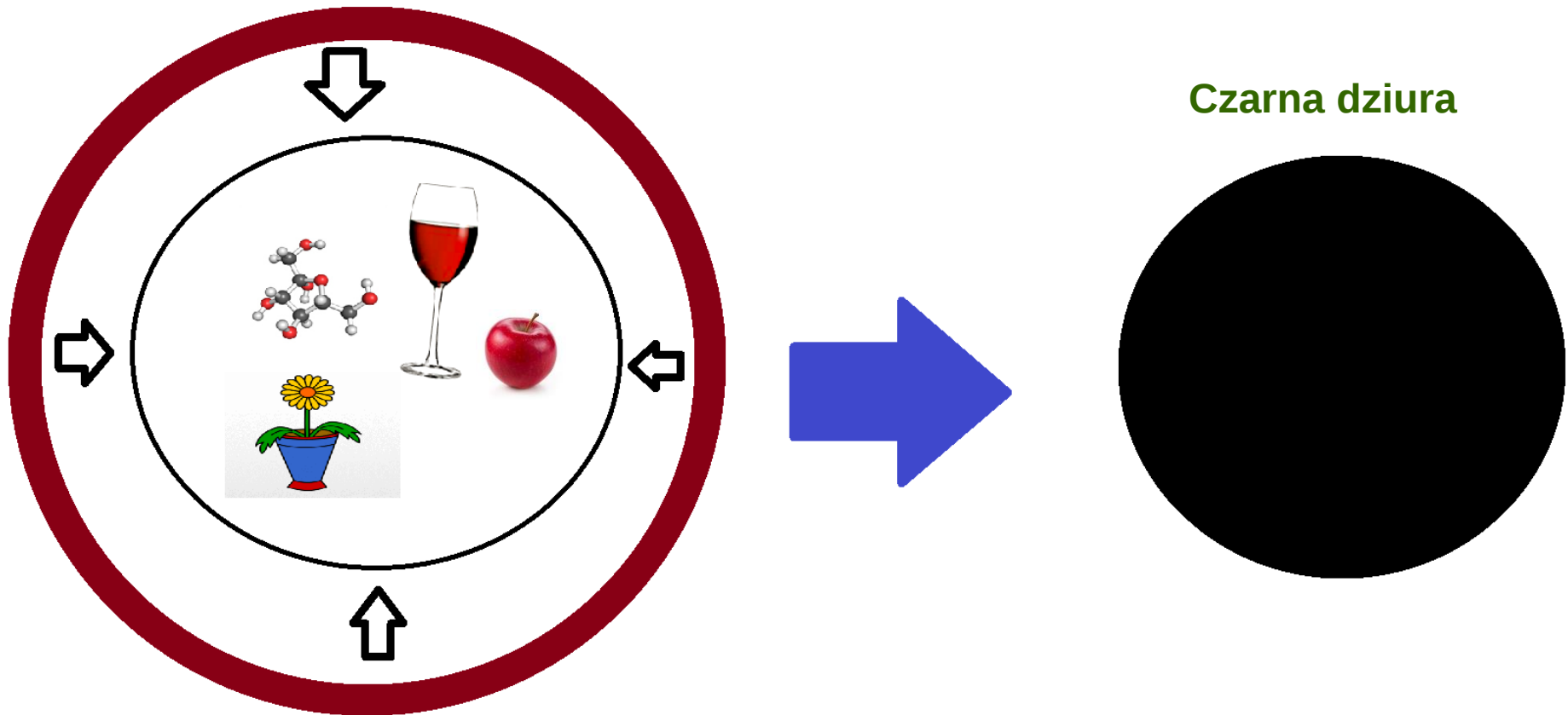
Komplementarność czarnych dziur

- Obaj obserwatorzy mają rację!
- Dwa równoważne opisy tej samej rzeczywistości:
 - dwuwymiarowy gorący płyn na horyzoncie zdarzeń
 - trójwymiarowy opis spadającego obserwatora



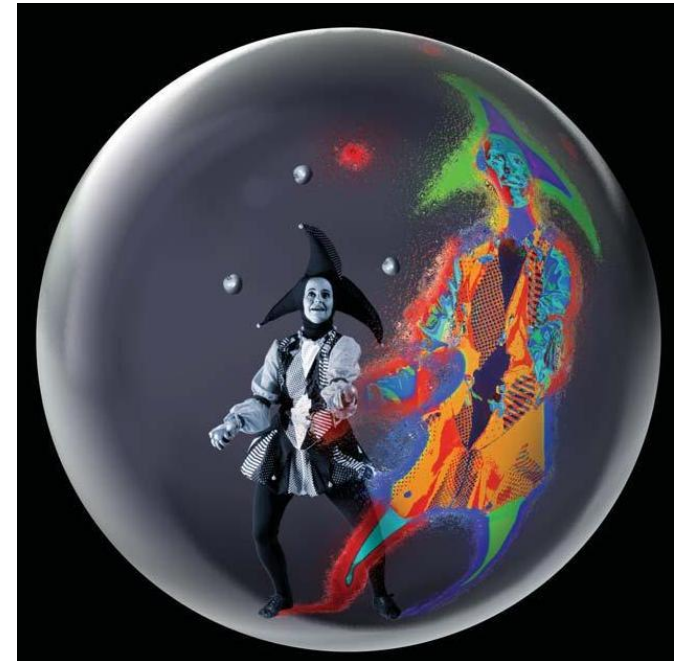
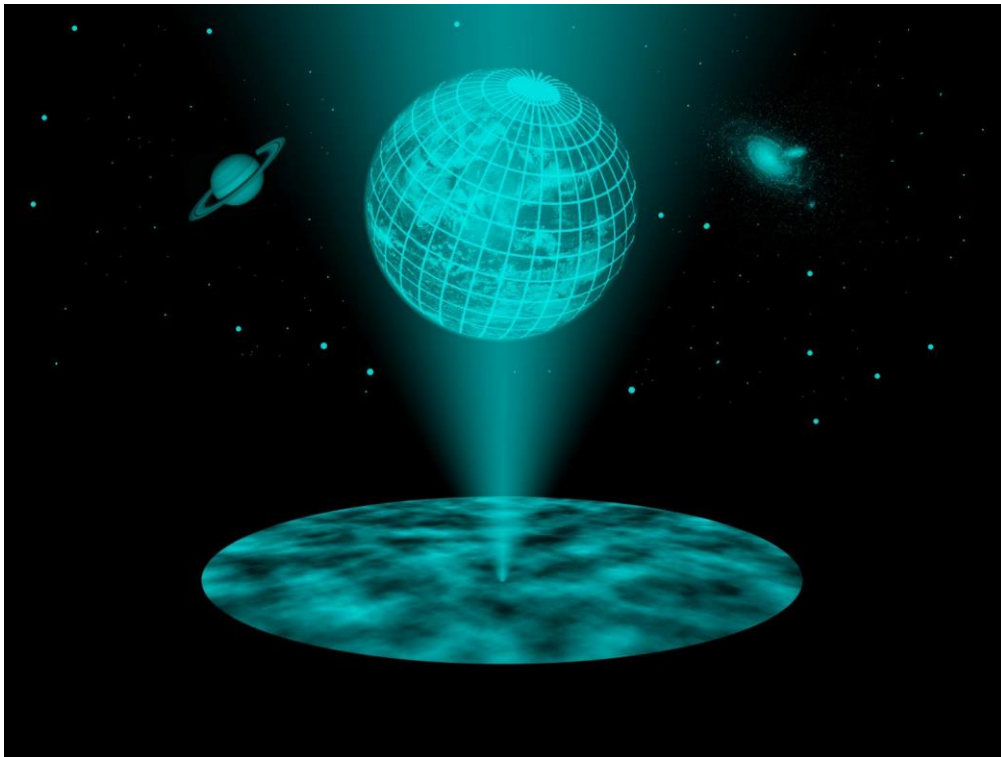
Maksymalna entropia

W wybranym obszarze przestrzeni
możemy zgromadzić nie więcej bitów niż
powierzchnia brzegu tego obszaru w
jednostkach powierzchni Plancka

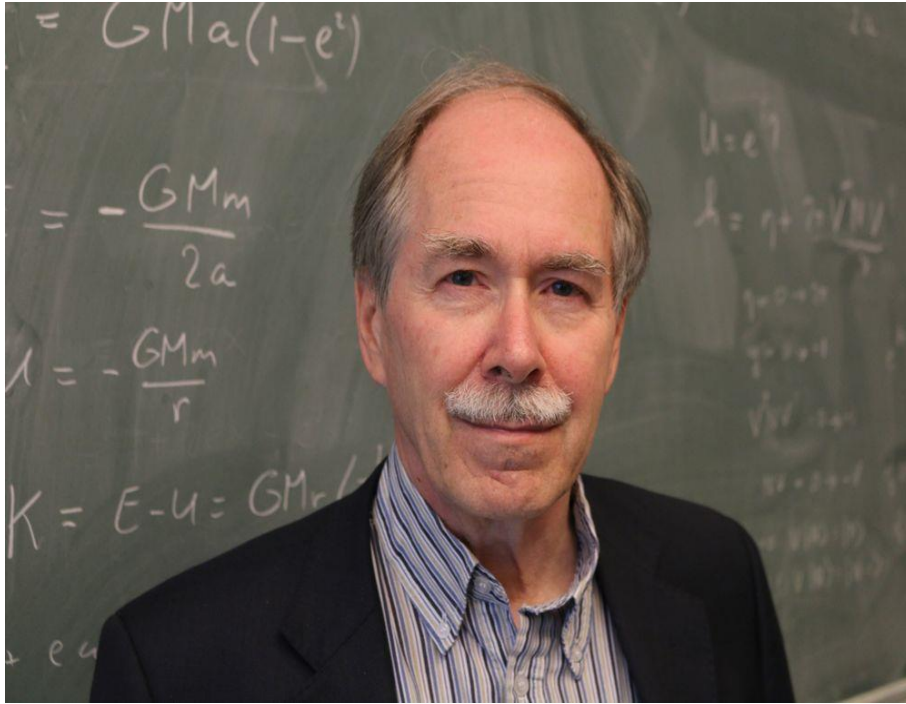


Zasada holograficzna

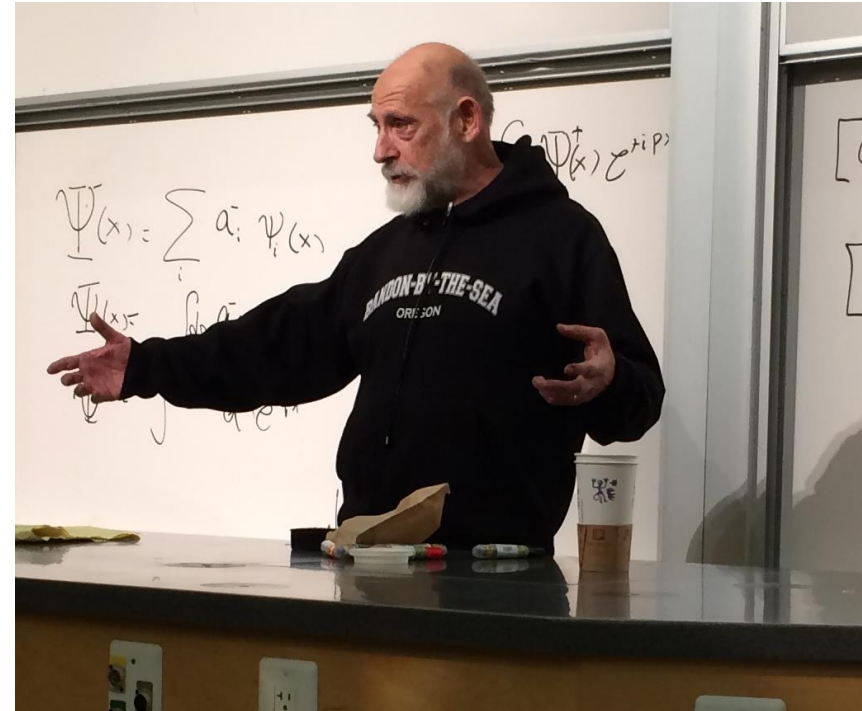
Fizyka w danym obszarze jest całkowicie opisana przez stopnie swobody żyjące na brzegu tego obszaru



Zasada holograficzna 1994



Gerard 't Hooft



Leonard Susskind

Podsumowanie

- Fizyka polega na porównaniu przewidywań teoretycznych ze szczegółowymi pomiarami
- Paradoksy i niezgodności między przewidywaniami a pomiarami stymulują rozwój nowych koncepcji
- Wciąż jest mnóstwo do zrobienia!

KONIEC!

