

შავი ხვრელის კორიზონტი

- შვარცშილდის ამონახსნი
- ვარდნა შავ ხვრელში
- ინფორმაციული პარადოქსი

მარიამ ჩიტიშვილი

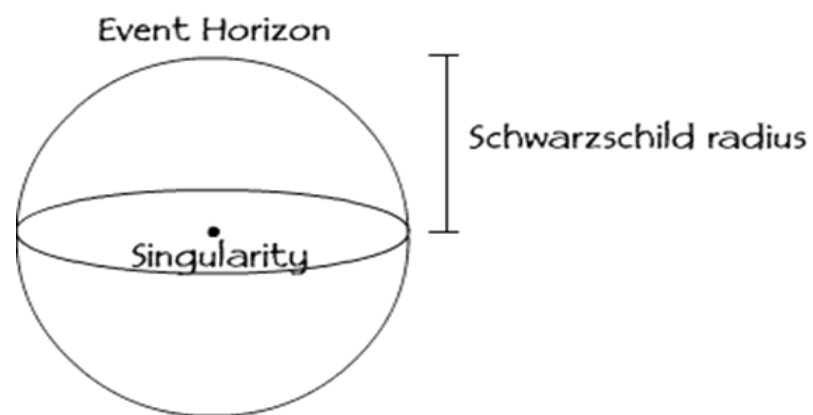
შვარცშილდის ამონახსნი

- შვარცშილდის ამონახსნი აინშტაინის განტოლებების ყველაზე რეალური და გამოსადეგია ამონახსნია. შვარცშილდის მეტრიკას აქვს ორი სინგულარობა $r=0$ და $r=r_s$
- ნებისმიერი ობიექტი რომლის რადიუსიც r_s – ზე მცირეა შავი ხვრელია
- საზღვარს რომლის შემდეგაც შავი ხვრელის მიზიდვას სინათლემ კი ვერ დააღწევს თავს მოვლენათა ჰორიზონტს ვუწოდებთ

•

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}R g_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}$$

$$ds^2 = - \left(1 - \frac{2GM}{c^2 r} \right) (cdt)^2 + \left(1 - \frac{2GM}{c^2 r} \right)^{-1} dr^2 + r^2 d\Omega^2 .$$



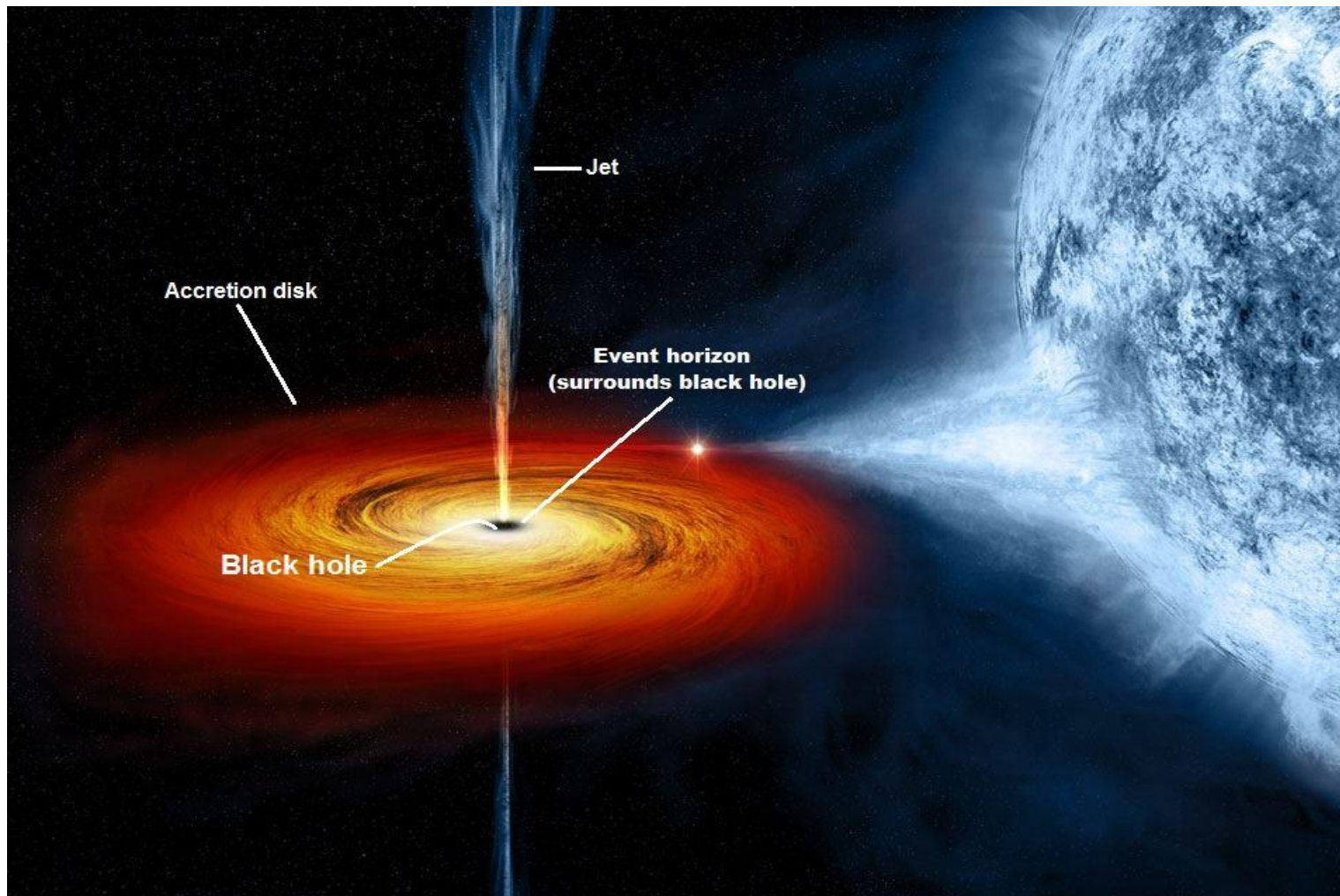
$$R_{Sch} = \frac{2GM}{c^2}$$

R_{Sch} = Schwarzschild radius

G = Gravity Constant

M = mass of black hole

c = speed of light



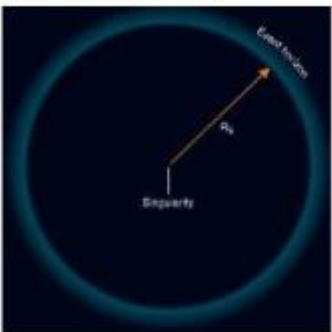
- შავ ხვრელში ვარდნილი სხეული ვერ მიხვდება როდის გადაკვეთა მოვლენათა ჰორიზონტი, გარეშე დამკვირვებლისთვის კი ვარდნილი საგანი უსასრულოდ გაიწელება.

Black Hole

Schwarzschild Radius and Event Horizon



- Velocity needed to escape Earth's gravity from the surface: $v_{esc} \approx 11.6 \text{ km/s}$
- Event Horizon Escape Velocity = c (Nothing can escape)
- We have no way of finding out what's happening inside the Schwarzschild radius.



$$v_{escape} = \sqrt{\frac{2GM}{r}}$$

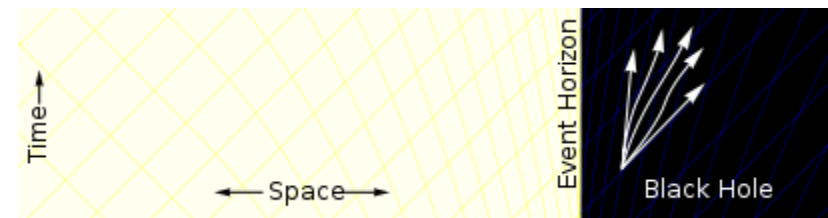
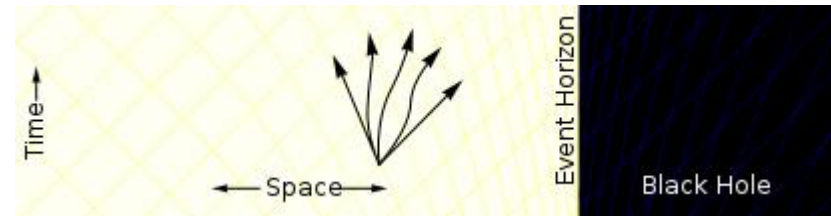
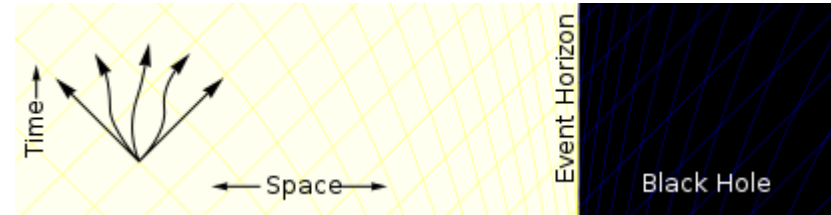
which if v is set equal to c gives a radius

$$r = \frac{2GM}{c^2}$$

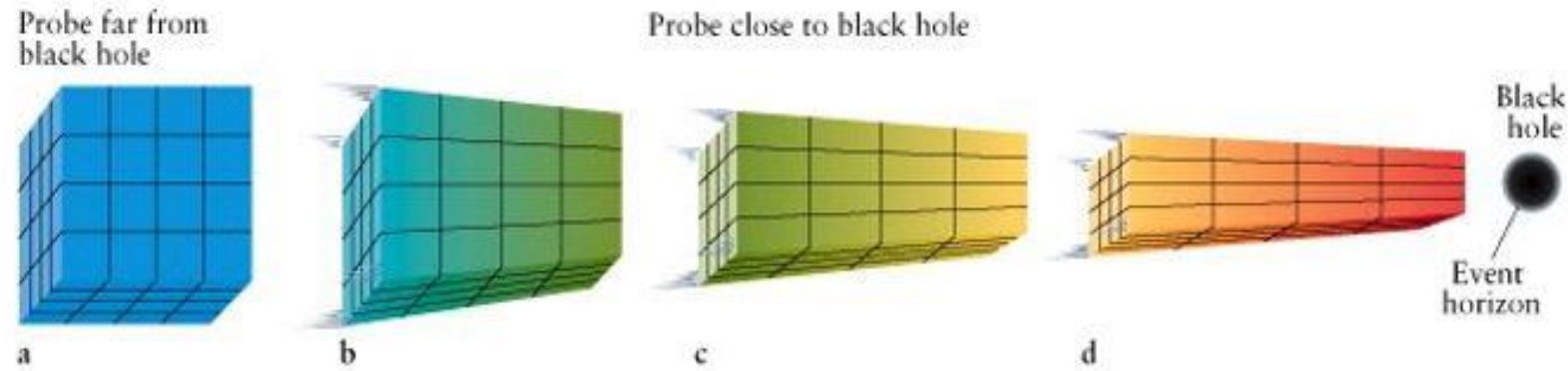
Schwarzschild Radius

This equivalence is useful as a mnemonic, but does not imply that this is a valid way to derive the Schwarzschild radius.

შავ ხვრელთან რაც უფრო ახლოს მიდის სხეული
მისი თავის დაღწევის სიჩქარე უფრო მეტია.
შავ ხვრელში ჩათრეული სხეულის თავის
დაღწევის სიჩქარე სინათლის სიჩქარეზე დიდია.



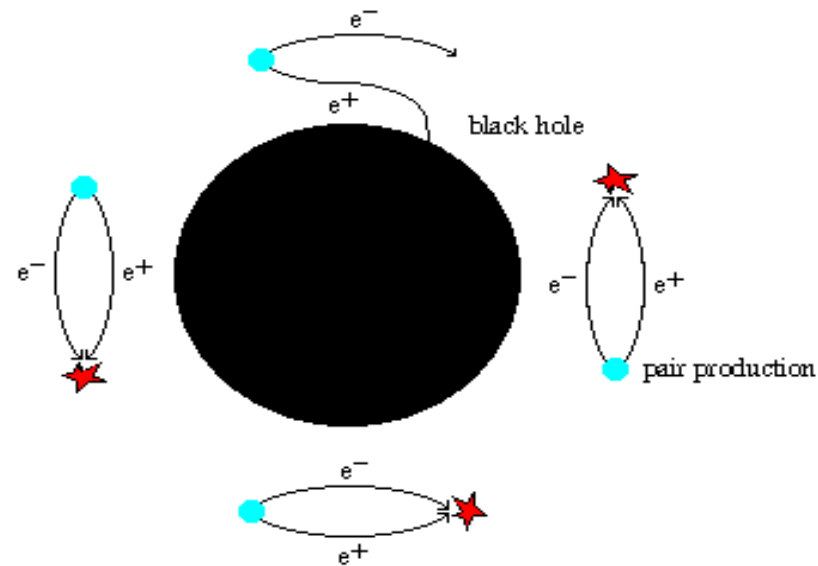
Falling into a black hole



Falling into a black hole gravitational tidal forces pull spacetime in such a way that time becomes infinitely long (as viewed by distant observer). The falling observer sees ordinary free fall in a finite time.

Hawking Radiation

the strong gravitational field around a black hole causes pair production



if a pair is produced outside the event horizon, then one member will fall back into the black hole, but the other member will escape and the black hole loses mass

the amount of mass lost is greater for small black holes, therefore quantum sized black holes disintegrate in very short timescales

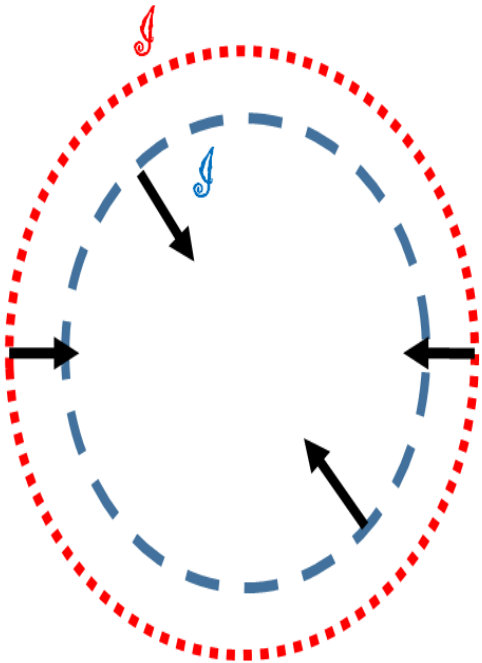
ინფორმაციული პარადოქსი:

შავი ხვრელი შეგვიძლია წარმოვიდგინოთ როგორც შავი სხეული. შთაინთქმება მატერია და გამოსხივდება მხოლოდ სითბური გამოსხივება.

თუ შავი ხვრელი ყველაფერს შთანთქავს ასევე შთანთქავს ინფორმაციას რომელსაც ეს ყველაფერი ატარებს, საბოლოოდ კი სხივდება მხოლოდ სითბო. სად მიდის ინფორმაცია?

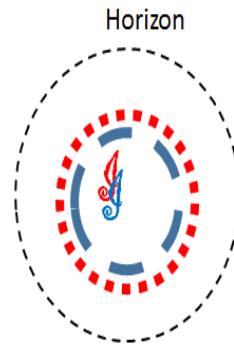
In (Non-Quantum) General Relativity, Information That Goes Into a Black Hole Stays Inside, and Cannot Be Accessed From Outside

1



M. Strassler 2014

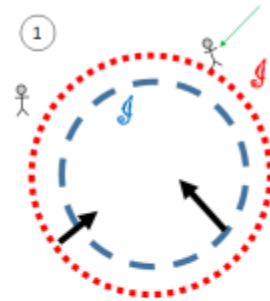
2



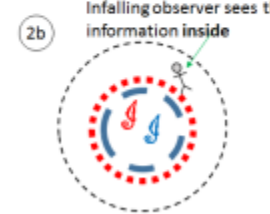
1915-1958: Physicists gradually understand that extremely compact objects have a **horizon** (a surface of no-return) and an **interior** from which nothing cannot escape: a "Black Hole"

Complementarity: Where The Information Is Located Depends on One's Point Of View; The Information is Neither Lost Nor Copied

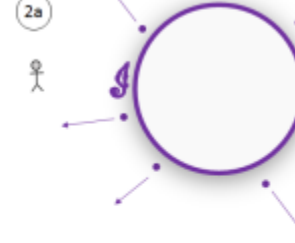
1



2b



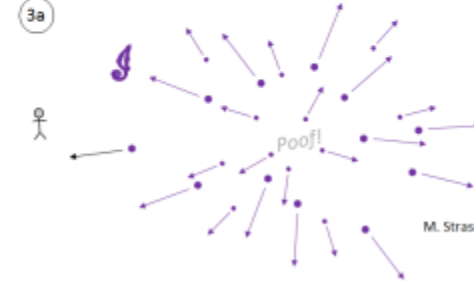
2a



Idea proposed 1992; Supported partially by calculation

Outside observer sees information remain just outside the black hole, eventually to be radiated back into space

3a



M. Strassler 2014

If This Is True, Quantum Theory Works, but **General Relativity Must Be Modified**, Perhaps to Something Like String Theory.

