

# გრავიტაციის თერმოდინამიკური თეორია



# სამყაროში ყველაფერი ინფორმაციაა!

- რა არის ინფორმაცია? შეგვიძლია თუ არა მისი რაოდენობრივი აღწერა
- ინფორმაცია შენახულია ბიტებში და რაოდენობრივად შეგვიძლია ვთქვათ რომ ინფორმაციის რაოდენობა არის ბიტების რაოდენობა, რადგან ბიტი არის ელემენტარული ინფორმაციის მატარებელი.

# რა არის emergence ?

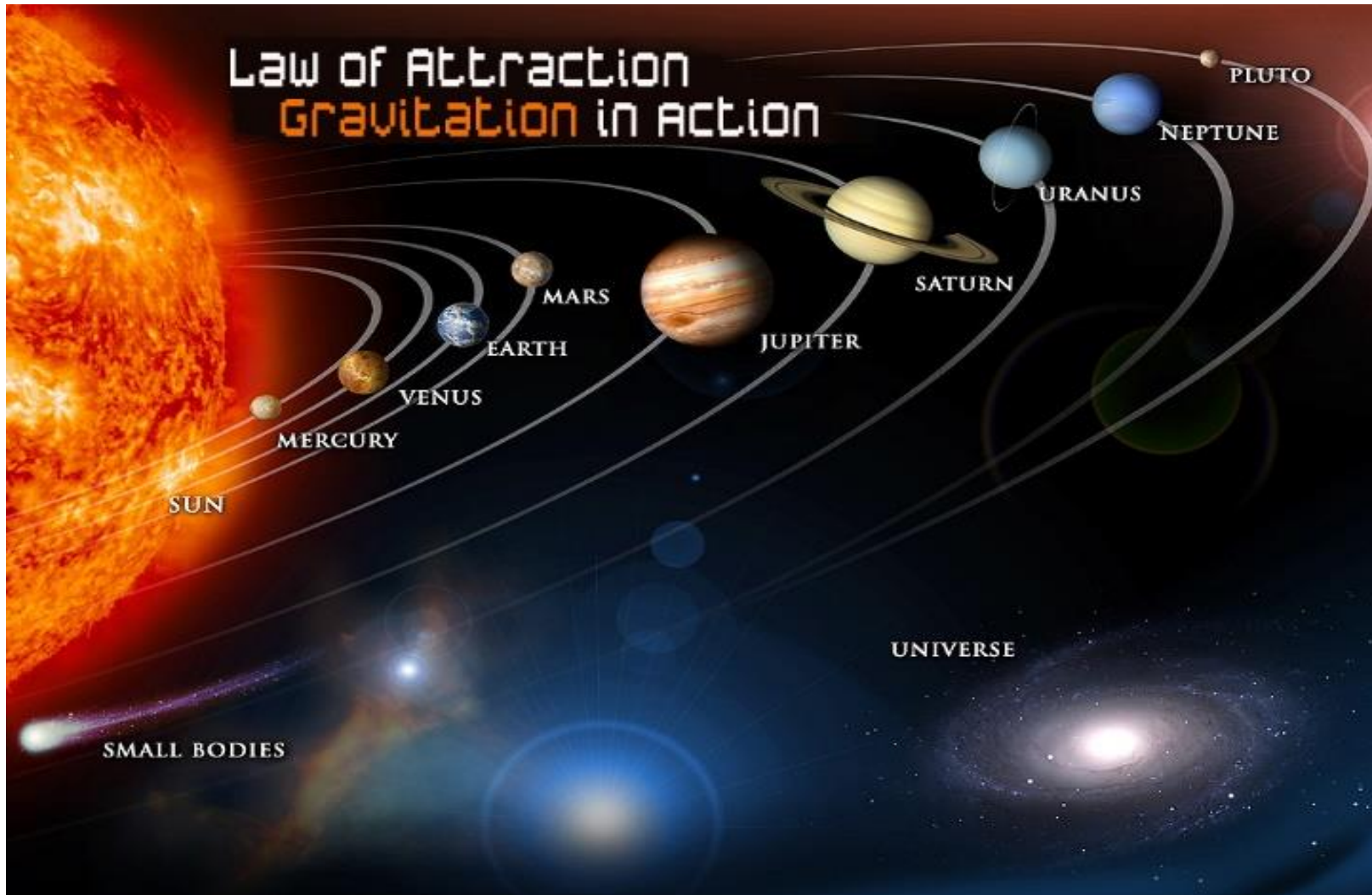
- გვქვს დიდმასშტაბიანი სტრუქტურა რომელიც შედგება ელემენტარული ერთეულებისგან და ეს ერთეულები არაფერს გვეუბნებიან სტრუქტურაზე რომელსაც ისინი ქმნიან.
- მაგალითად: სურათი და მისი შემადგენელი პიქსელი, თერმოდინამიკური საშუალო სიდიდეები და მიკოსკოპული მდგომარეობები.

# ინფორმაცია და ენტროპია

- შენონის ენტროპია:  $H(p) = -\sum p_i \log_2 p_i$  სადაც  $p_i$  არის  $i$  მიკრო მდგომარეობის ალბათობა
- განვიხლოთ ცფრული წრედი ორ ბიტიათ შესავალით ( $X Y$ ) და გამოსავალით ( $X \vee Y, X \& Y$ )
- შესავალზე: (0 0), (0 1), (1,0), (1 1) თითოეული  $\frac{1}{4}$  ალბათობით, შენონის ენტროპია:  
 $4(-\frac{1}{4} \log_2 (1/4))=2,$
- გამოსავალზე (1 0 ) და (0 1) ერთი და იგივეა ( $X \vee Y$ ) ამიტომ ენტროპია :
- $2(-\frac{1}{4} \log_2 (1/4)) - \frac{1}{2} \log_2 (1/2)=1.5$

ინფორმაცია დაიკარგა, პროცესი შეუქცევადია...

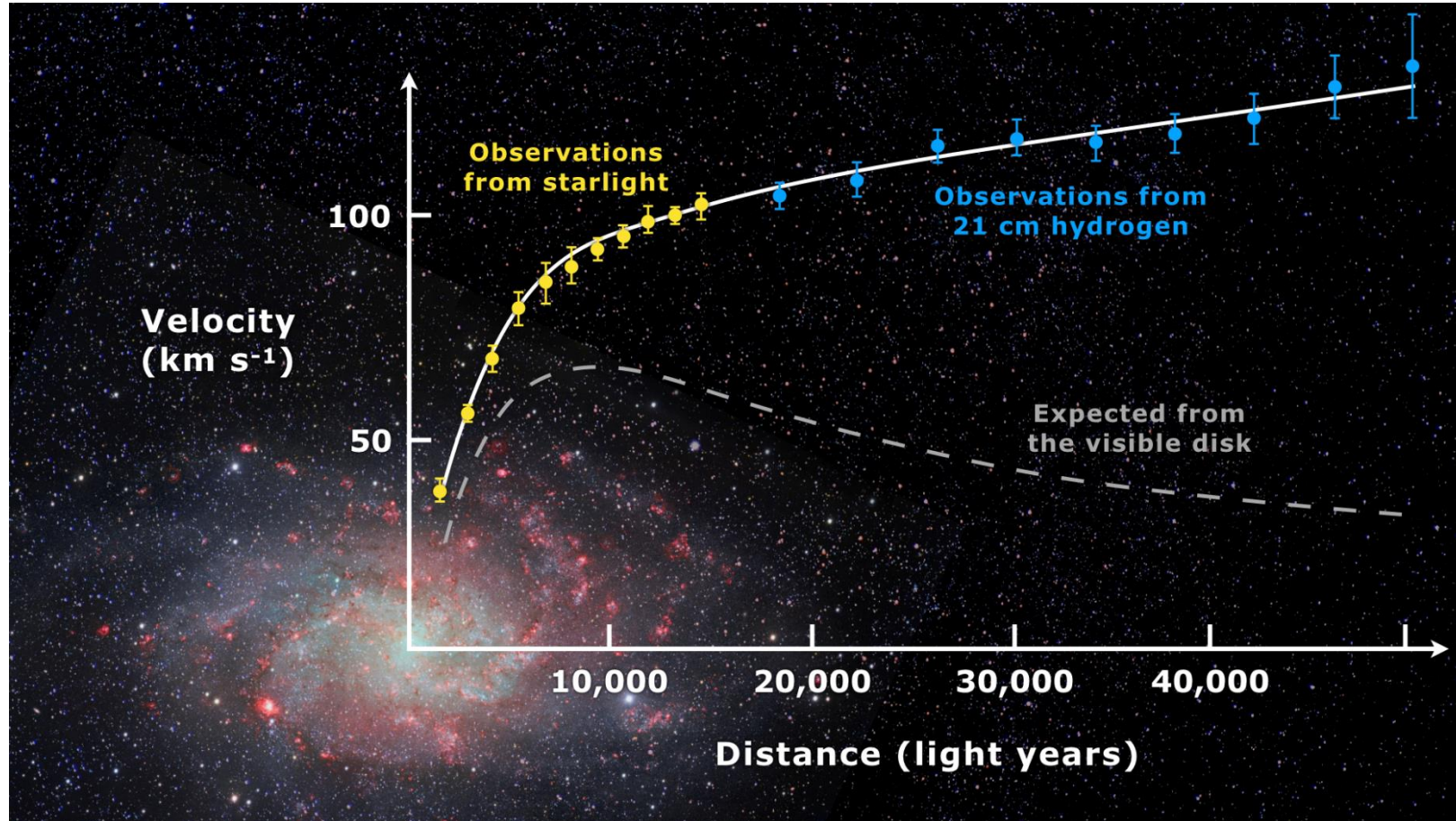
# ნიუტონის გრავიტაცია



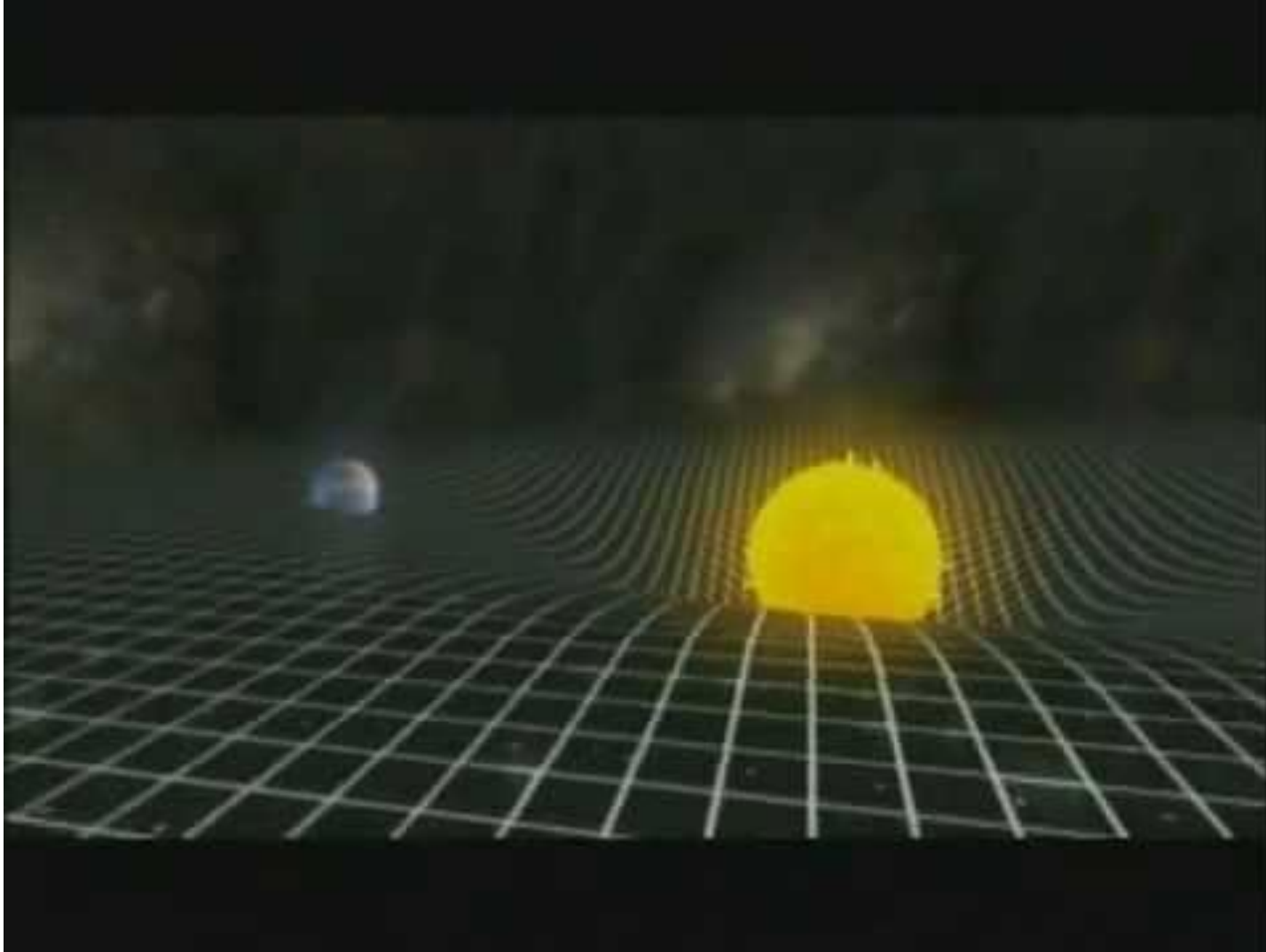
$$F = G \frac{m_1 m_2}{d^2}$$



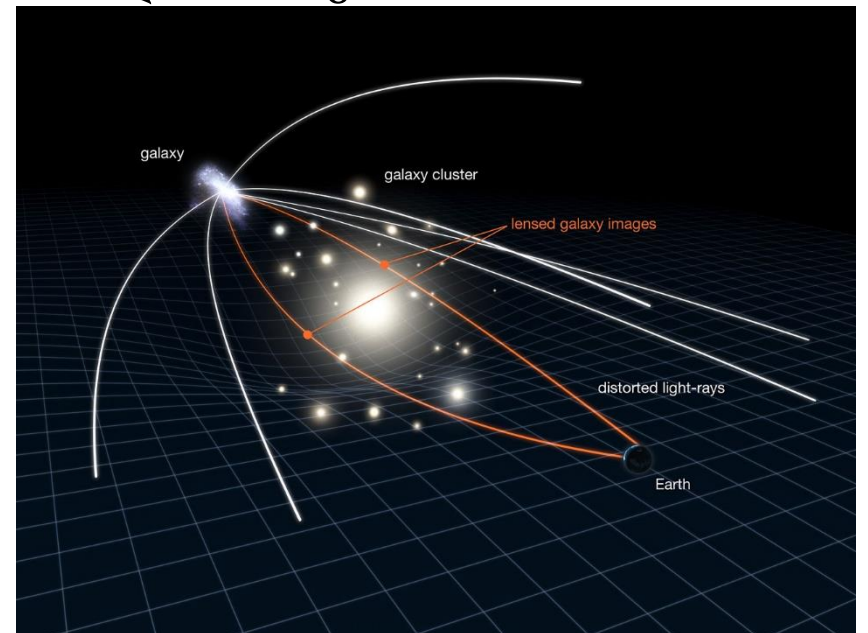
# ნიუტონის გრავიტაცია ვერ ხსნის გალაქტიკების დინამიკას



# აინშტაინის გრავიტაცა



- გრავტაცია შედეგია მასიური სხეულების მიერ სივრცე-დროის გამრუდების.
- გამრუდებულ სივრცე დროში სინათლე წრფივად აღარ ვრცელდება - გრავიტაციული ლინზირება

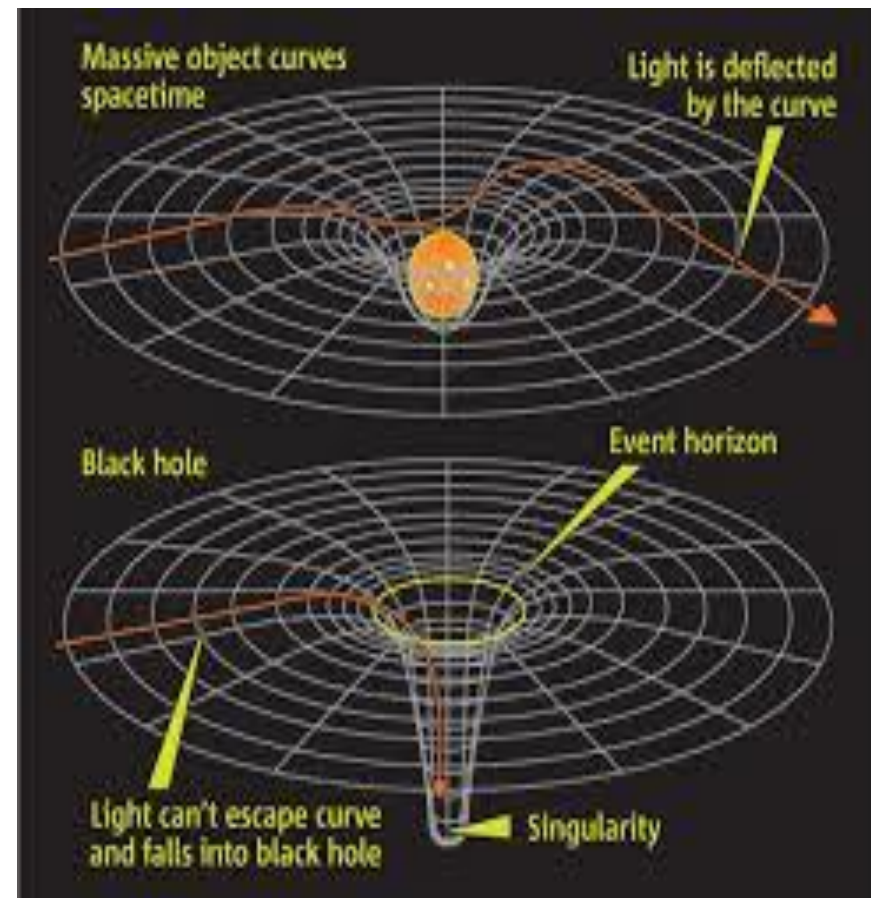
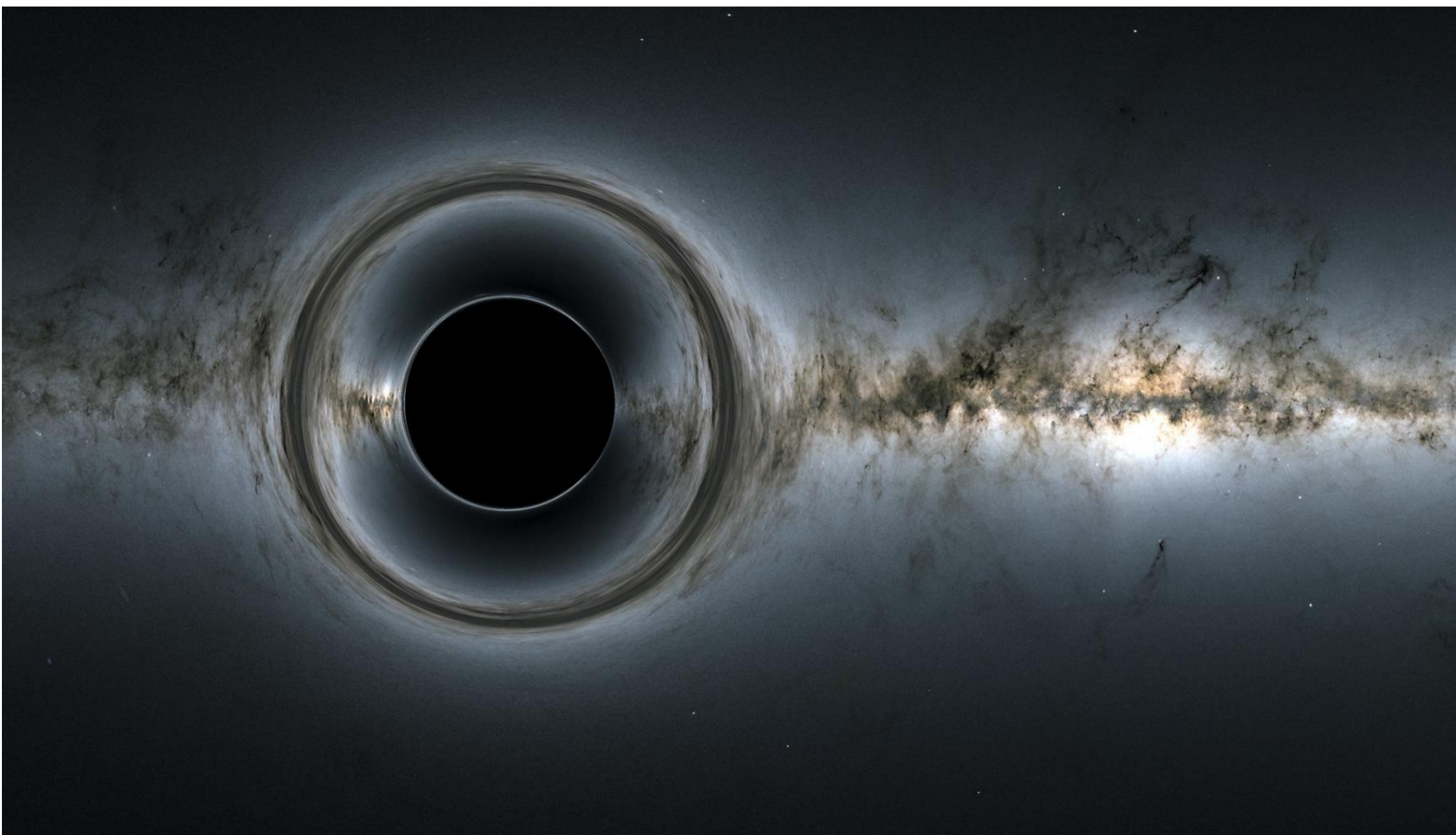


# გალაქტიკების პრობლემა ისევ პრობლემაა

- ნიუტონის გრავიტაციის მიხედვით უნდა არსებობდეს რაღაც მატერიის ფორმა რომელიც მხოლოდ გრავიტაციულად ურთერთქმდება
- ან დიდ მასშტაბებზე გრავიტაცია სხვაგვარად მოქმედებს
- ან არსებობს სხვა ახსნა...

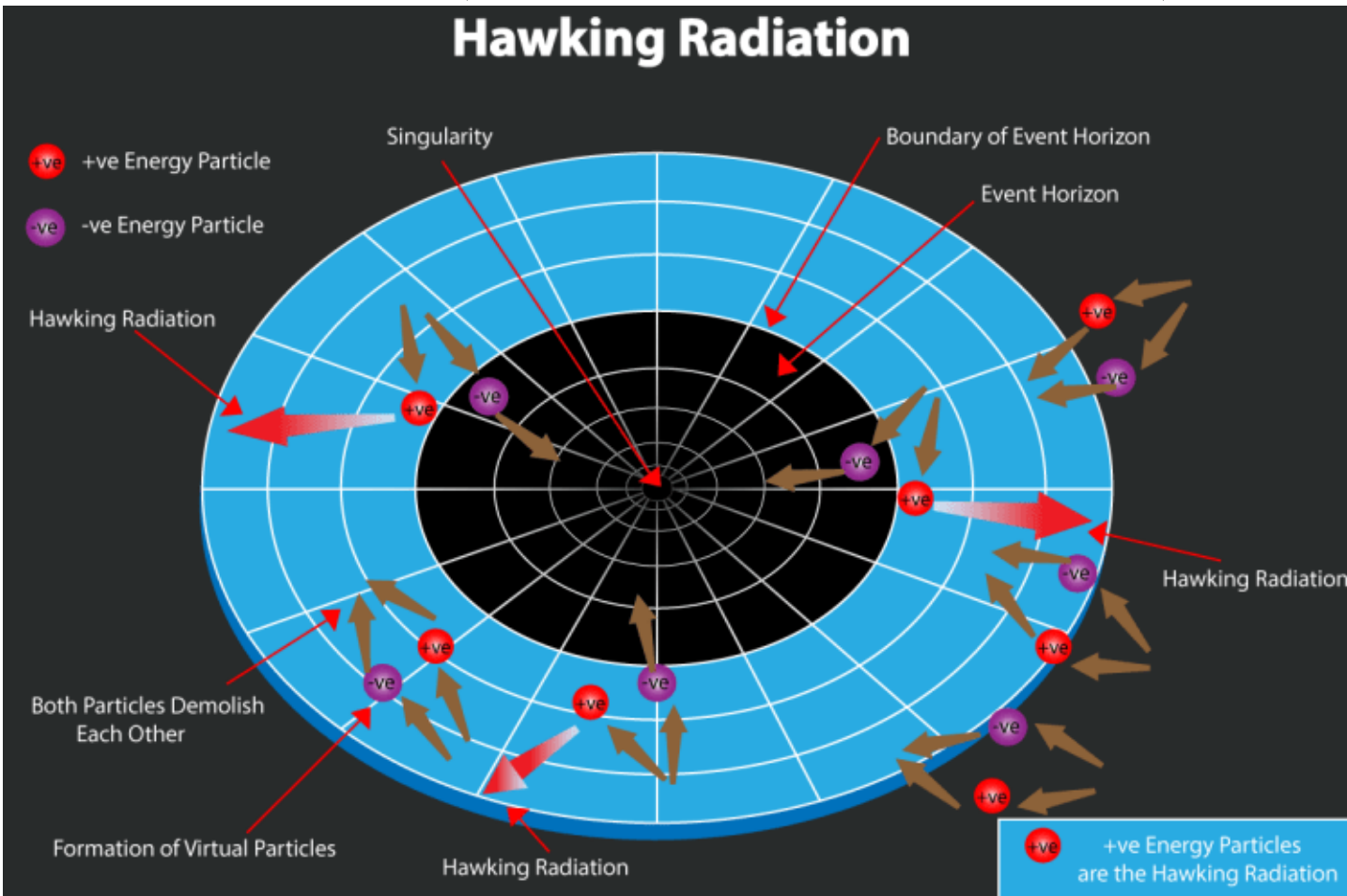


# შავი ხვრელები- გრავიტაციის უკეთ გაგების საშუალება



# შავი ხვრელების თერმოდინამიკა

- რა მოსდის ინფორმაციას როდესაც შედის შავ ხვრელში?



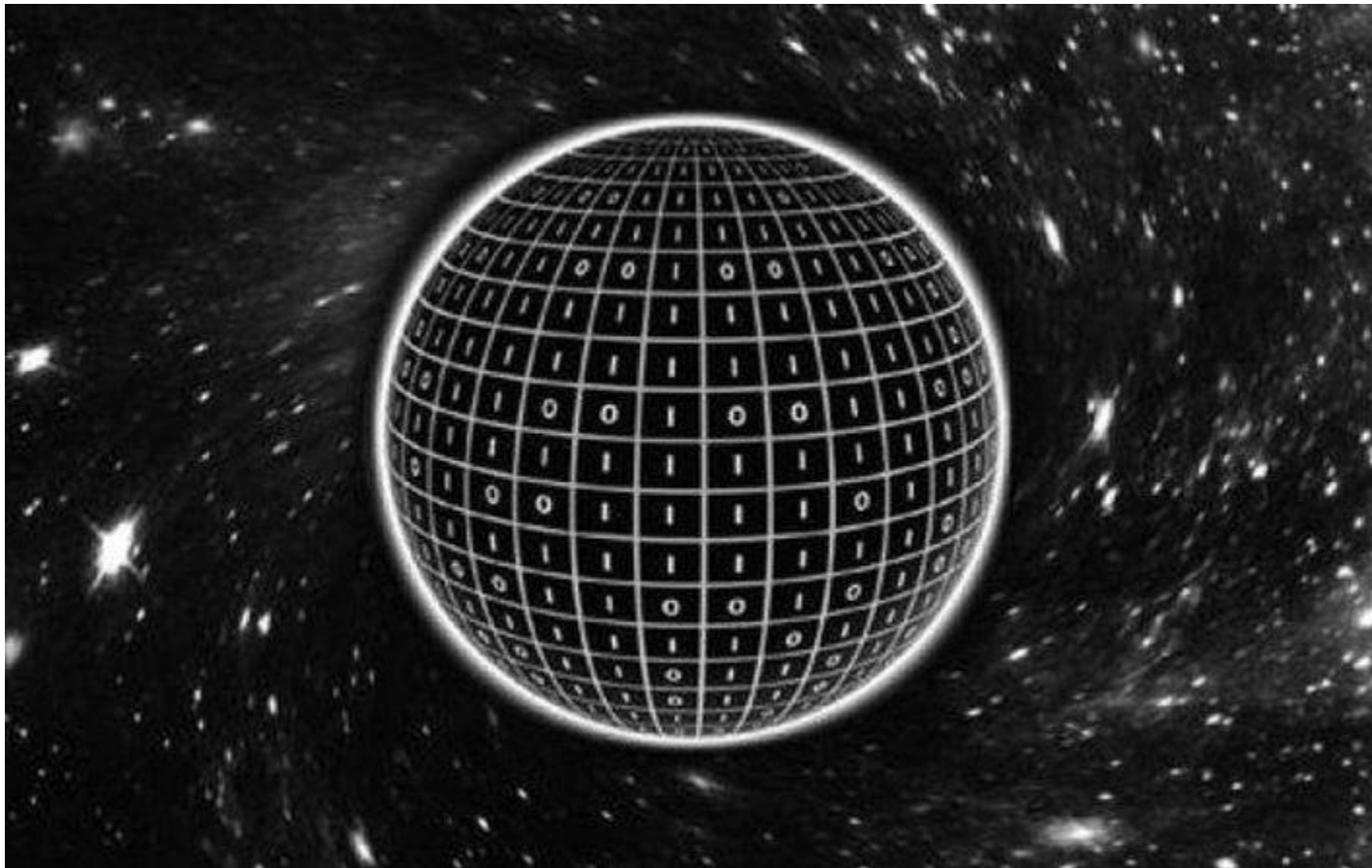
$$T = \frac{1}{2\pi} \frac{\hbar g}{kc}$$

$$g = \frac{GM}{R^2}$$

- ნაწილაკები შეიძლება გაჩნდნენ და რეკომბინირდნენ ვაკუუმში რადგან ვაკუუმი კვანტური განუზღვრელობის გამო შეიცავს ფლუქტუაციებს
- შავი ხვრელების ტემპერატურა განისაზღვრება ნაწილაკებით, რომლებმაც ვერ მოასწეს რეკომბინაცია და ერთი აღმოჩნდა ჰორიზონტის შიგნით ერთი კი გარეთ
- მიკროსკოპულადაც და მაკროსკოპულადაც შავი ხვრელები კვანტური ობიექტებია !

# შავი ხვრელების ინფორმაცია

- ყველაზე 'ტევადი' ჩიპი შავი ხვრელია



ინფორმაცია რაც შეიძლება დაიტოს შავმა ხვრელმა არის მისი ზედაპირის ფართობის პროპორციული

შენონის ენროპია როგორც ინფორმაცია

$$S = \frac{\text{Area}}{4G\hbar} c^3$$



# გრავიტაციის კანონები შეიძლება მიღებულ იქნას თერმოდინამიკის კანონებიდან

- აინშტაინის განტოლება შავი ხვრელისთვის:  $dM = \frac{g}{2\pi} \frac{dA}{4G}$  (1)

- თერმოდინამიკის 1-ელი კანონი :

$$dE = Tds \quad (2)$$

$$s = k \frac{A}{4G\hbar} c^3 \quad (3)$$

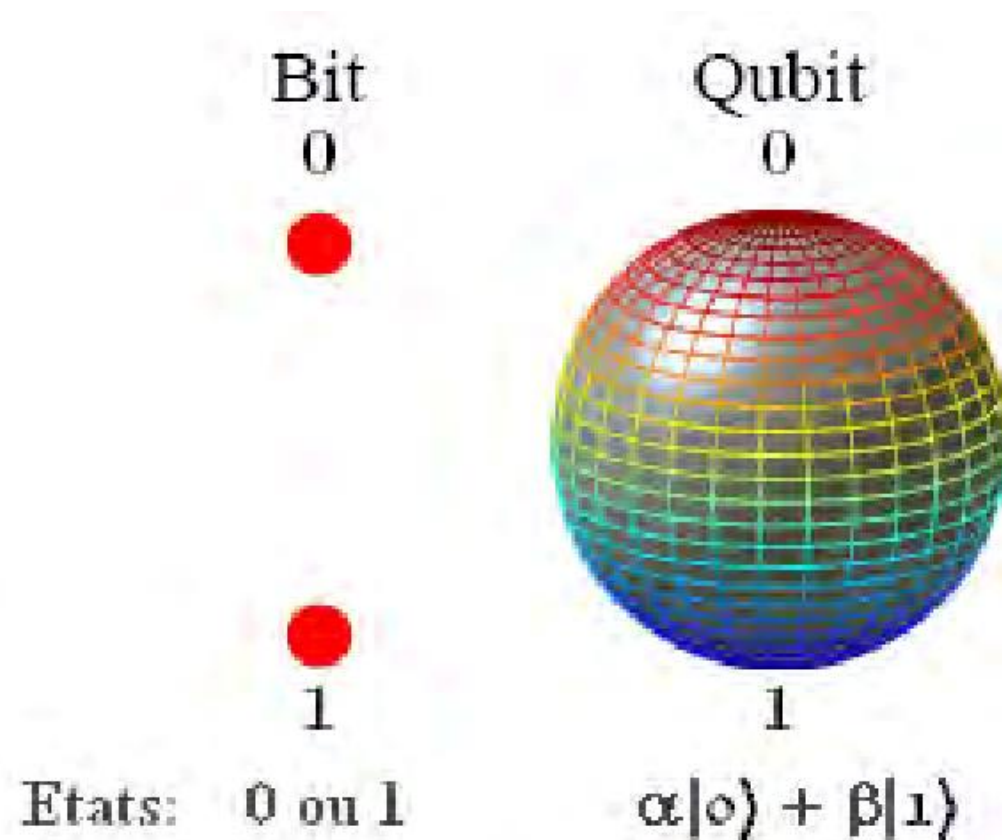
$$kT = \frac{\hbar g}{2\pi c} \quad (4)$$

# ჰოლოგრაფიული პრინციპი

- თუ გვაქვს არე რომელშიც ზვრული რაოდენობა ინფორმაციაა ამ არის შემომსაზღვრელი ფართობი იგივე ინფორმაციის რაოდენობას ინახავს რასაც თვითონ ეს არე
- ჰოლოგრაფიული პრინციპი
- შავი ხვრელის ზედაპირი სრულ ინფორმაციას ინახავს შავ ხვრელზე

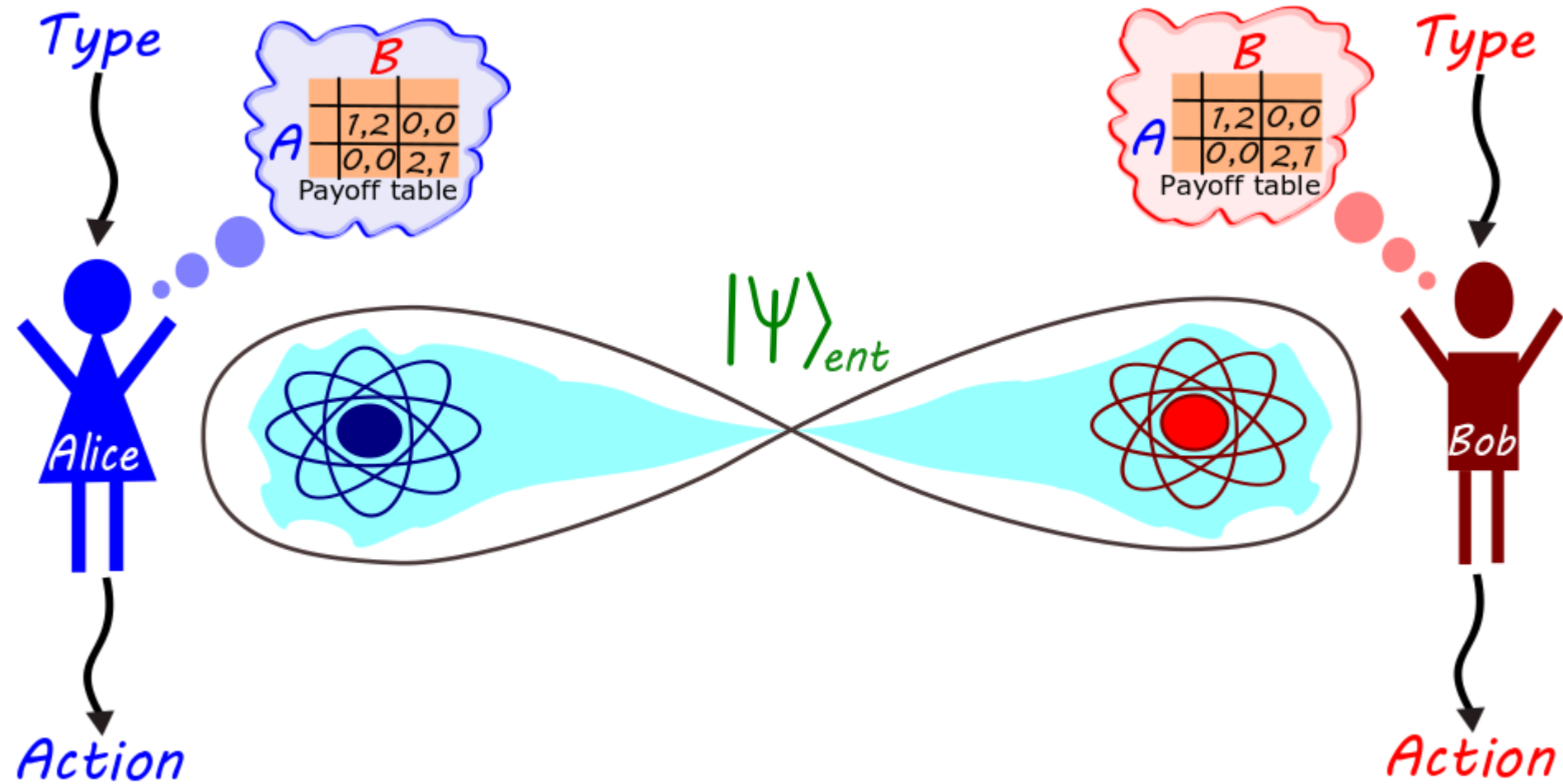
შავი ხვრელის თერმოდინამიკამ საშუალება მოგვცა ინფორმაციასა და გრავიტაციას შორის კავშირი დაგვემყარებინა  
 მაგრამ რა სახითაა ინფორმაცია შავ ხვრელებში?

- ბიტი წარმოადგენს დისკრეტულ ინფორმაციულ ერთეულს ის შეიძლება იყოს 0 ან 1 თუმცა კვანტურ მექანიკურად მდგომარეობა შეიძლება იყოს აგრეთვე ამ ორი შესაძლო მდგომარეობების სუპერპოზიცია - ქუბიტი



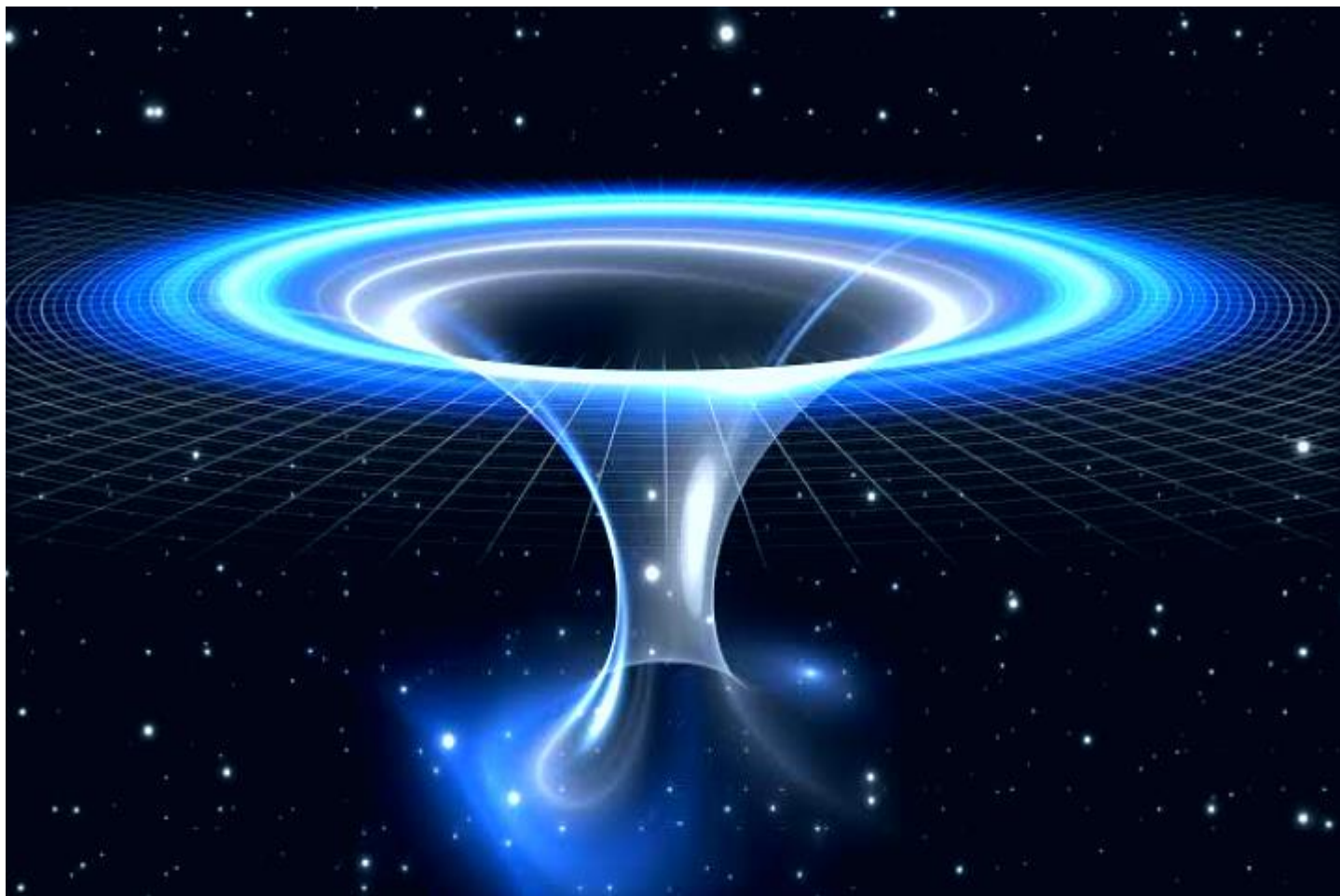
ქუბიტების გამოსადეგარი თვისება :

კვანტური გადახლართულობა





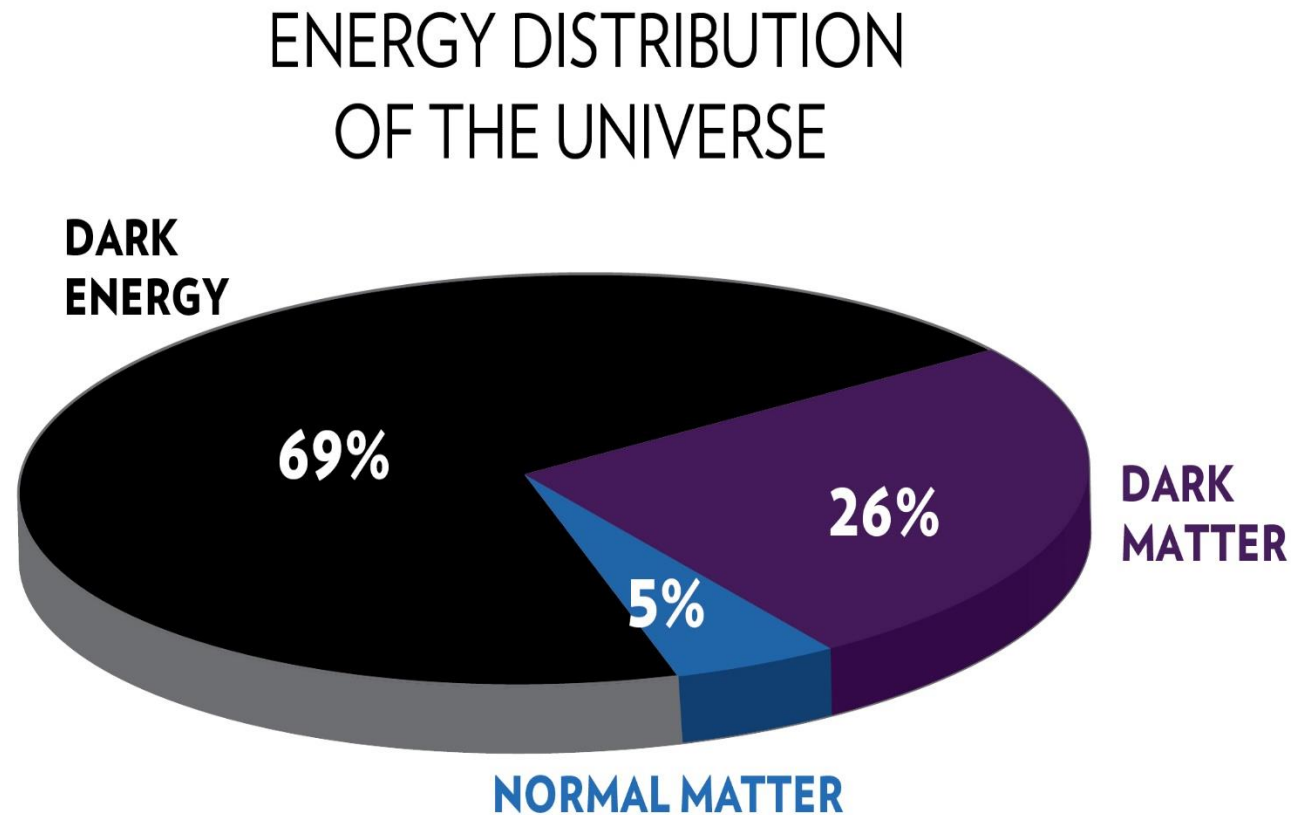
# აინშტაინ-როზენის ხიდი



- არსებობს თუ არა ექსპერიმენტული მტკიცებულება იმისა რომ სივრცე და დრო გადახლართული კვანტური ინფორმაციებია?

მაქსიმალური ენტროპია - ბნელი ენერგია

კოსმოლოგიური კონსტანტა - ბნელი ენერგია



## Hubble's Law & Constant

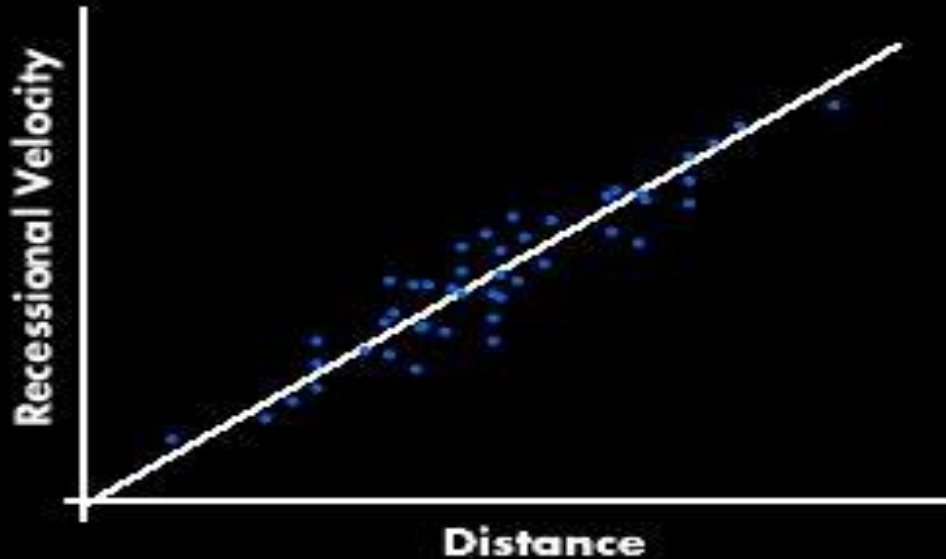
$$v = Hd$$

**v** = velocity

**H** = Hubble constant

**d** = distance

*Also written as  $v = H_0 D$*



გალაქტიკების ვარსკვლავების მოძრაობისას  
ექსპერიმენტს არ ემთხვევა მოსალოდნელი სიჩქარე  
იმ ვარსკვლავებისთვის რომლებისთვისაც სრულდება  
პირობა:

$$\frac{GM}{R^2} < cH$$

გალაქტიკებმა 'იციან' ჰაბლის მუდმივის/ ბნელი  
ენერგიის შესახებ