

Kis-Toth Agnes  
PhD. fokozat  
Astronófia tanár



**Minden amit szeretnél volna tudni a fekete lyukakról,  
de féltél megkérdezni.**

**2022**



Szinte

Minden amit szeretnél volna tudni a fekete lyukakról,  
de féltél megkérdezni.

2022





## Sötét csillagok

John  
Michell

1783



500 × Nap



Szökési sebesség



Fénysebesség

299 792.5 km/s



# Általános Relativitáselmélet

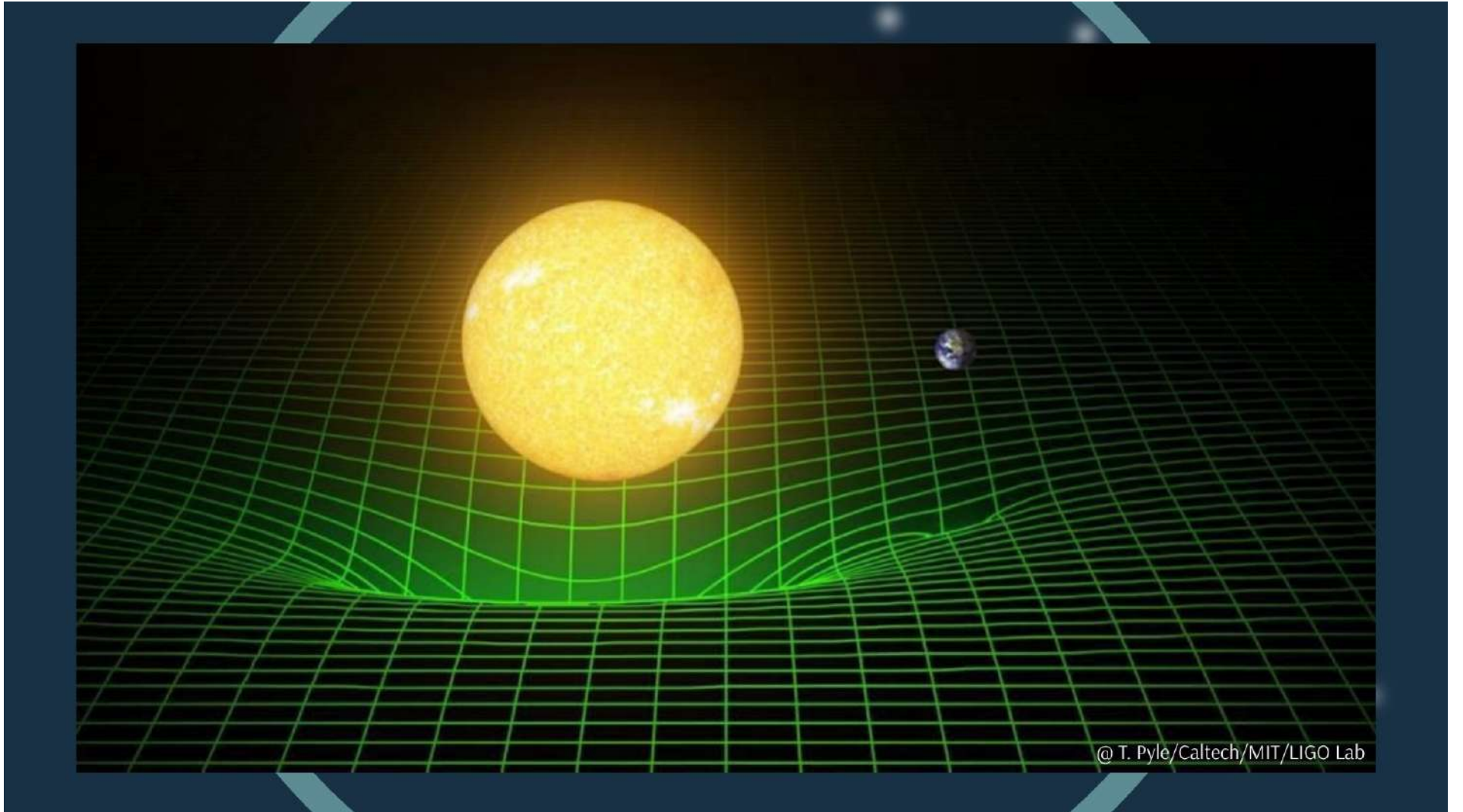


Albert  
Einstein

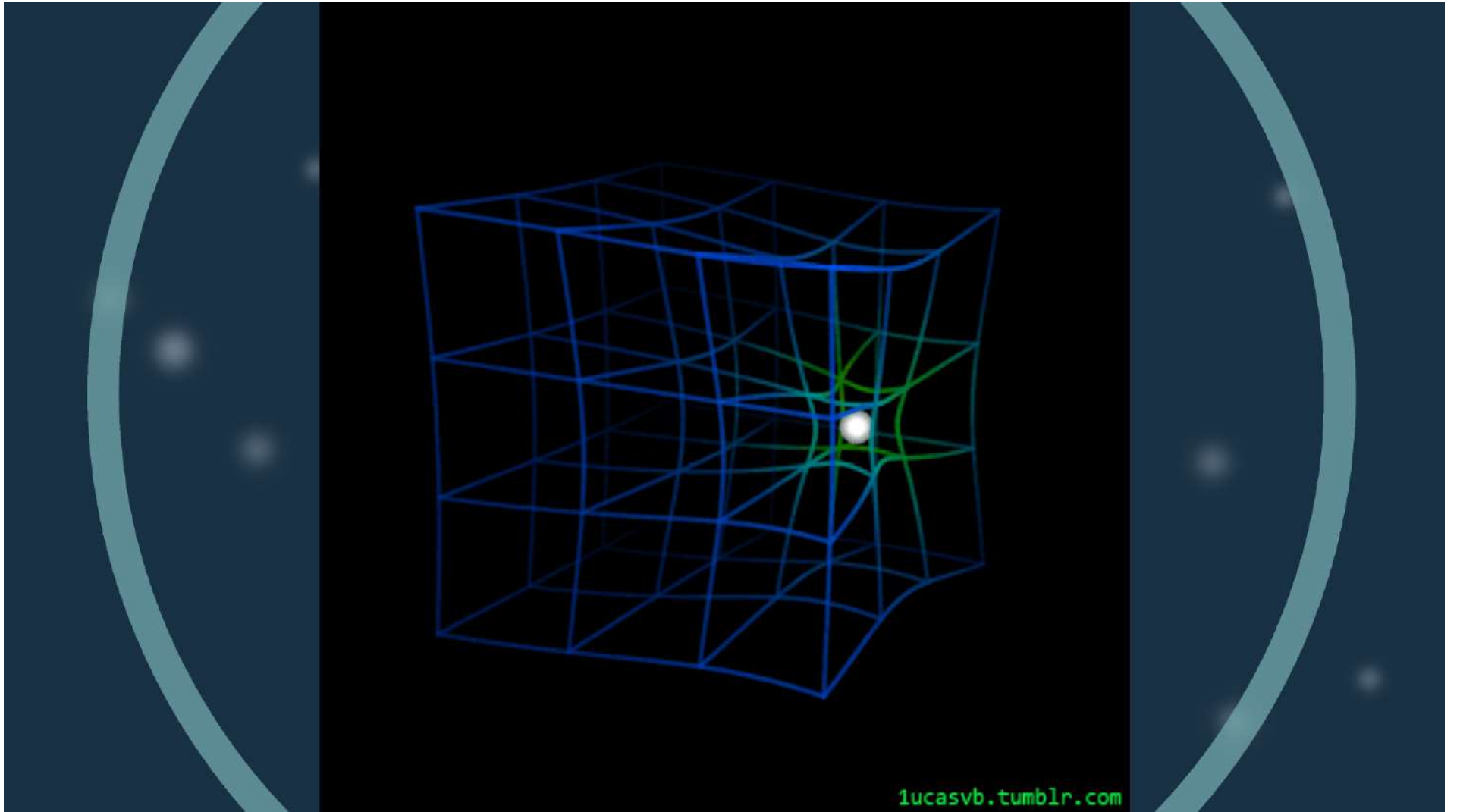
Einstein Proved that  
 $G_{uv} = 8\pi T_{uv}$   
The most Attractive parts  
of the Universe are Curvy.

1915

Szűkebb sebesség  
Hold 3,4 km/s  
Föld 112 km/s  
Nap 612 km/s

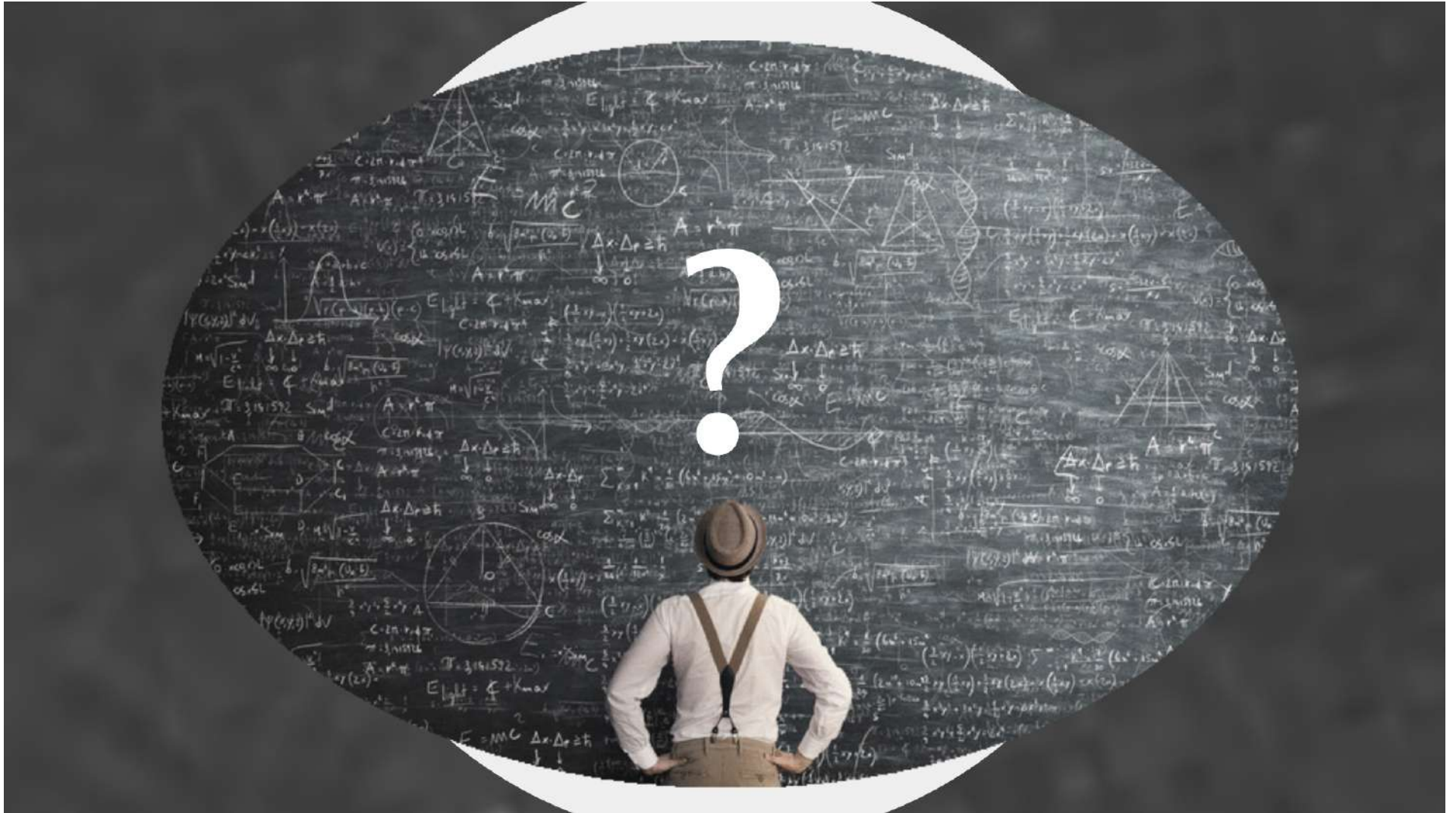


@ T. Pyle/Caltech/MIT/LIGO Lab







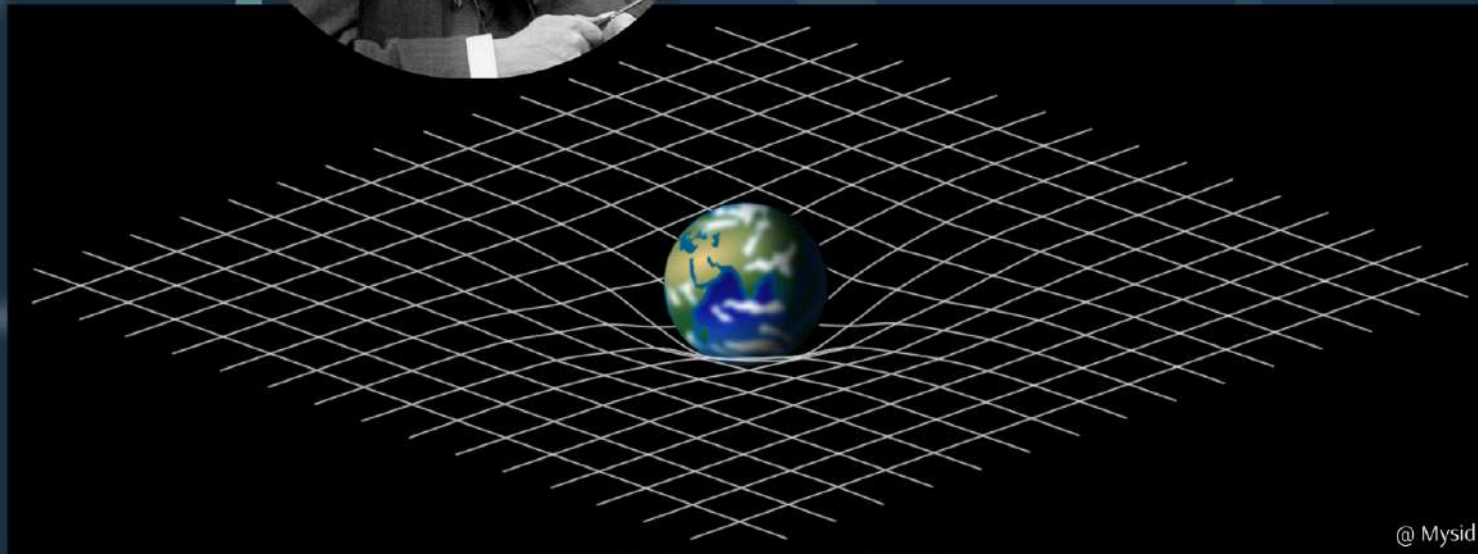




Karl  
Schwarzschild

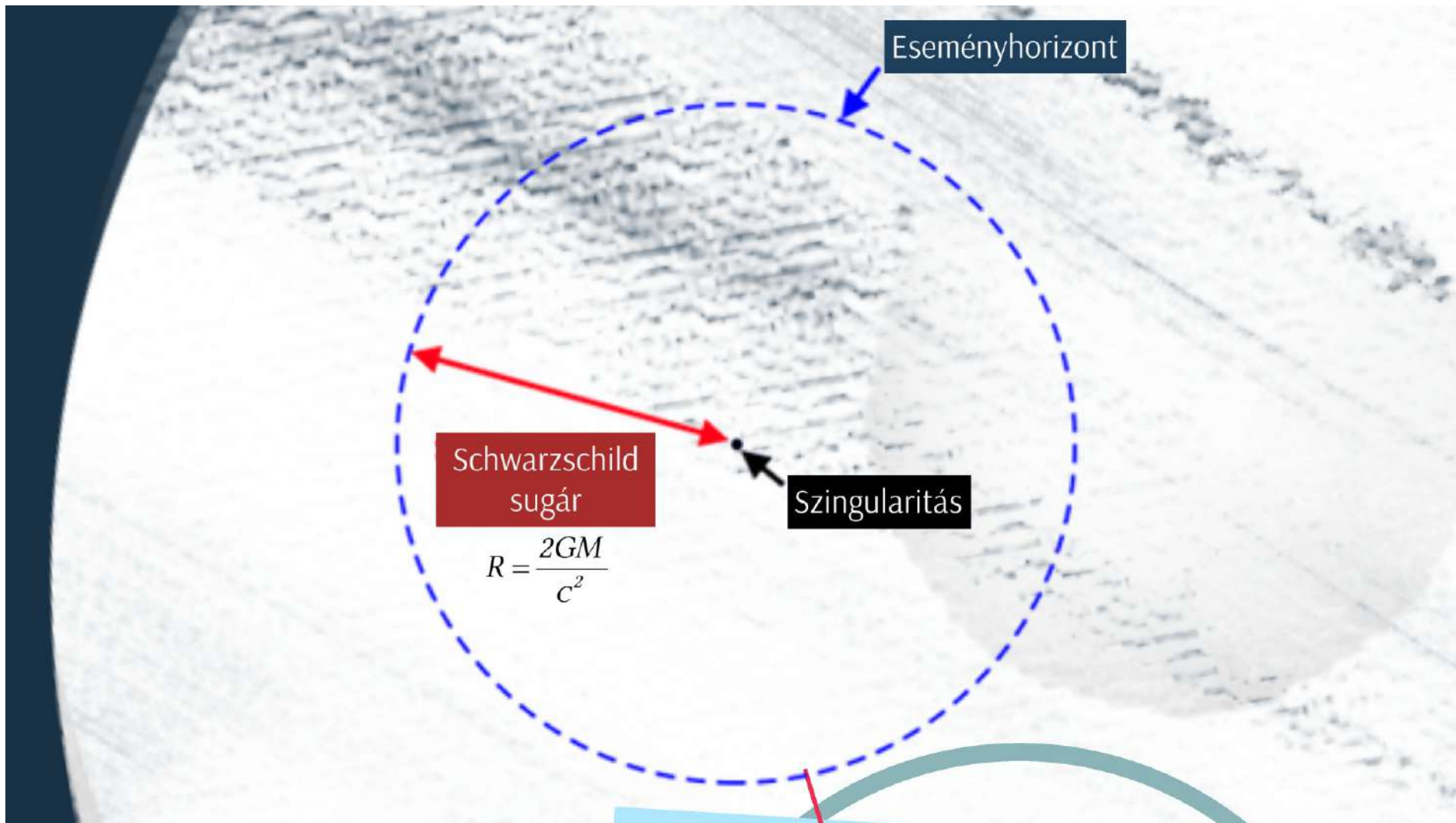
1915

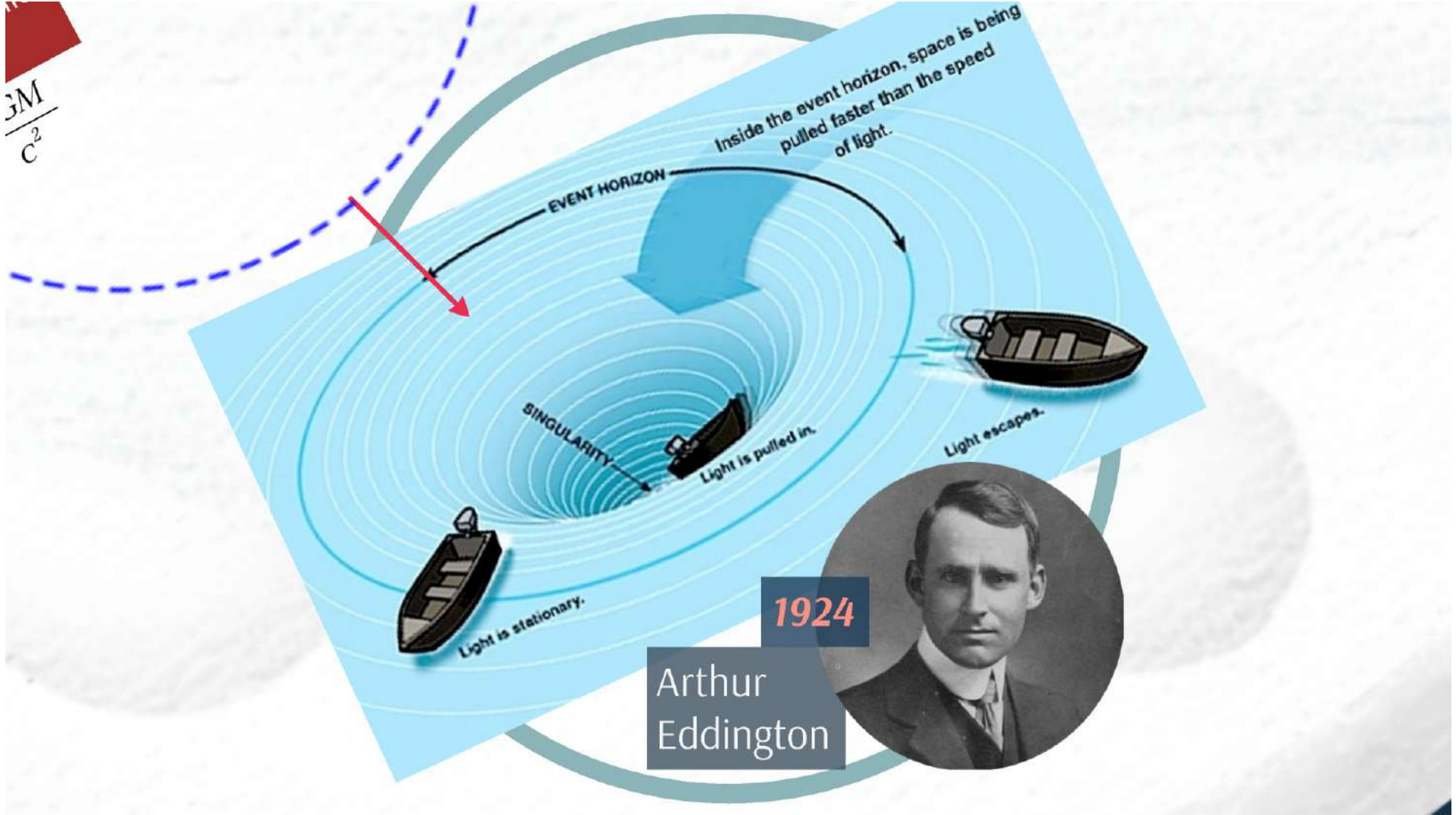
*Einstein egyenlet megoldása  
egy gömbszimmetrikus  
tömeg esetén*



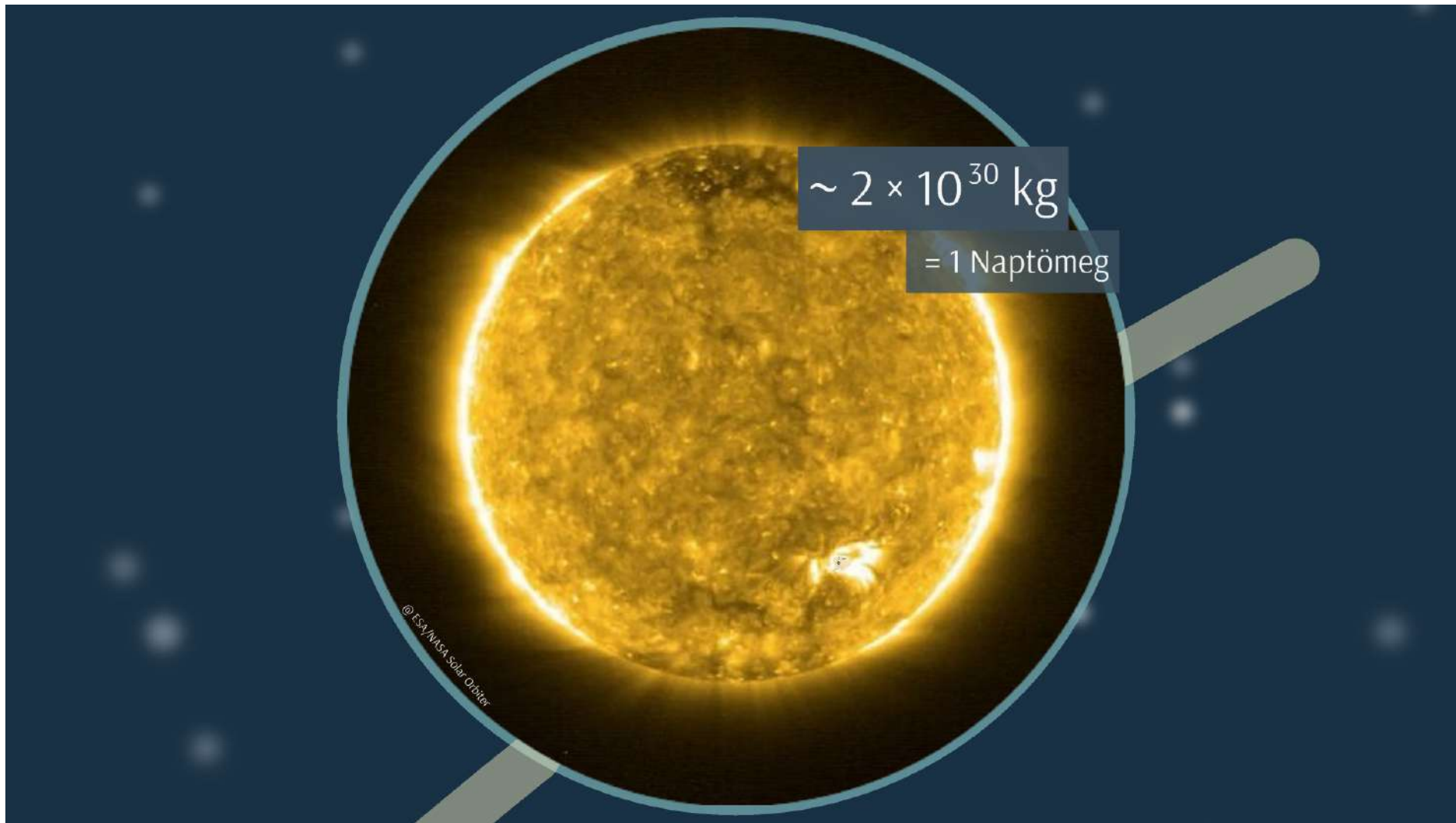
@ Mysid

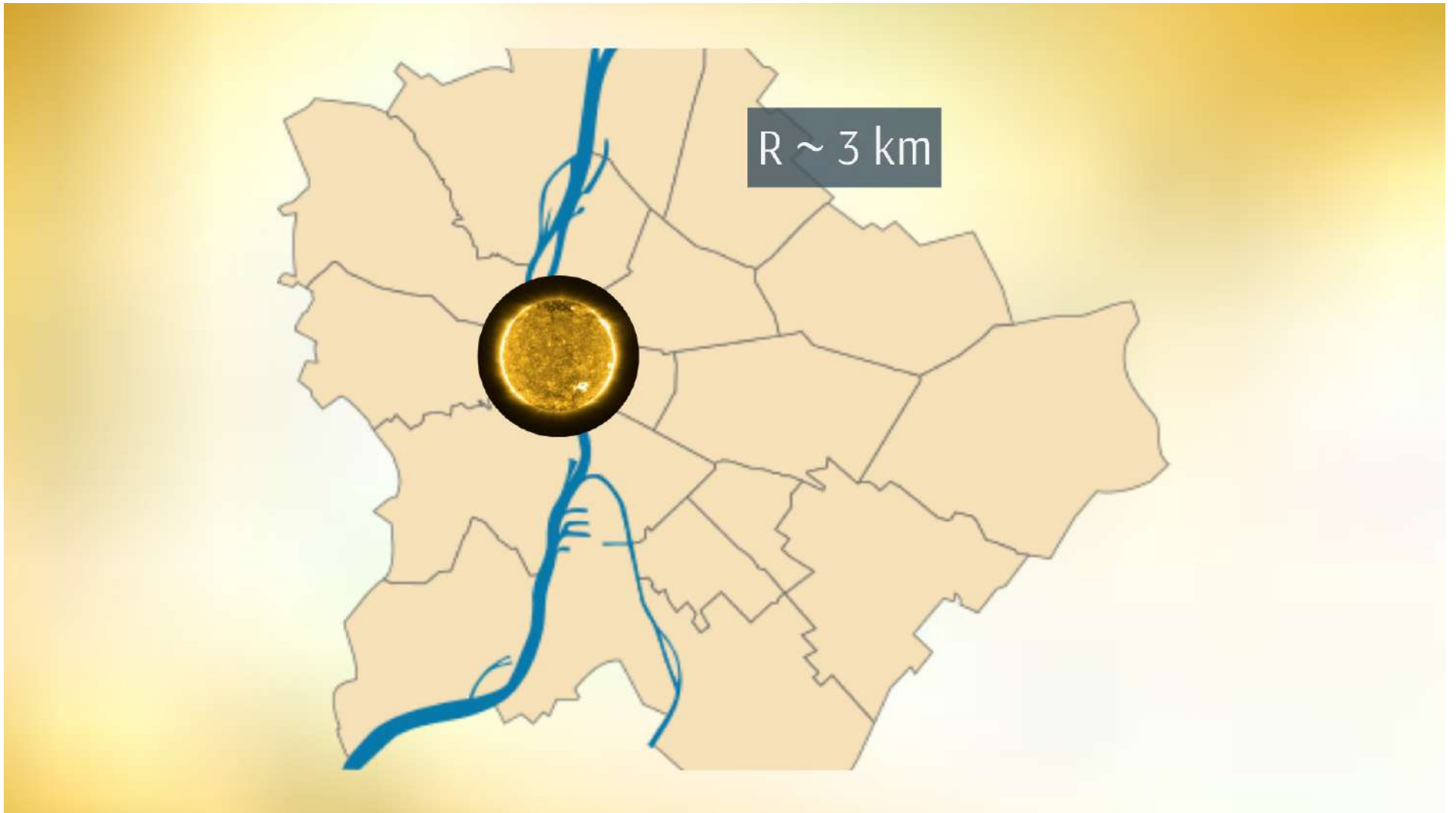


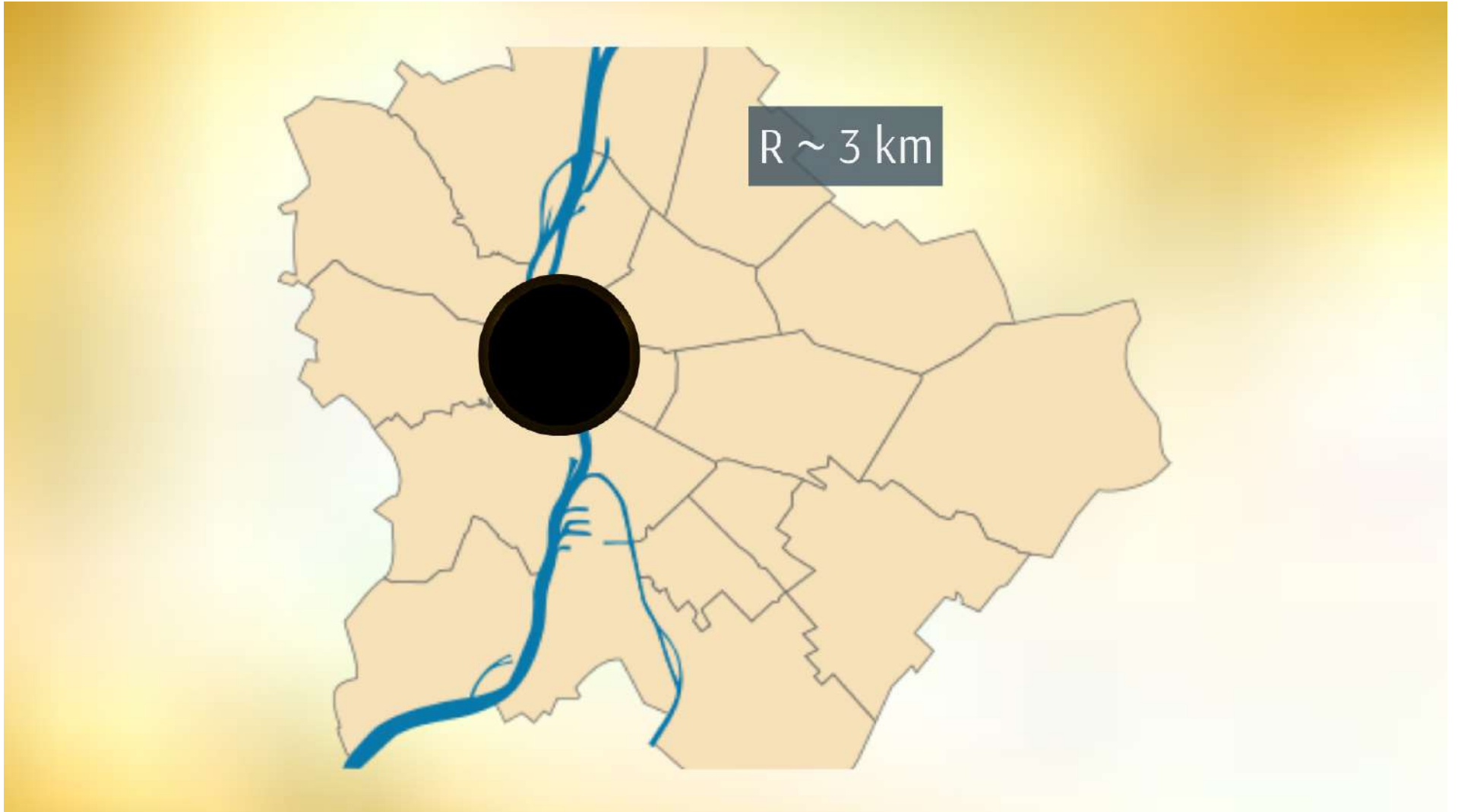




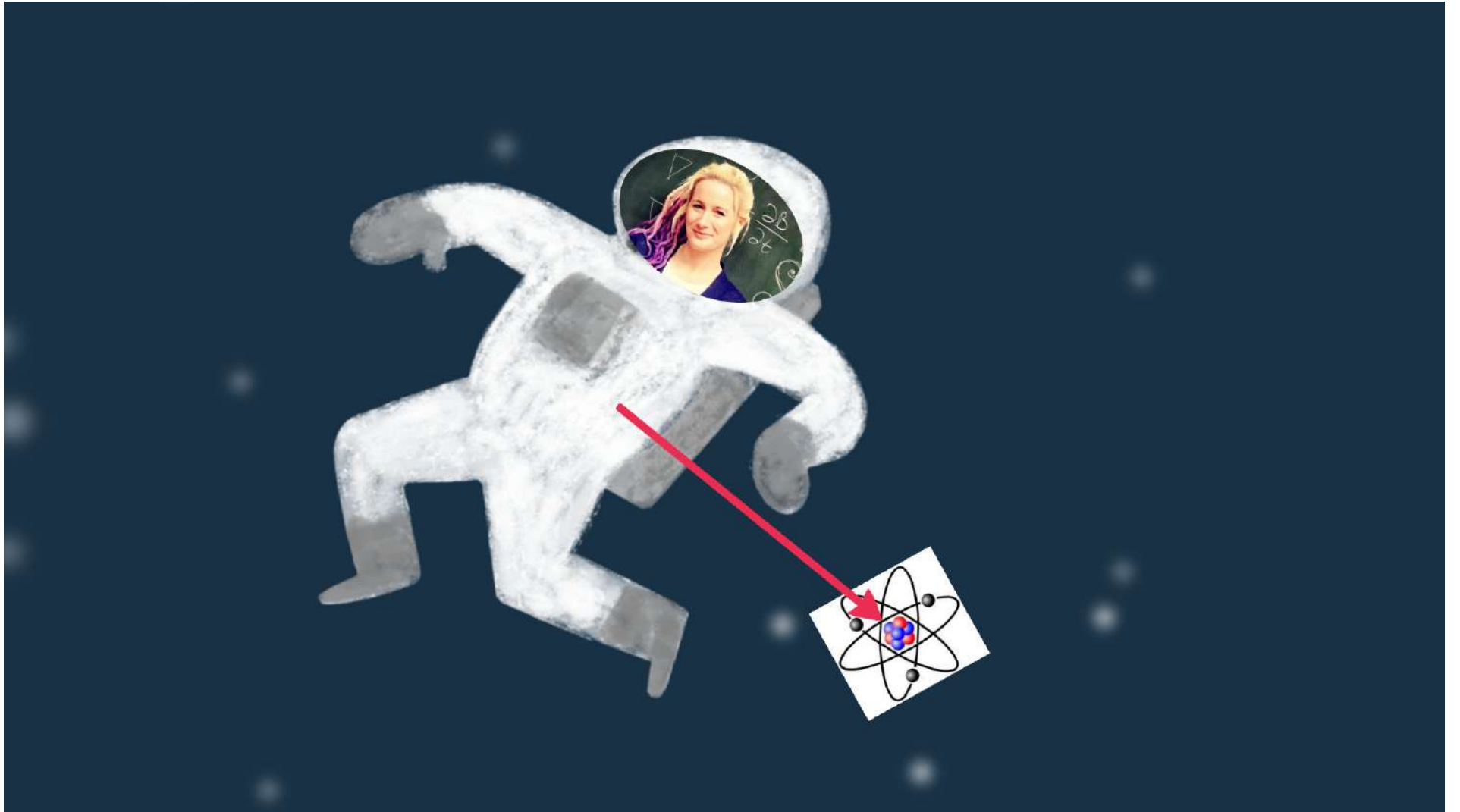














R = Schwarzschild sugár  $\sim$  Tömeg

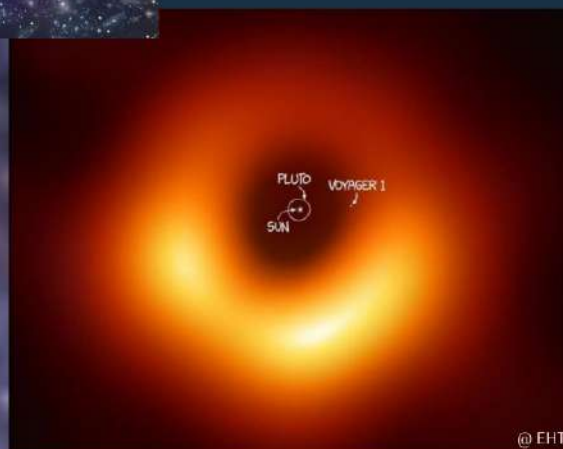
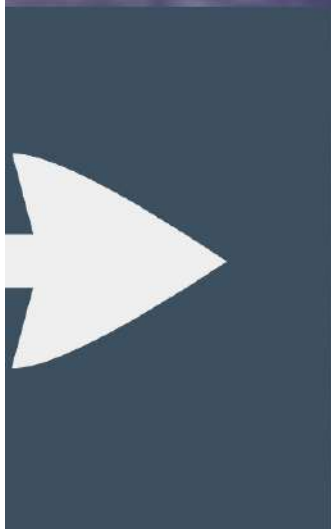
$$\text{Kritikus Sűrűség} \sim \frac{\text{Tömeg}}{\text{Térfogat}} \sim \frac{\text{Tömeg}}{\text{Sugár}^3} \sim \frac{1}{\text{Tömeg}^2}$$

1

R

A diagram showing a black hole horizon. A blue arrow points from a purple dot on the horizon to the left, labeled 'R'. A white circle with the number '1' is positioned above the arrow. The background is a purple and white nebula.

Androméda - 230 millió Naptömeg



Messier 87 - 6.5 milliárd Naptömeg

R = Schwarzschild sugár ~ Tömeg

$$\text{Kritikus Sűrűség} \sim \frac{\text{Tömeg}}{\text{Térfogat}} \sim \frac{\text{Tömeg}}{\text{Sugár}^3} \sim \frac{1}{\text{Tömeg}^2} \rightarrow$$

Androméda - 250 millió Napfény



Messier 87 - 6,5 milliárd Napfény

1

R

2

Szingularitás  
Végtelen sűrűség

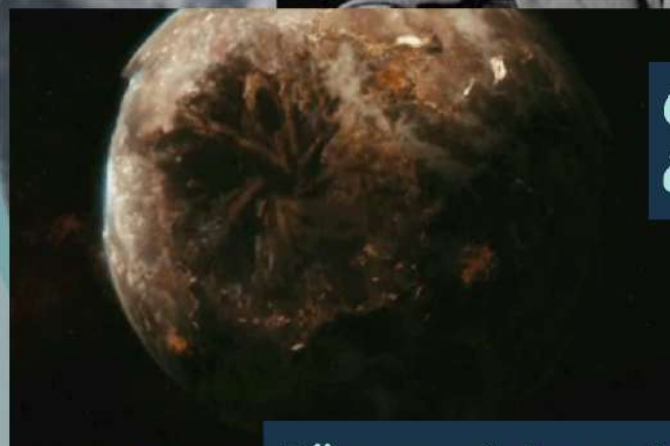
@ Getty Images

**1931**

Subrahmanyan  
Chandrasekhar



**Gravitációs  
összeomlás**



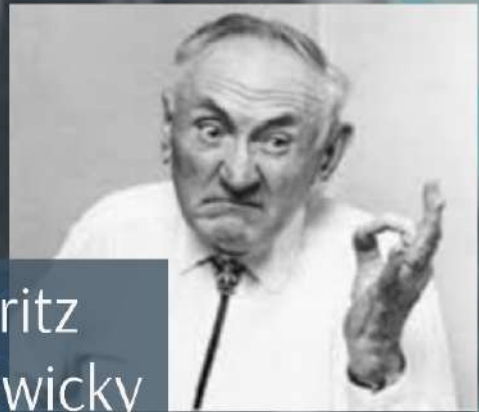
**Tömeg > 1.4 naptömeg**



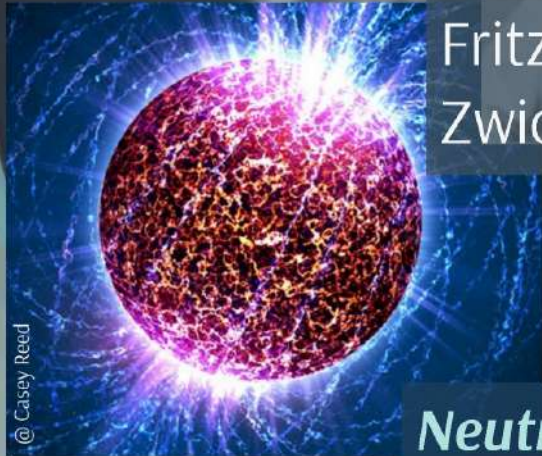


Walter  
Baade

1934

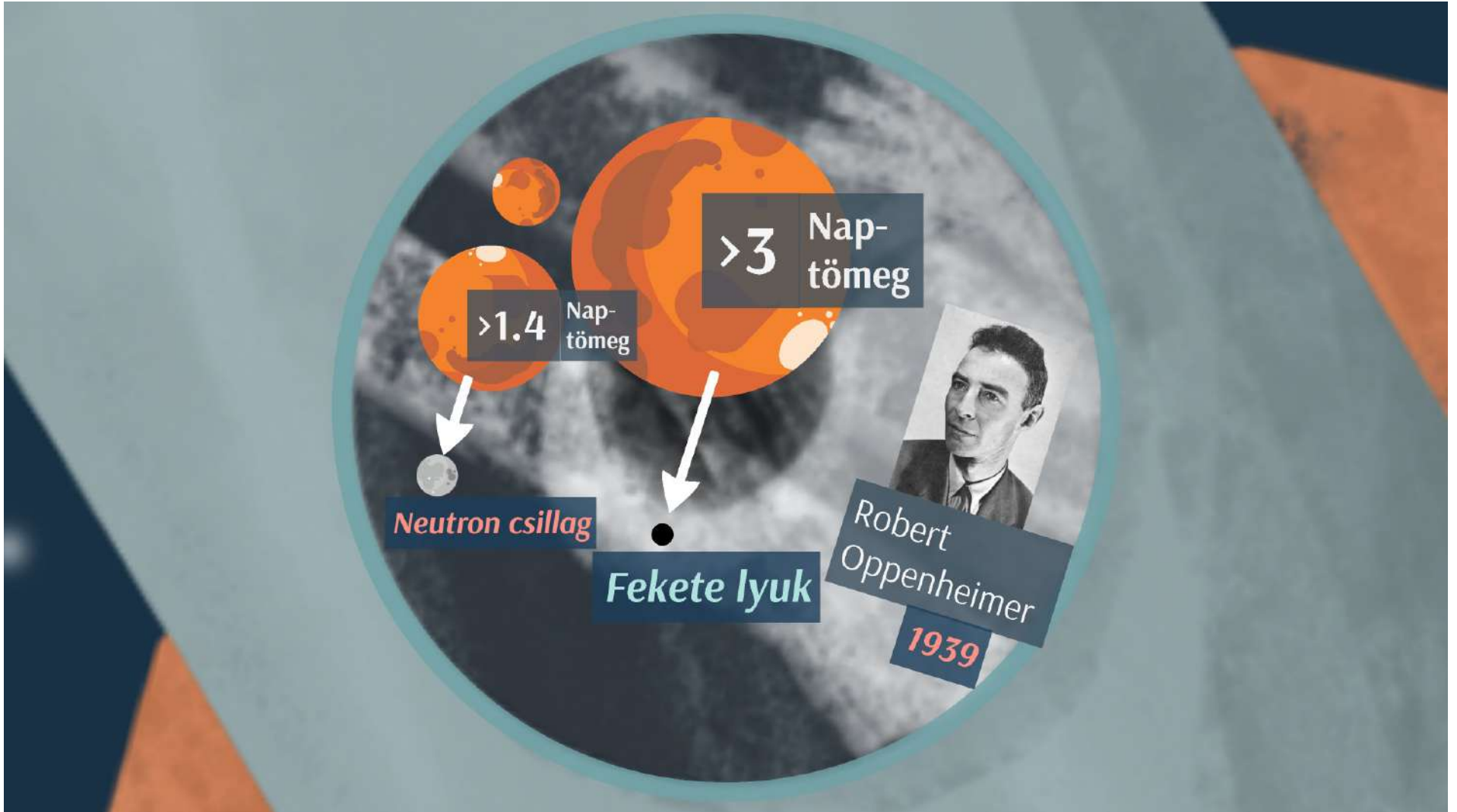


Fritz  
Zwicky

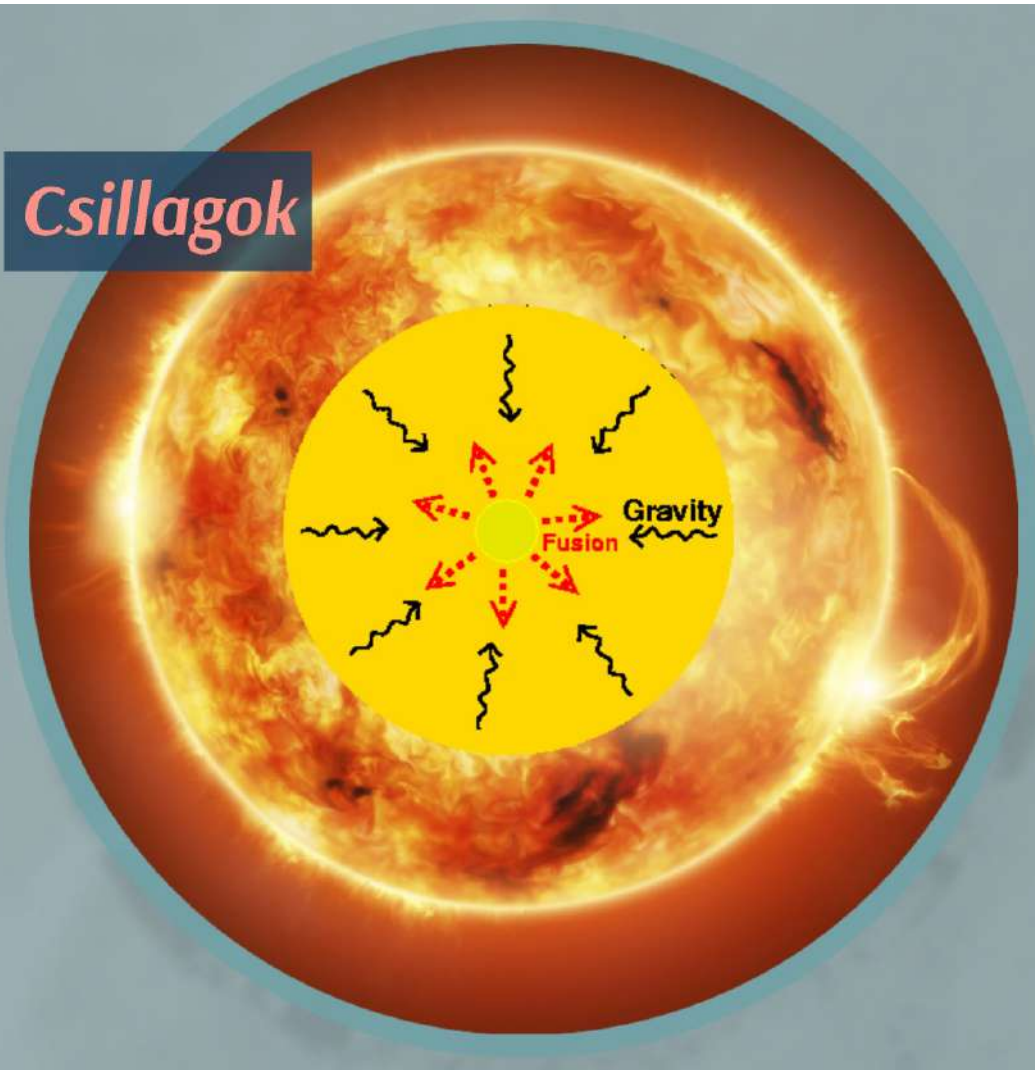


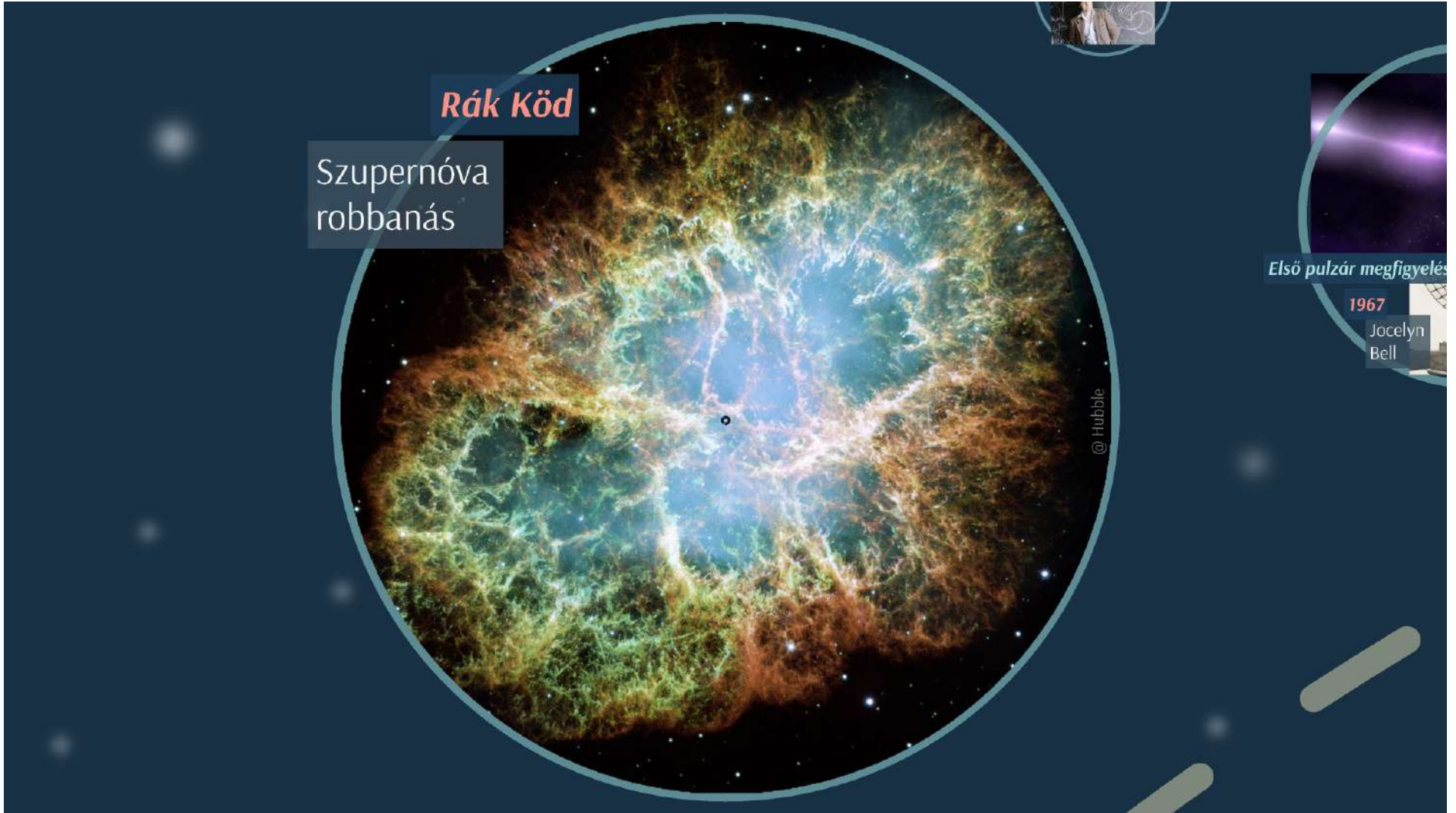
*Neutron csillagok*





# Csillagok





**Rák Köd**

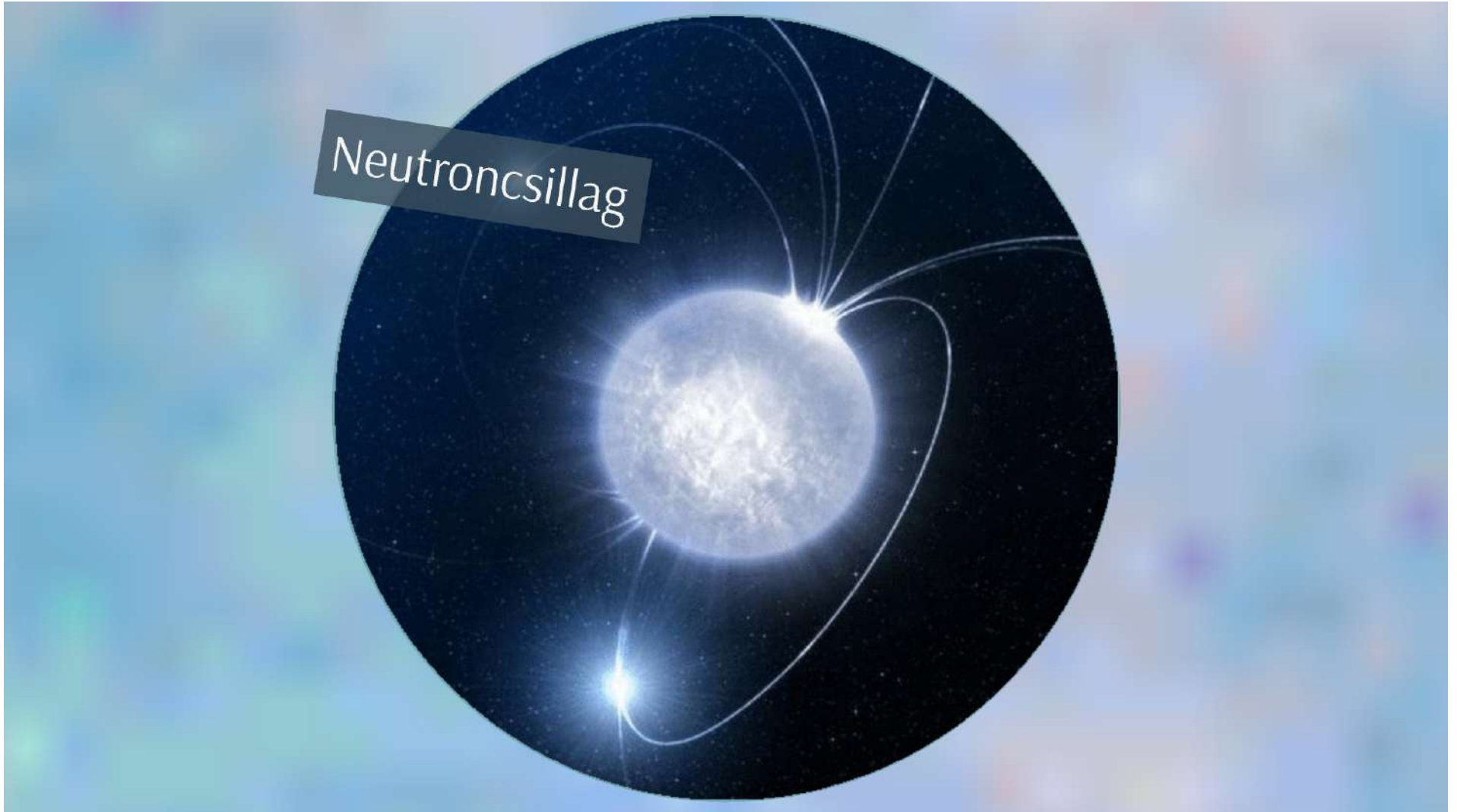
Szupernóva  
robbanás

Első pulzár megfigyelés

1967

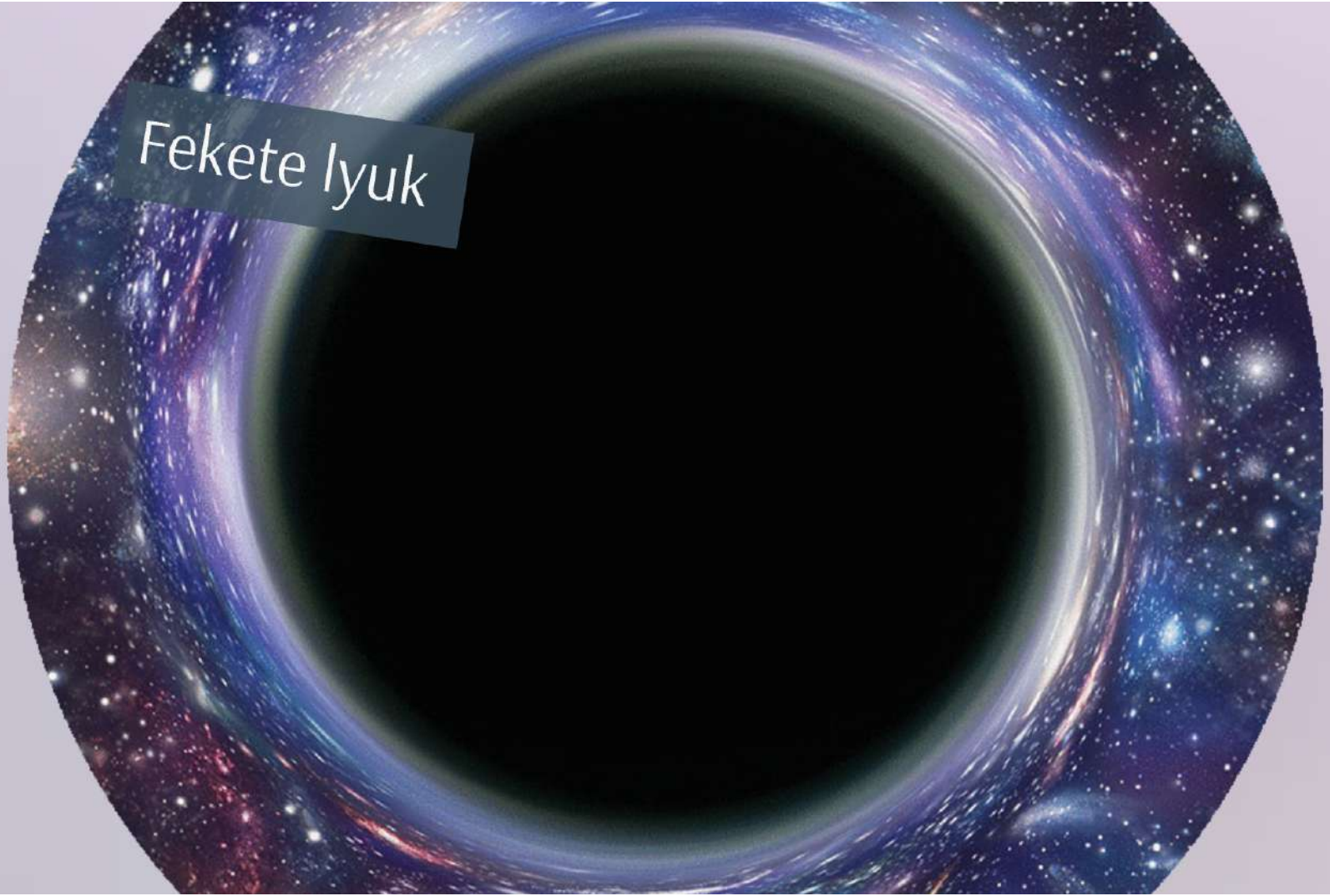
Jocelyn  
Bell

@ Hubble



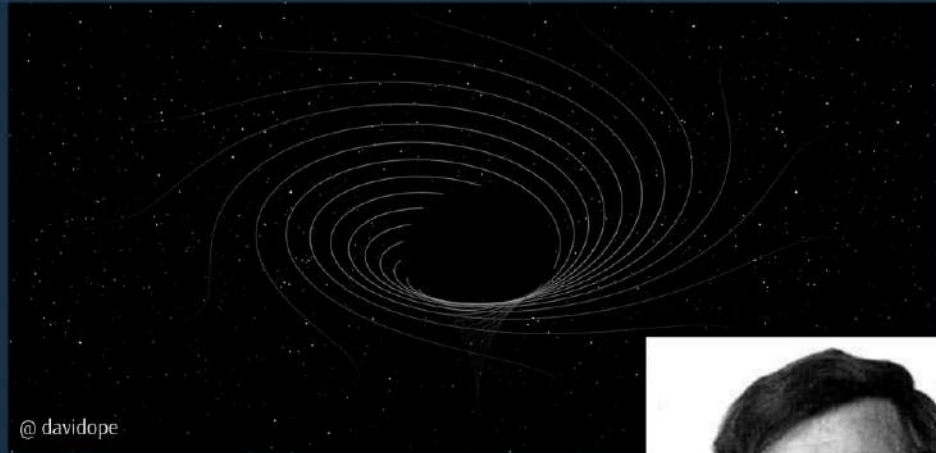


Fekete lyuk



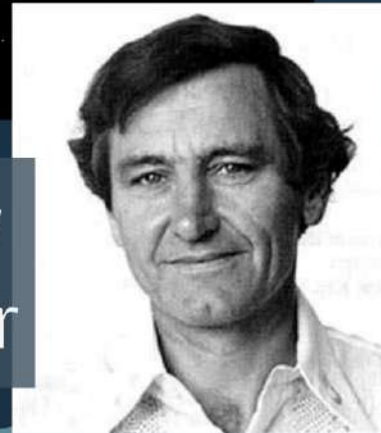


Újabb megoldás az Einstein egyenletre:  
Forgó fekete lyukak

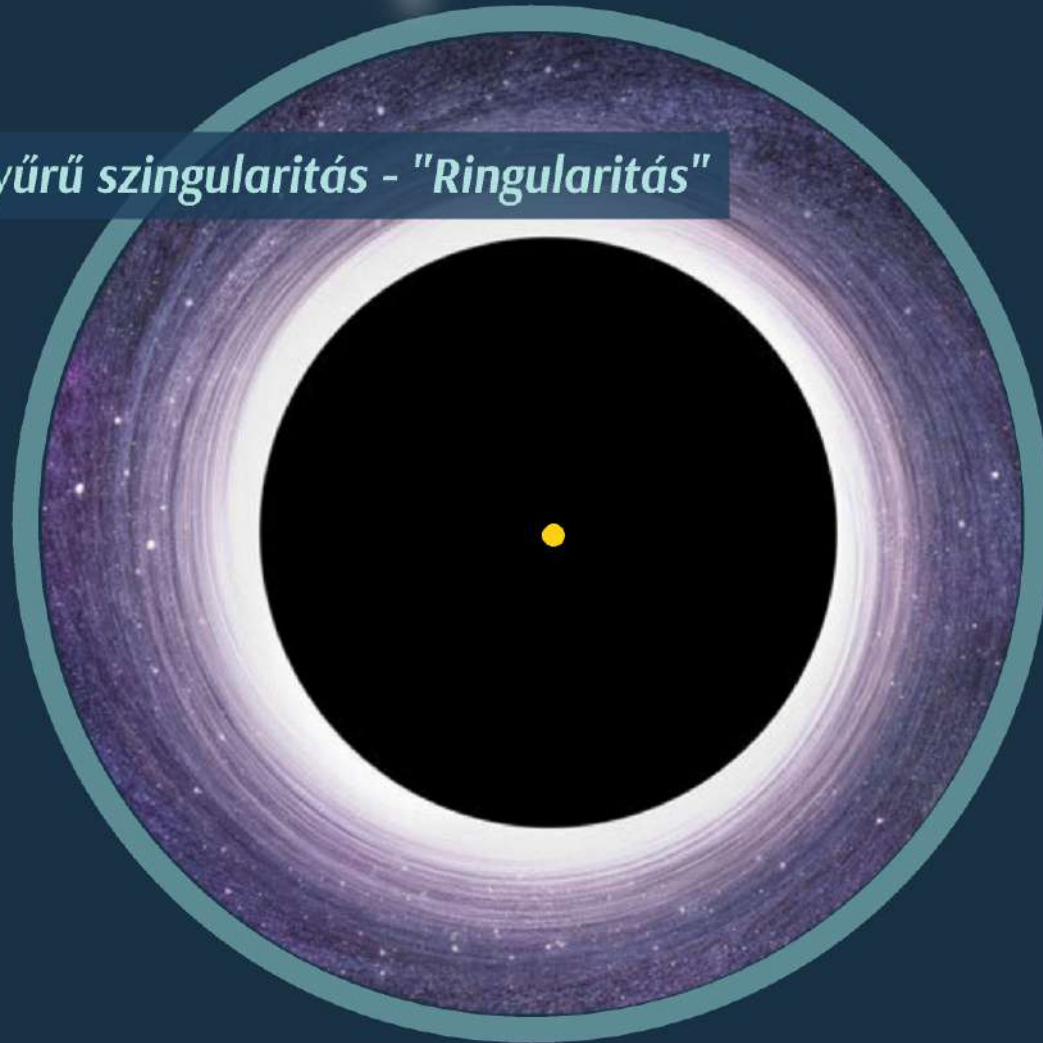


1963

Roy  
Kerr



Gyűrű szingularitás - "Ringularitás"

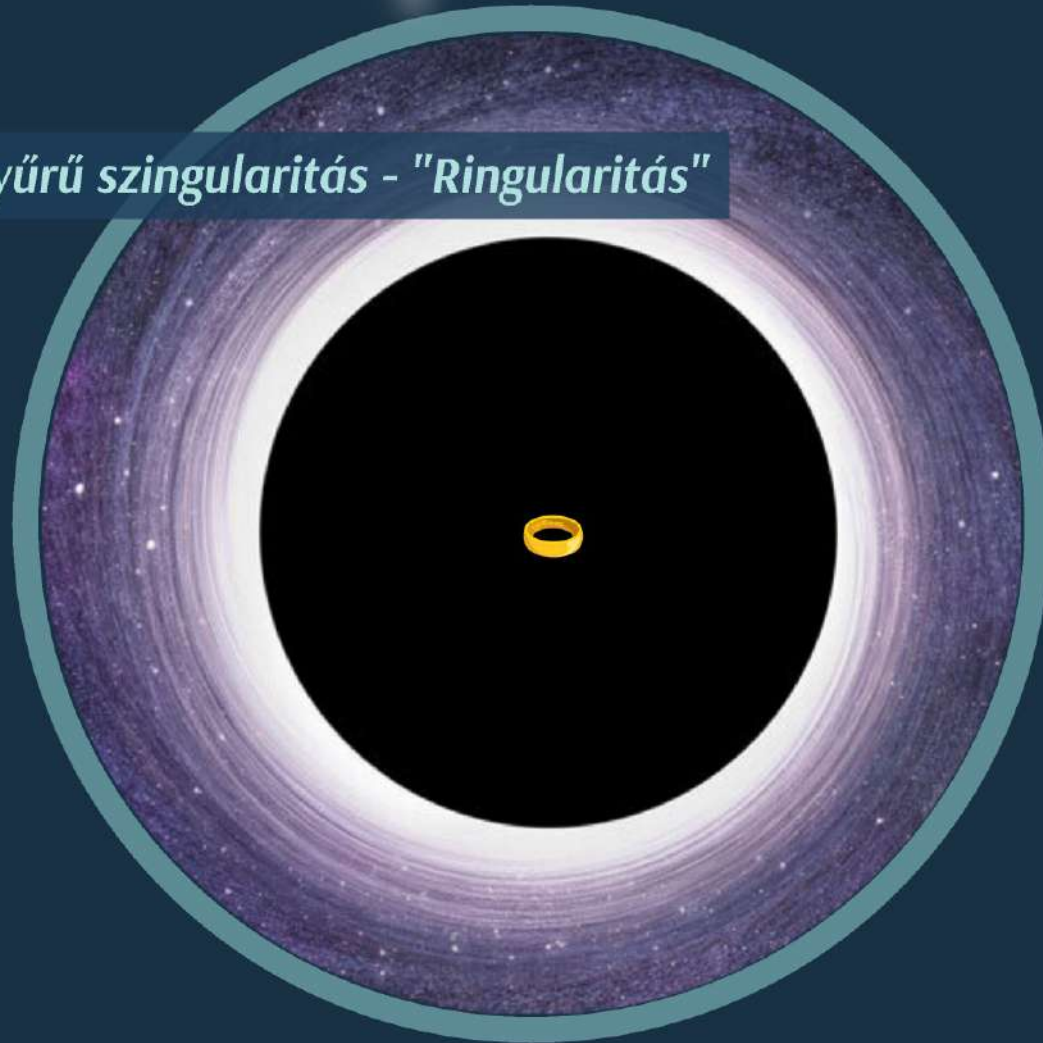


ak

Gyűrű szingularitás - "Ringularitás"

ak

Gyűrű szingularitás - "Ringularitás"



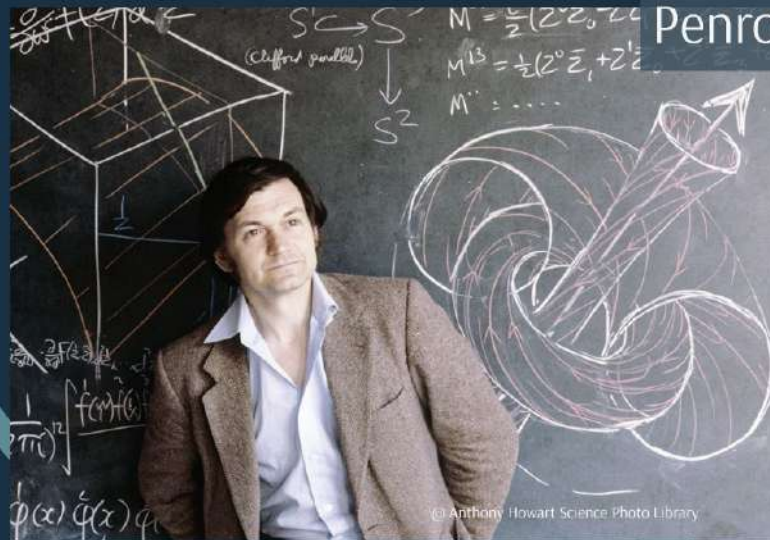
ak

## Fizikai Nobel díj 2020

*Fekete lyukak kialakulása nem csak elméleti lehetőség,  
hanem fizikai törvényszerűség!*

Roger  
Penrose

1964





Gravitációsan összeomlott objektum..

## *Black Hole of Calcutta*

*1960-as évek eleje*



Robert H  
Dicke





*Első pulzár megfigyelés*

**1967**

Jocelyn  
Bell

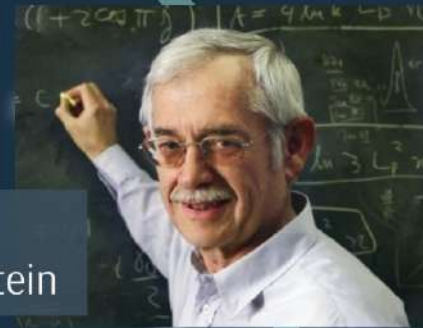


# "No hair" theorem = A fekete lyukak "kopaszok"

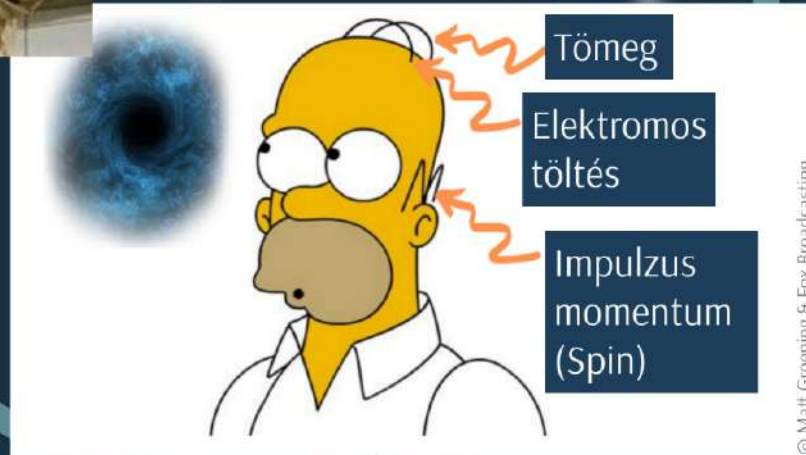


Werner Israel

1967



Jacob Beckenstein



1

## A fekete lyukak "táplálkozása"

@ NASA/JPL-Caltech



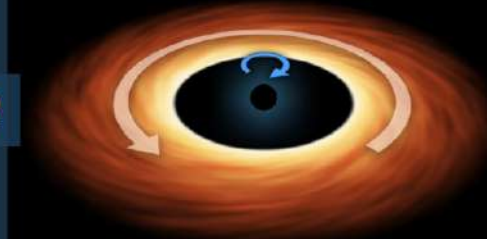


## Legbelső stabil körpálya

ISCO

Innermost  
Stable  
Circular  
Orbit

$$ISCO < 9R$$



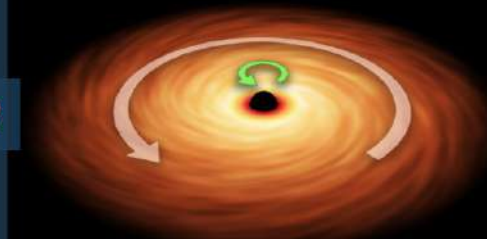
Retrograde  
Rotation

$$ISCO = 3R$$



No Black Hole  
Rotation

$$ISCO > R$$



Prograde  
Rotation

@Fabio Pacucci

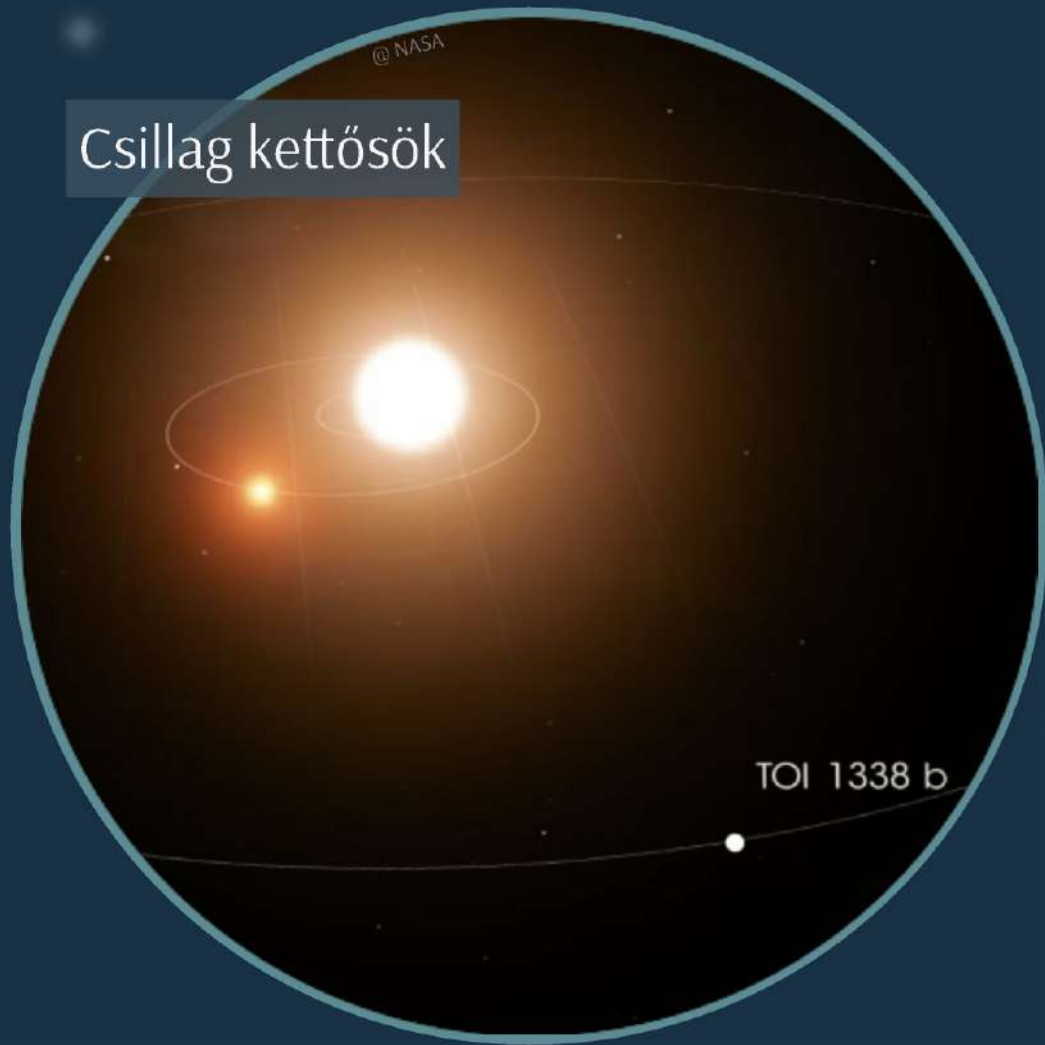
Tatooine



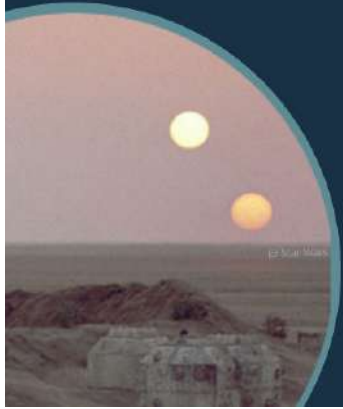
@ Star Wars

# Csillag kettősök

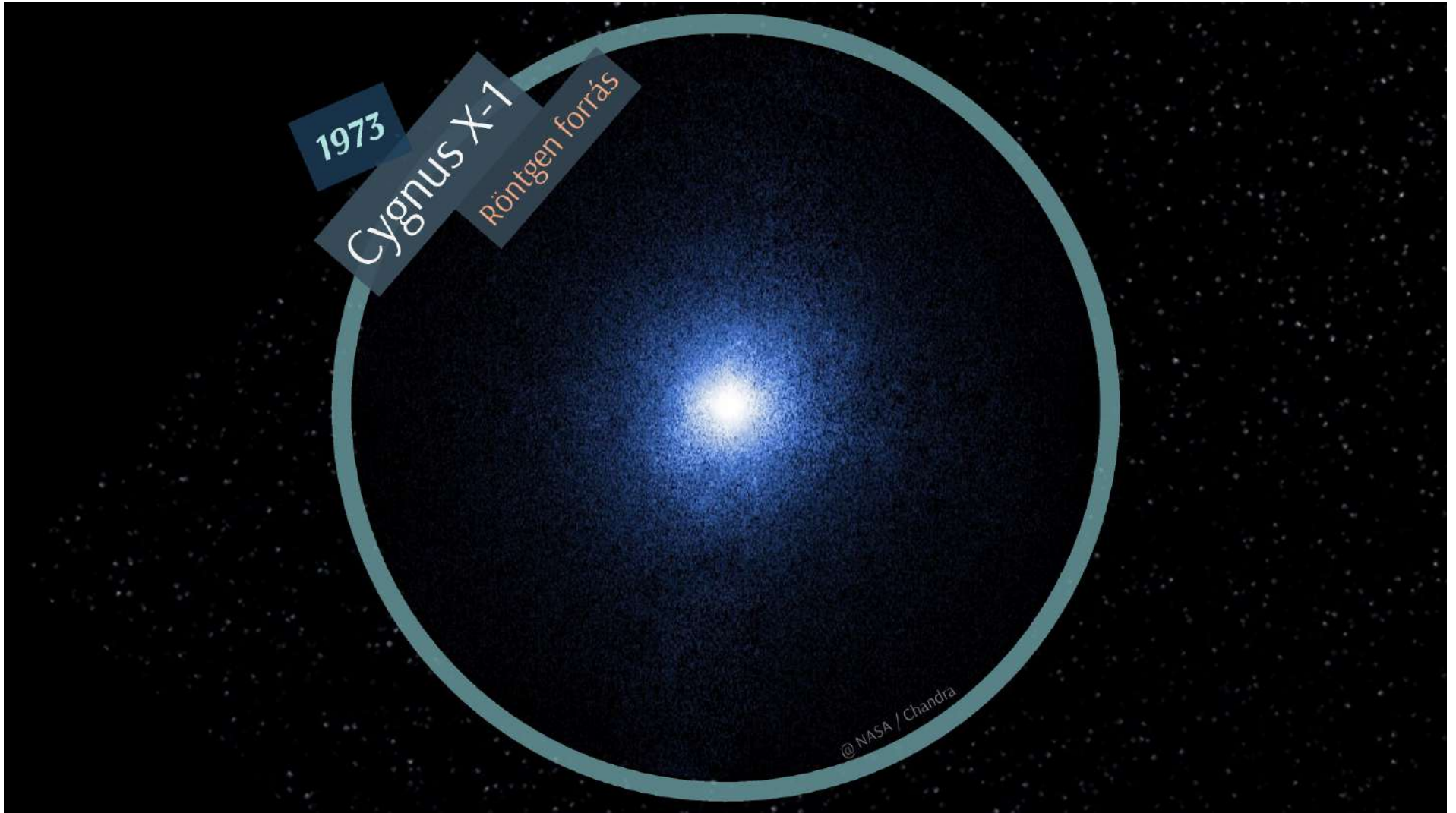
@ NASA



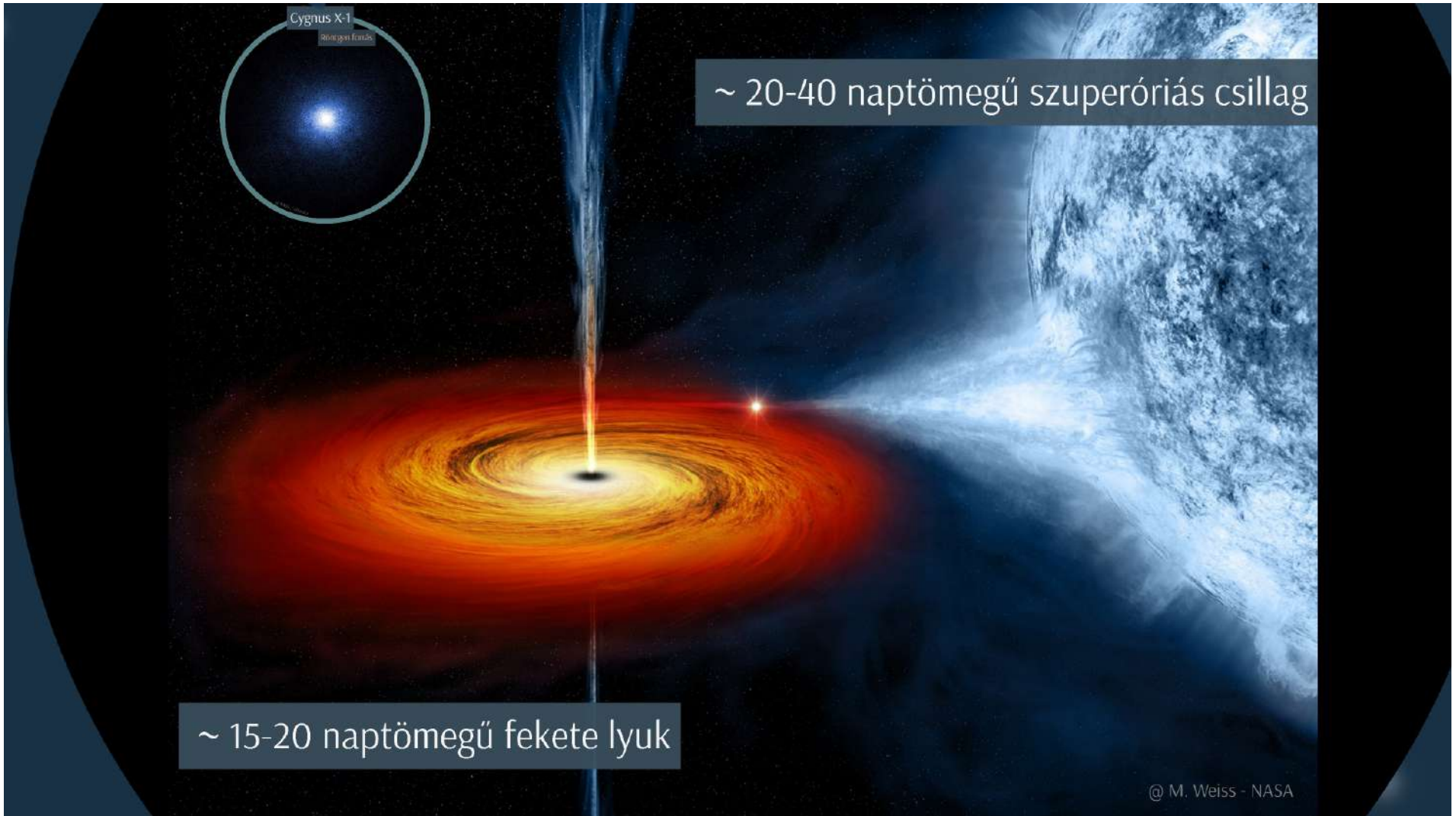
TOI 1338 b



© 2018 NASA







*1950-es évek*

Kvazár  
"Kvázi csillag"



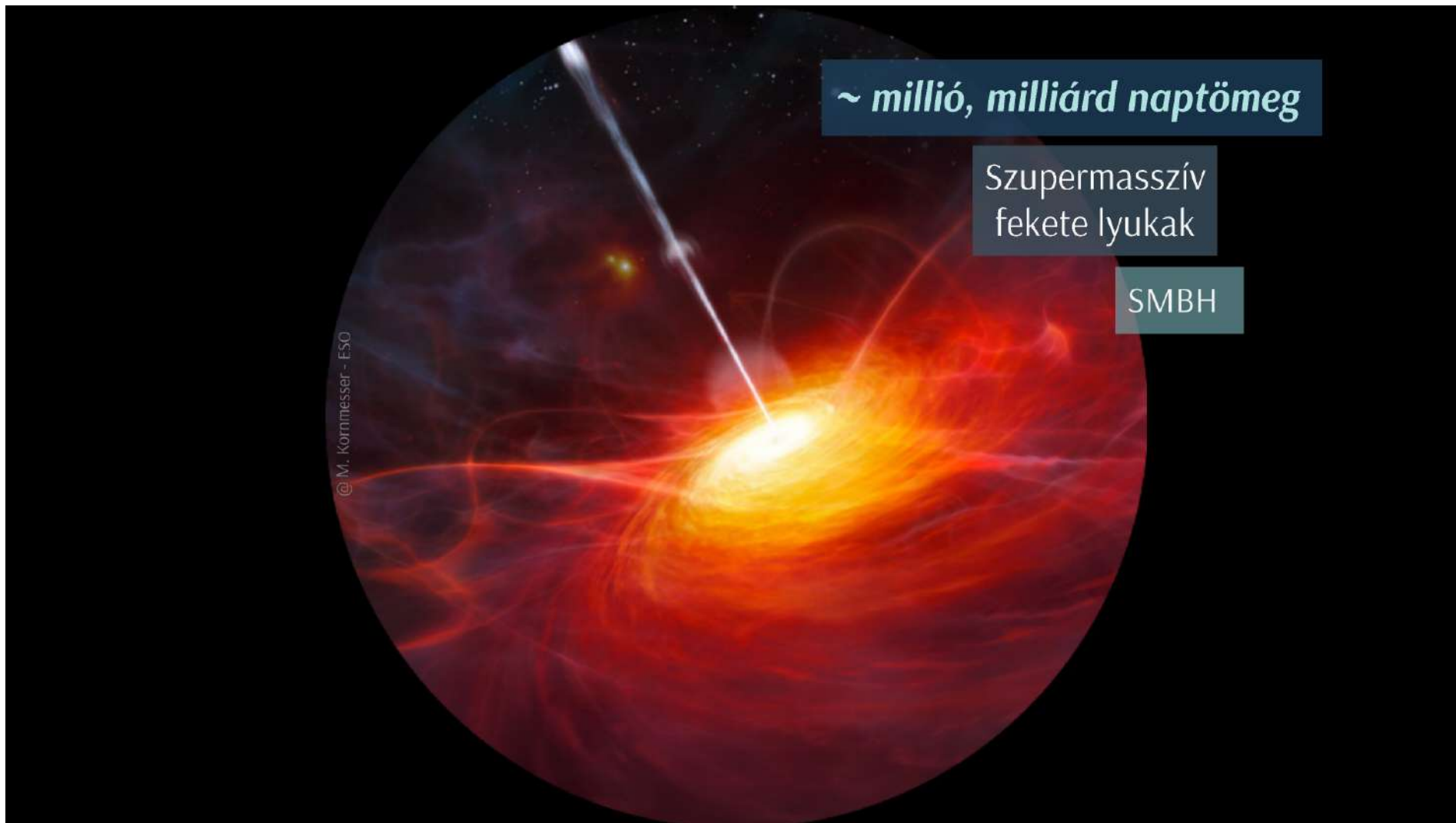


1950-es évek

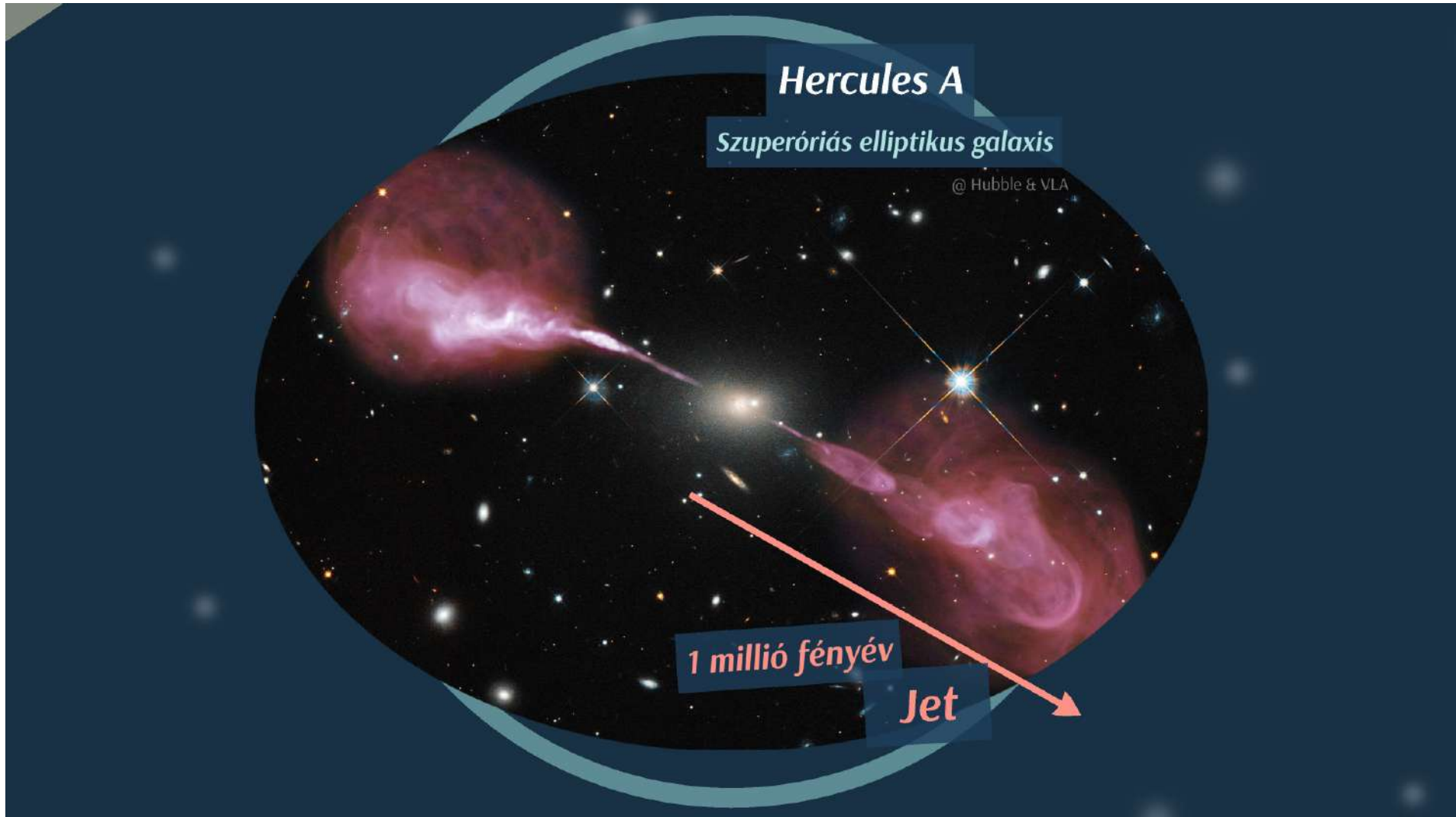
Kvazár  
"Kvázi csillag"

Aktív Galaxis Magok

@ Hubble







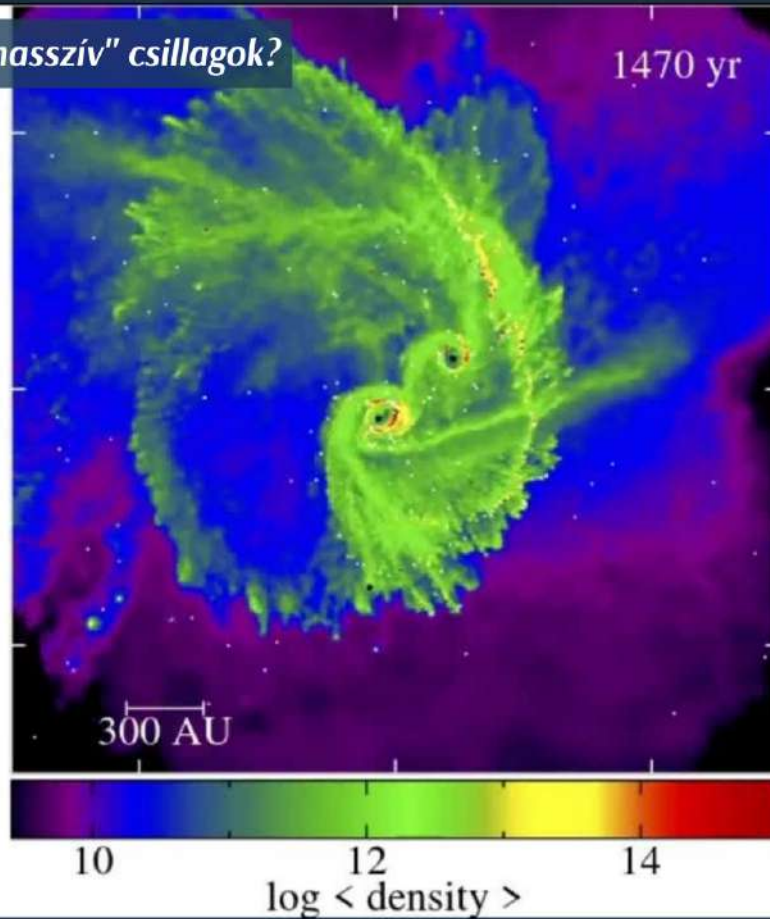


*Hogyan keletkezhetnek  
millió és milliárd  
naptömegű fekete lyukek?*

## *Fekete lyuk összeolvadás*



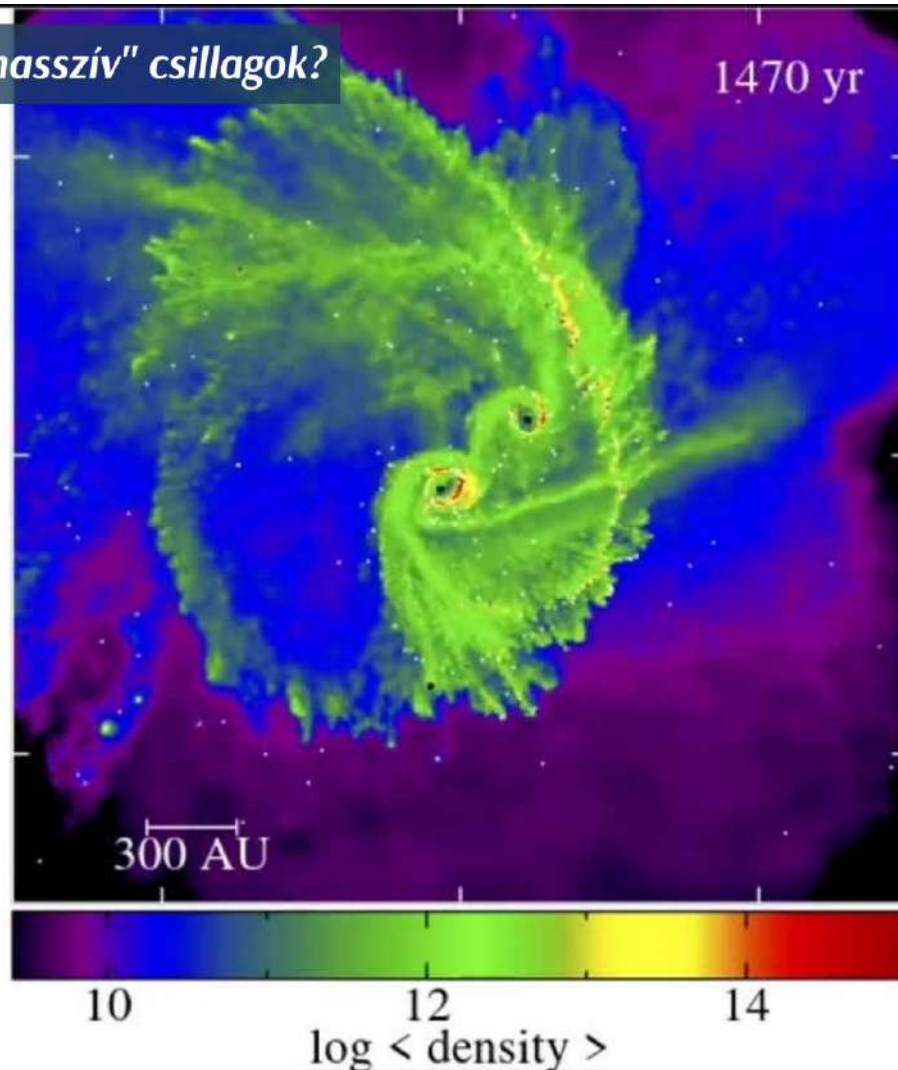
Első generációs "szupermasszív" csillagok?



Credit: Sunmyon Chon

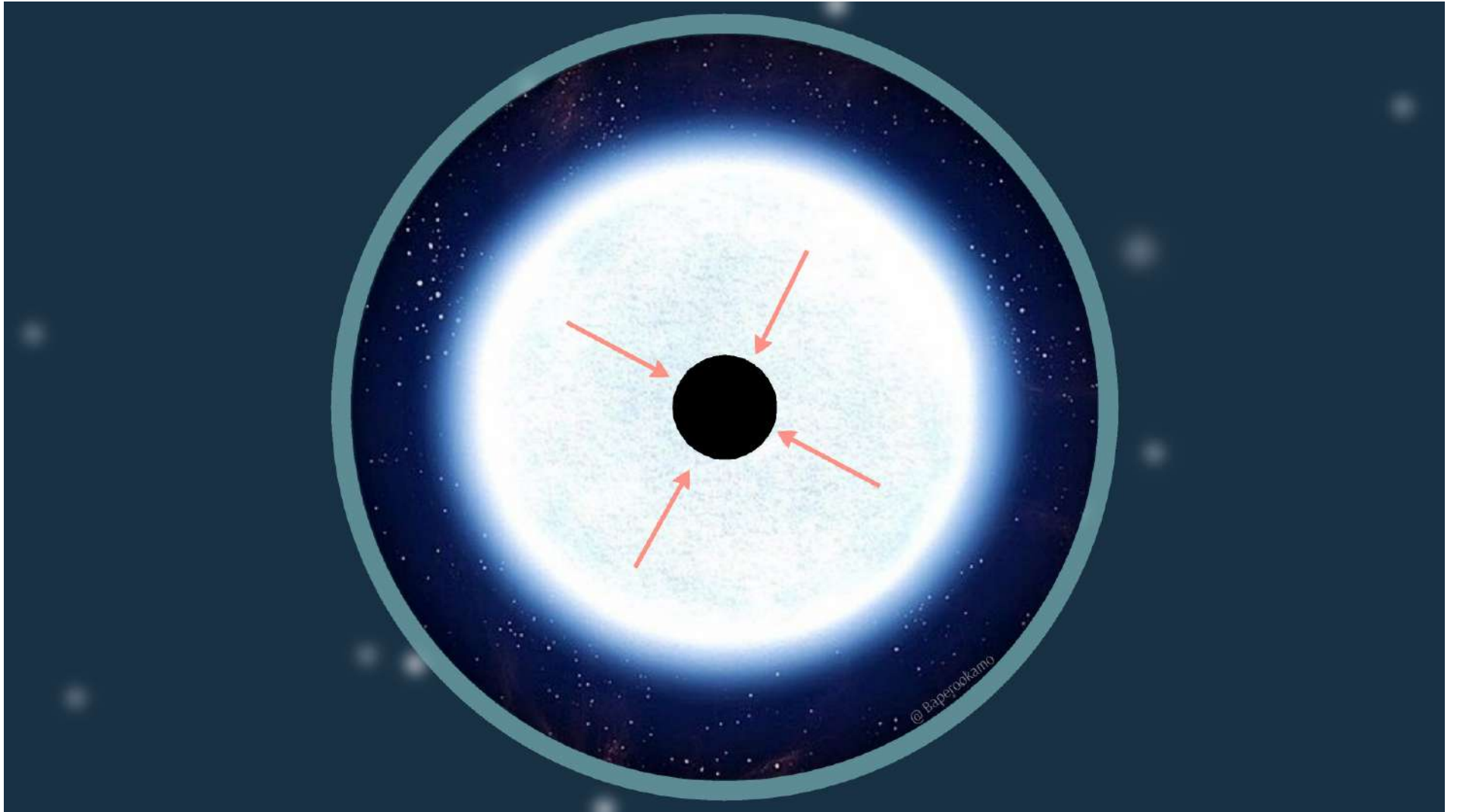


Első generációs "szupermasszív" csillagok?



Credit: Sunmyon Chon @Sunmyon Chon





OJ 287

150 millió naptömeg

18 milliárd naptömeg

Illustration  
@ Universe Today



OJ 287

150 millió naptömeg

Ultramasszív fekete lyuk

18 milliárd naptömeg

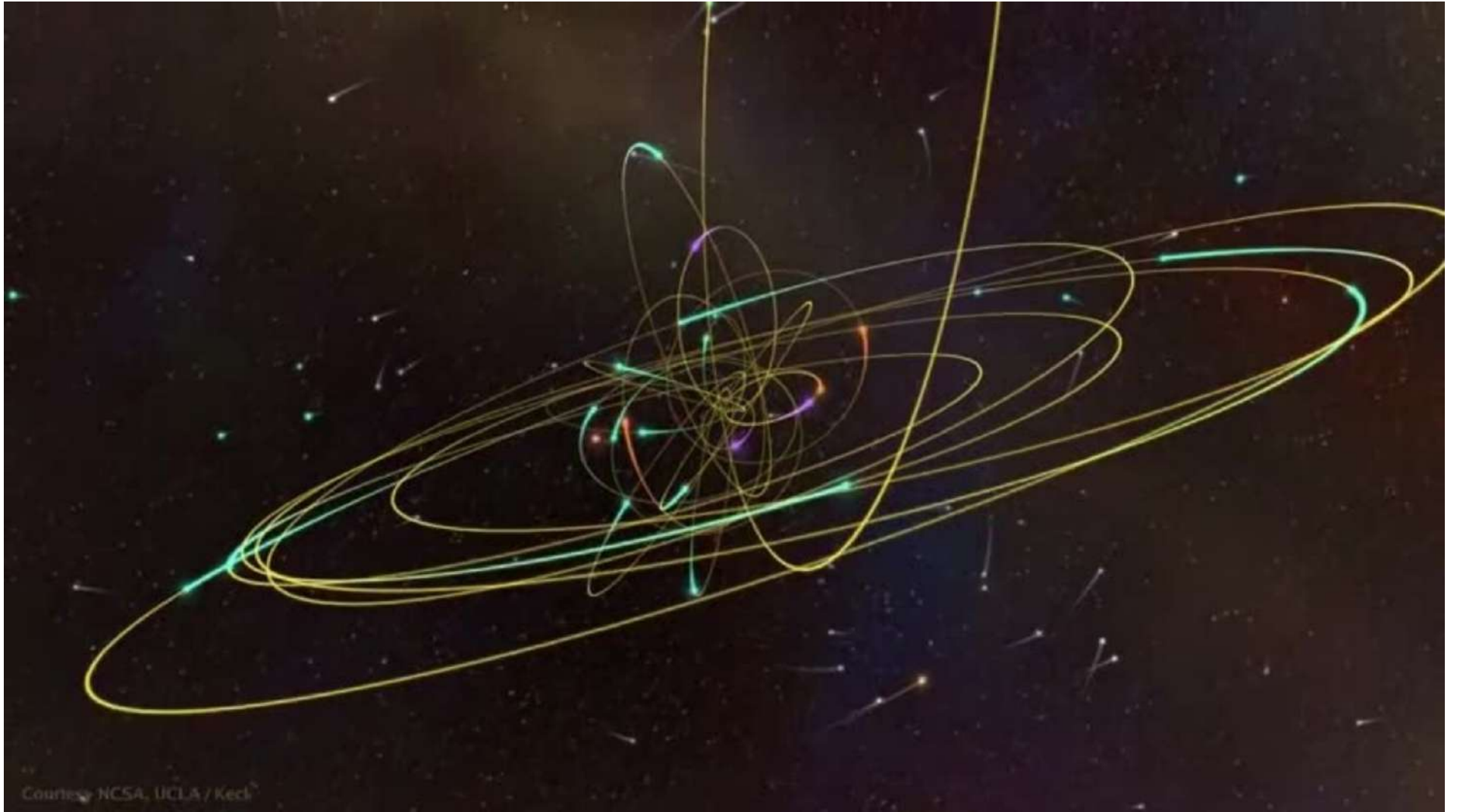
Illustration  
@ Universe Today

Sagittarius A\*

1974

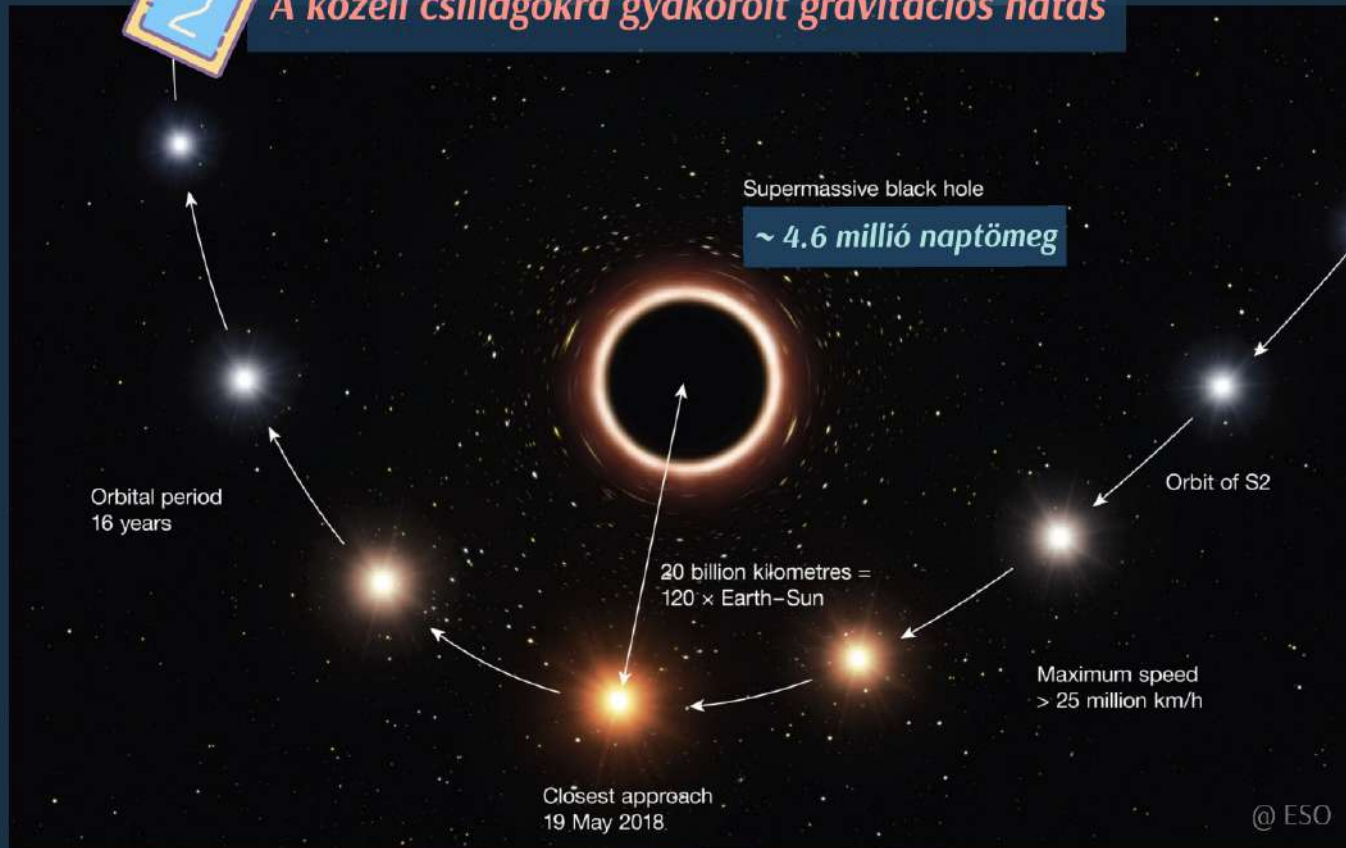
SgrA\*

@ NASA - Chandra



2

## A közeli csillagokra gyakorolt gravitációs hatás



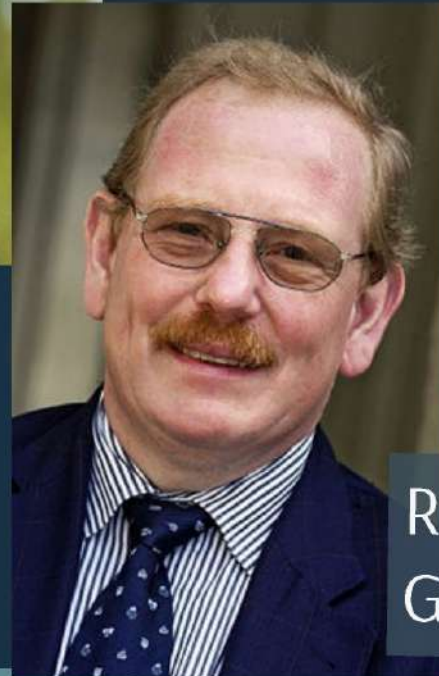


Andrea  
Ghez



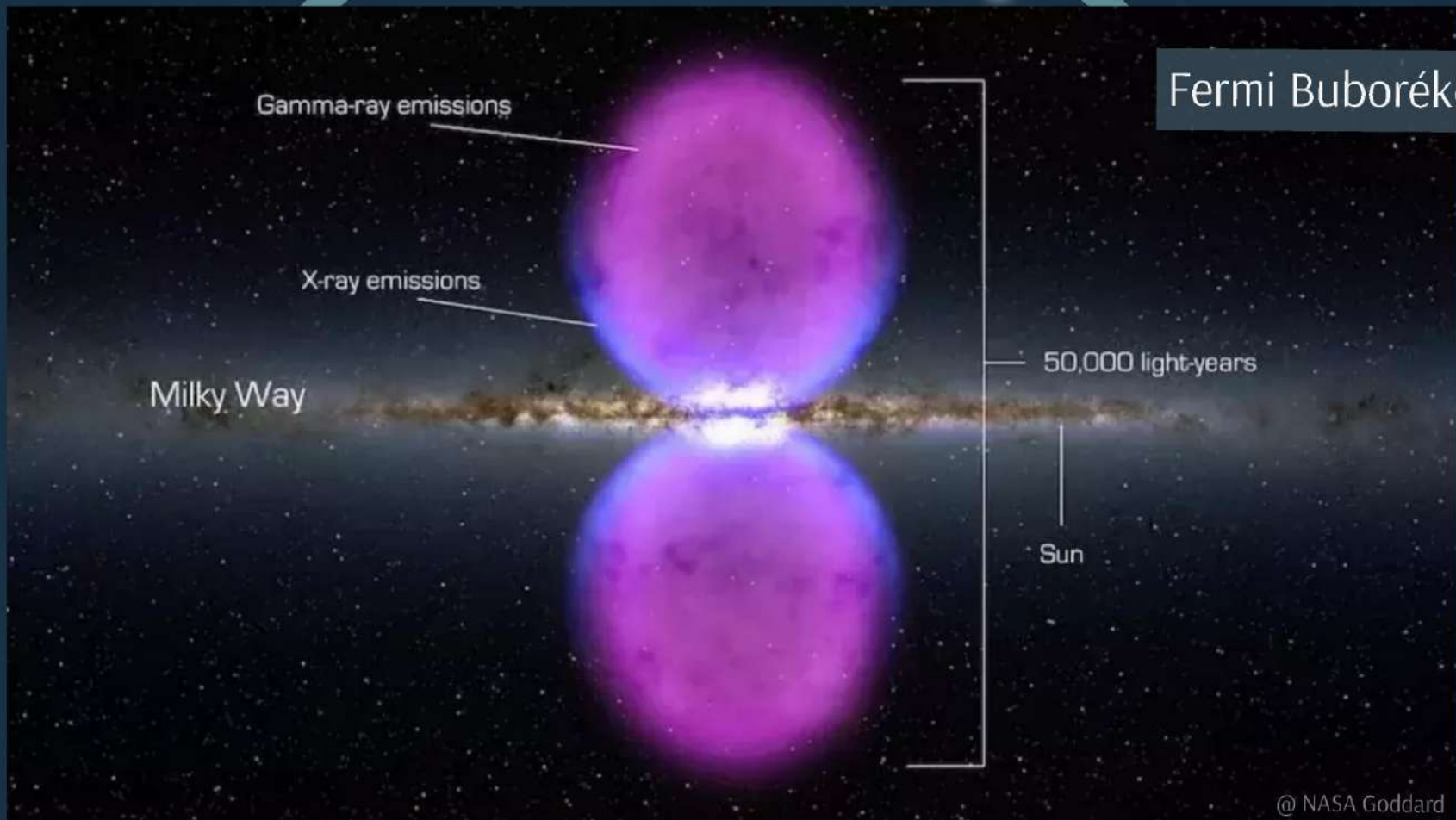
Fizikai Nobel díj 2020

*A galaxisunk középpontjában található  
szupermasszív kompakt objekt felfedezéséért*



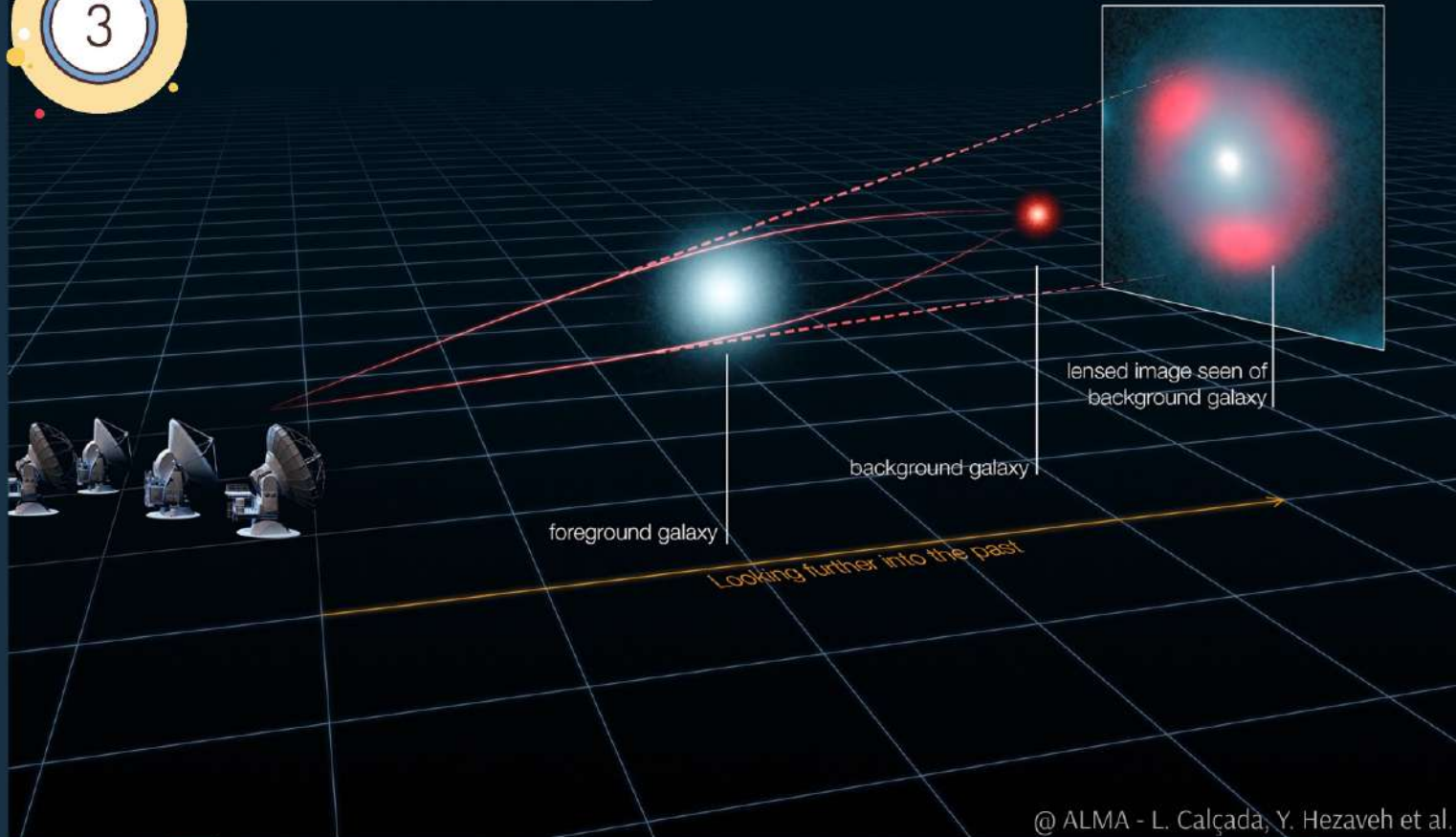
Reinhard  
Genzel

# Fermi Bubbles





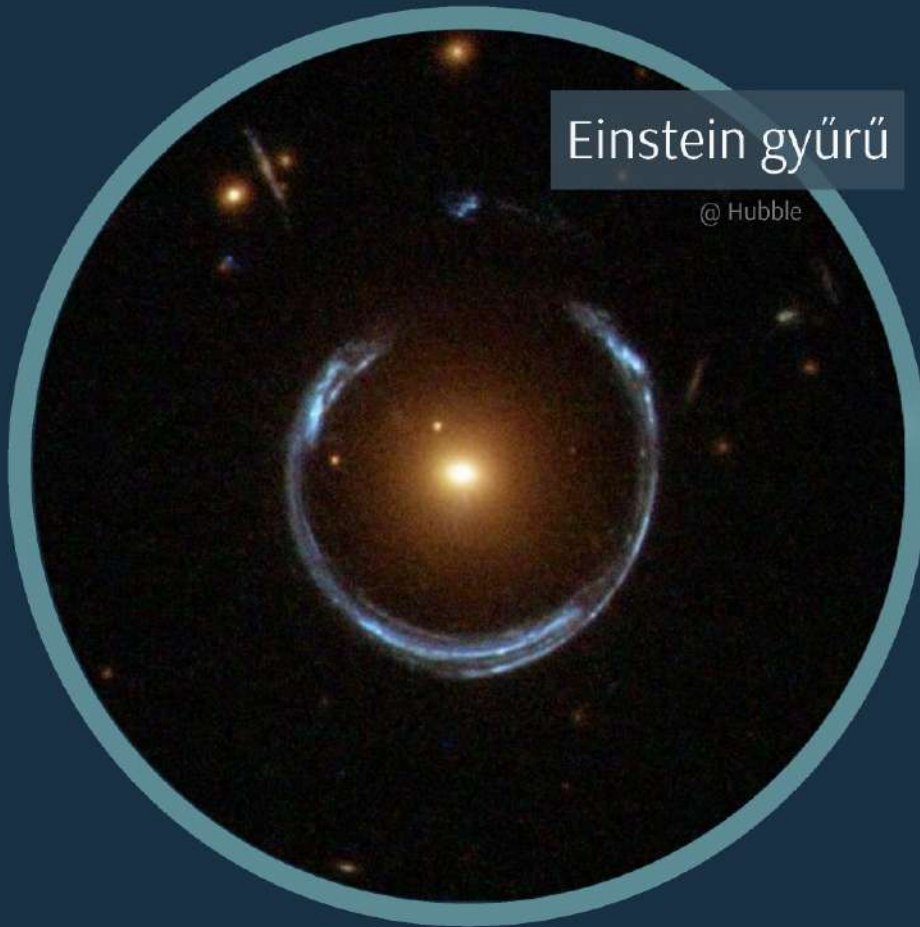
## Gravitációs lencsézés



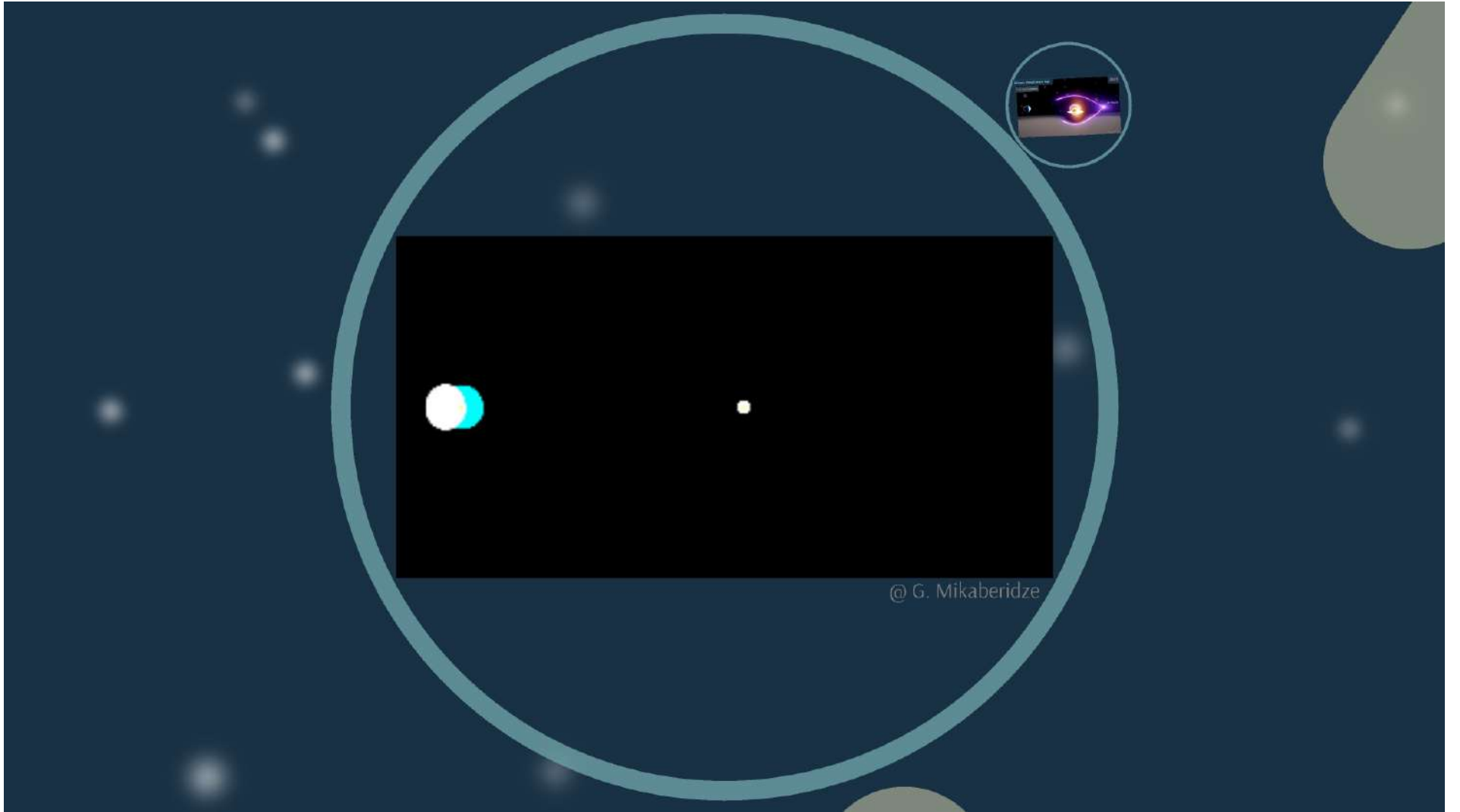
@ ALMA - L. Calçada, Y. Hezaveh et al.

# Einstein gyűrű

@ Hubble



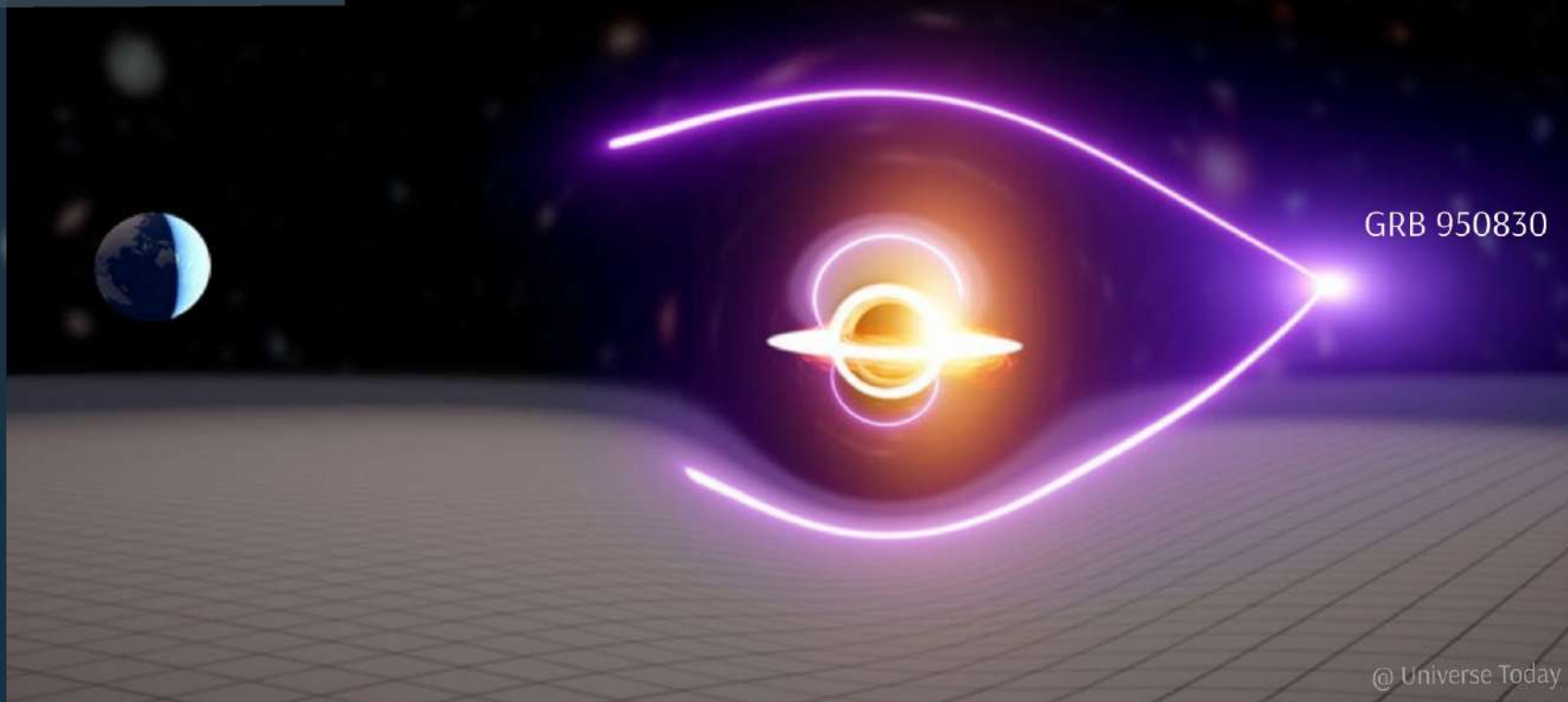




## Közepes tömegű fekete lyuk

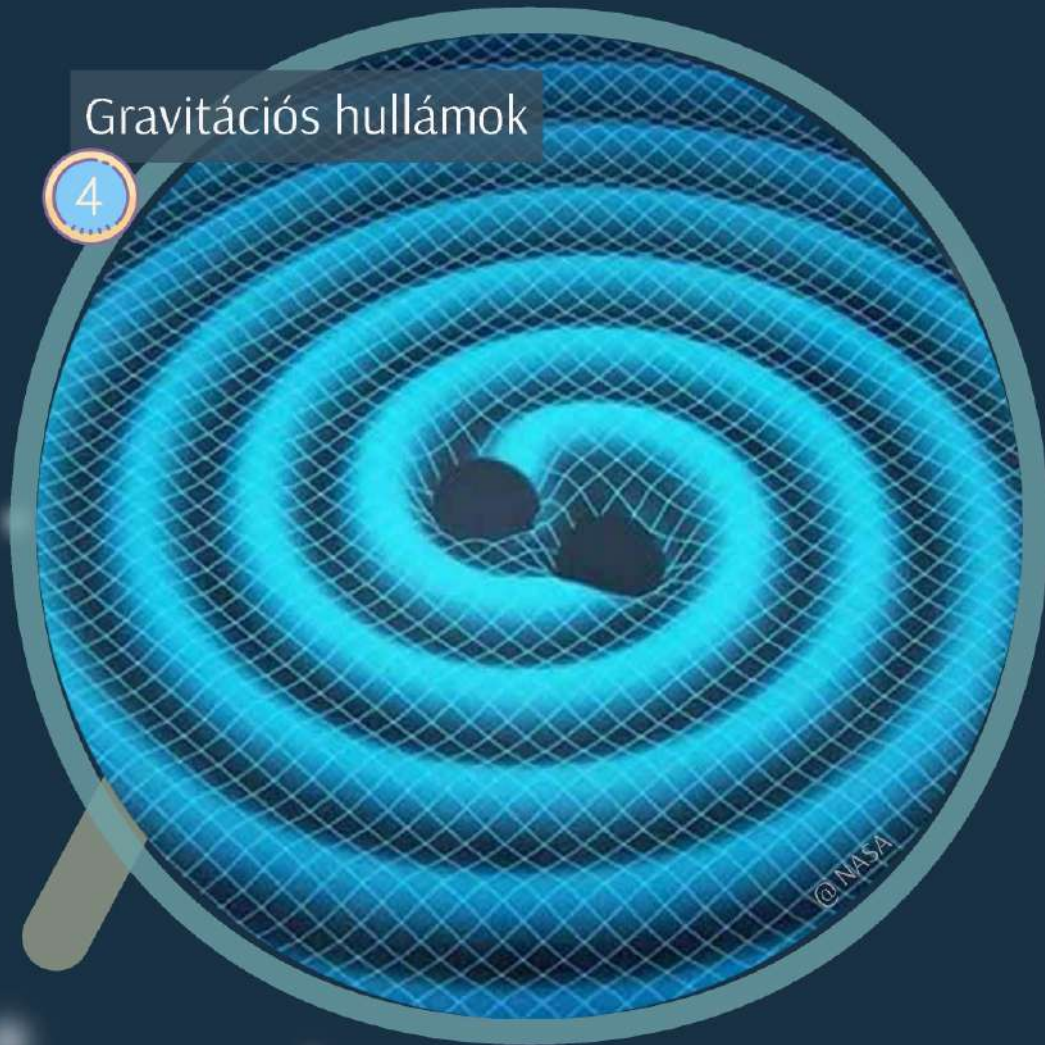
2021

~ 55 ezer naptömeg

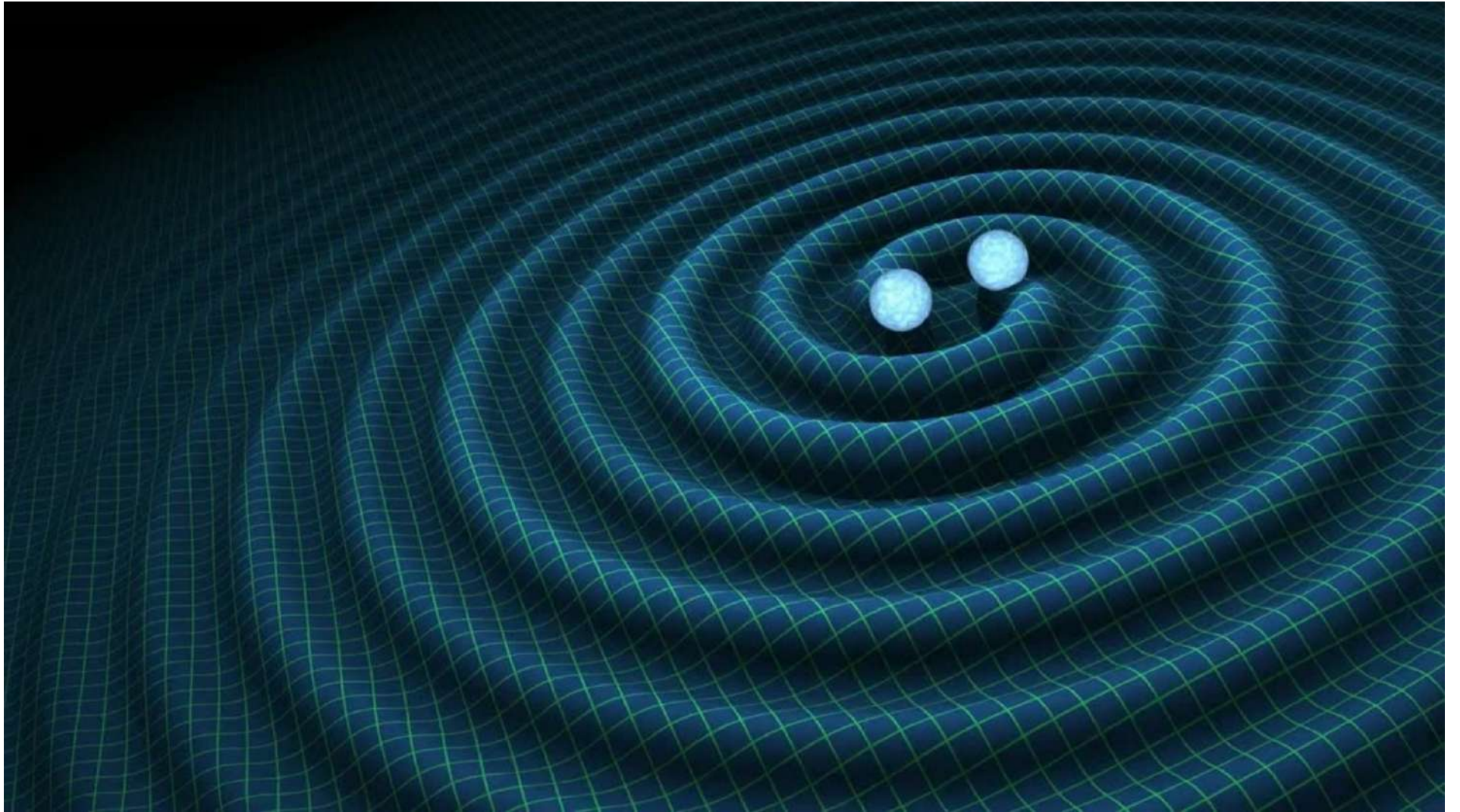


# Gravitációs hullámok

4









LIGO

@ Caltech/LIGO

4 km hosszú karok

~ Proton méretének  
ezredrésze

2015

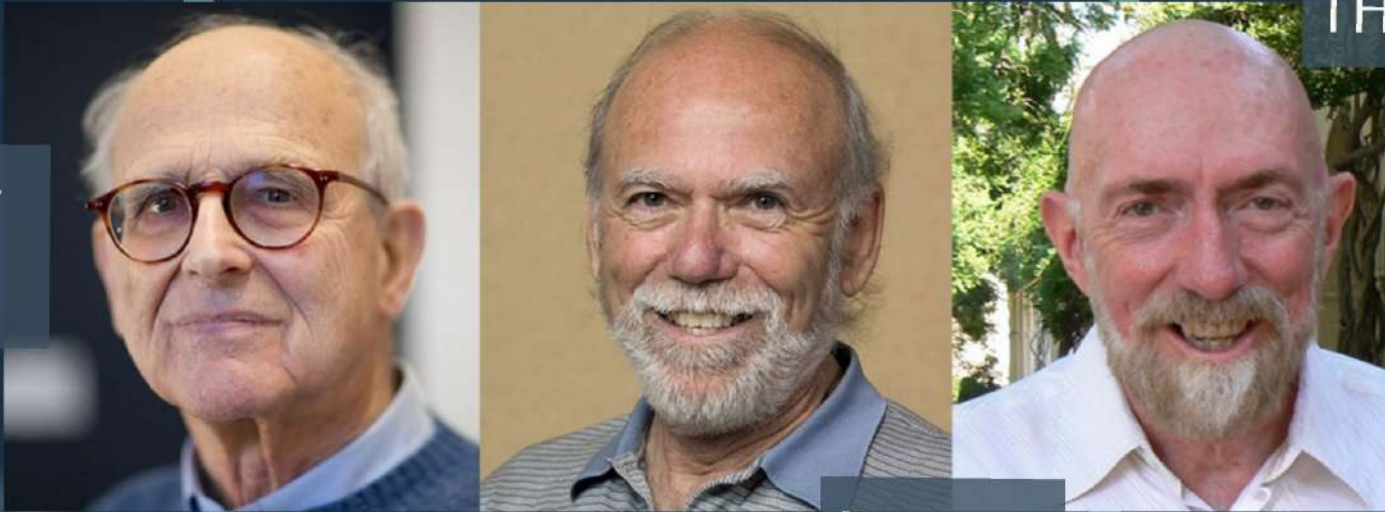
29 és 36  
naptömegű fekete lyukak

*Hozzájárulás a LIGO detektor működéséhez  
és a gravitációs hullámok észleléséhez*

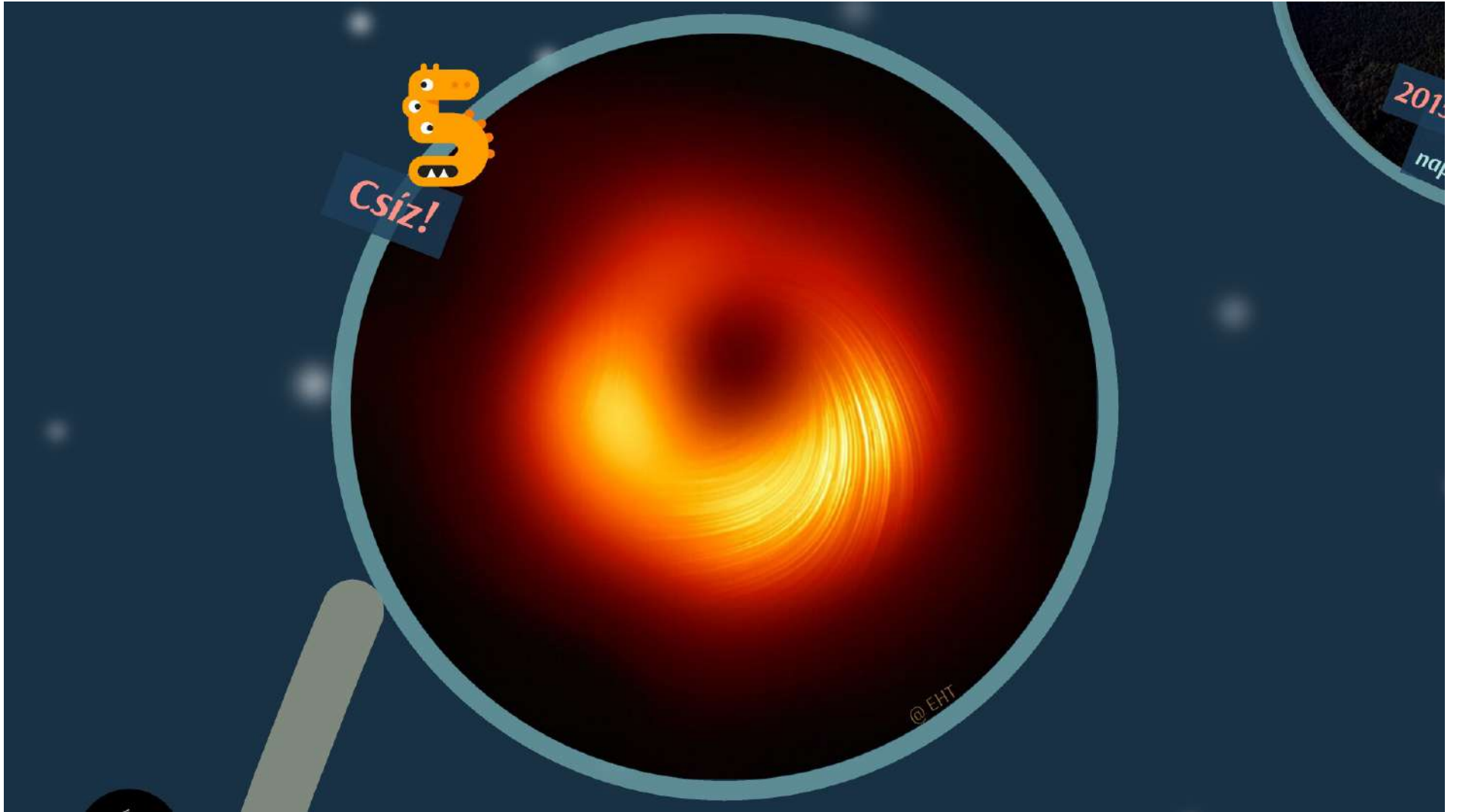
Fizikai Nobel díj 2017

Kip  
Thorne

Rainer  
Weiss

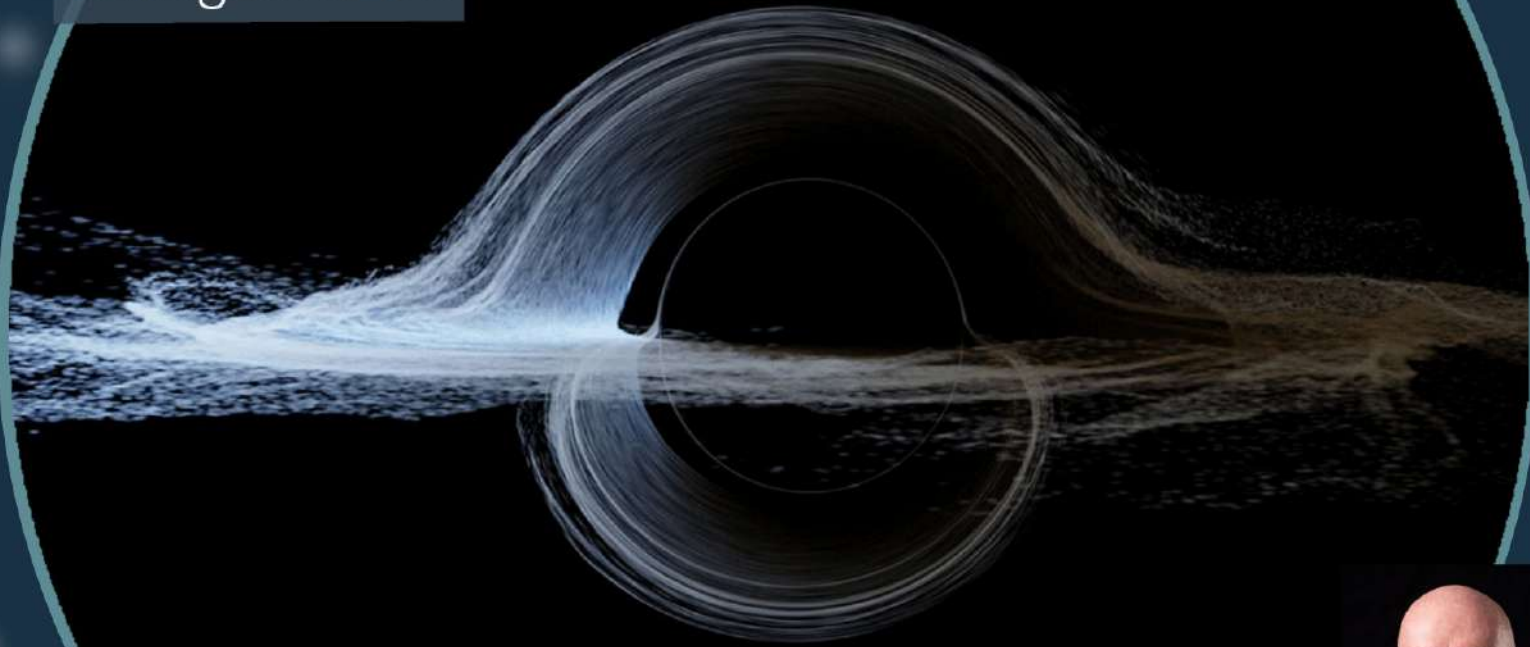


Barry  
Barish



@ Interstellar

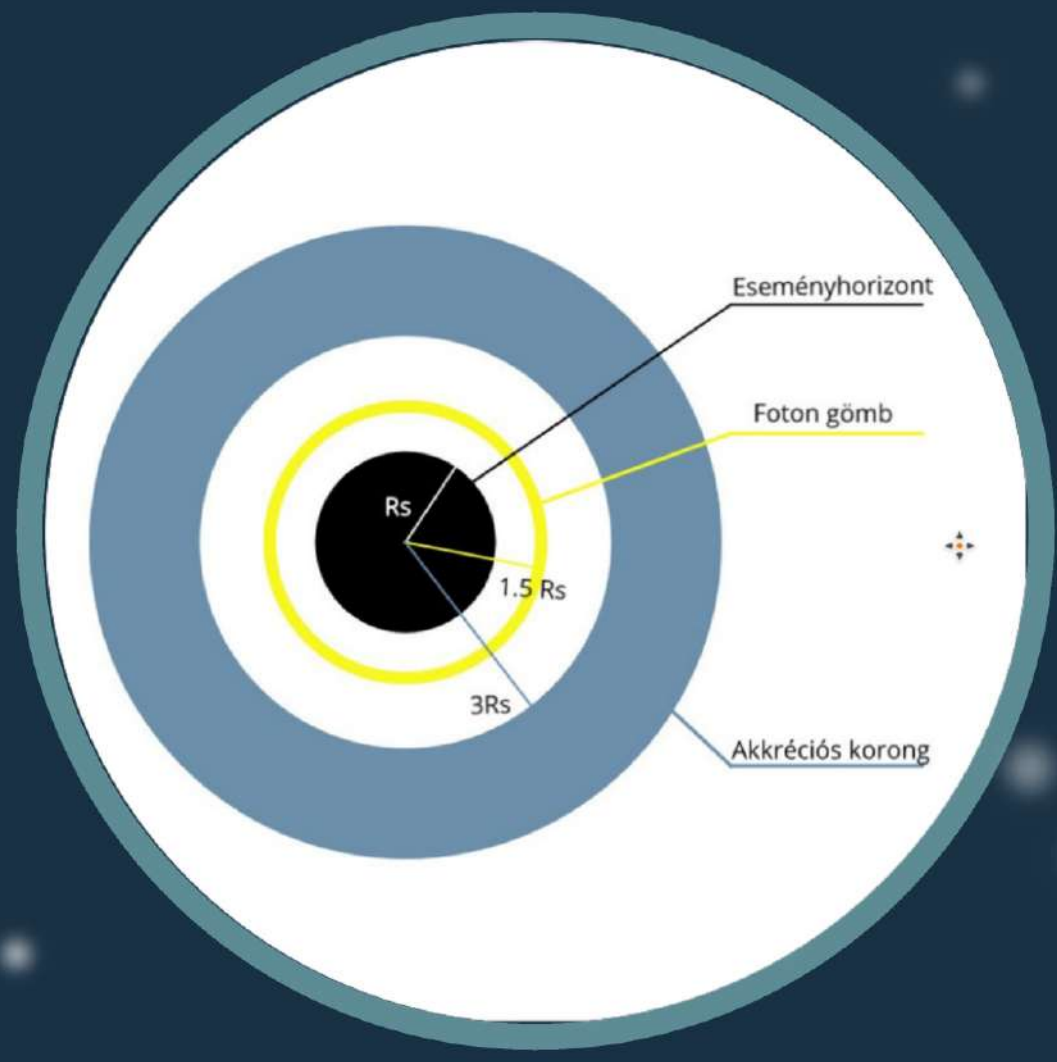
# Csillagok között



Kip  
Thorne





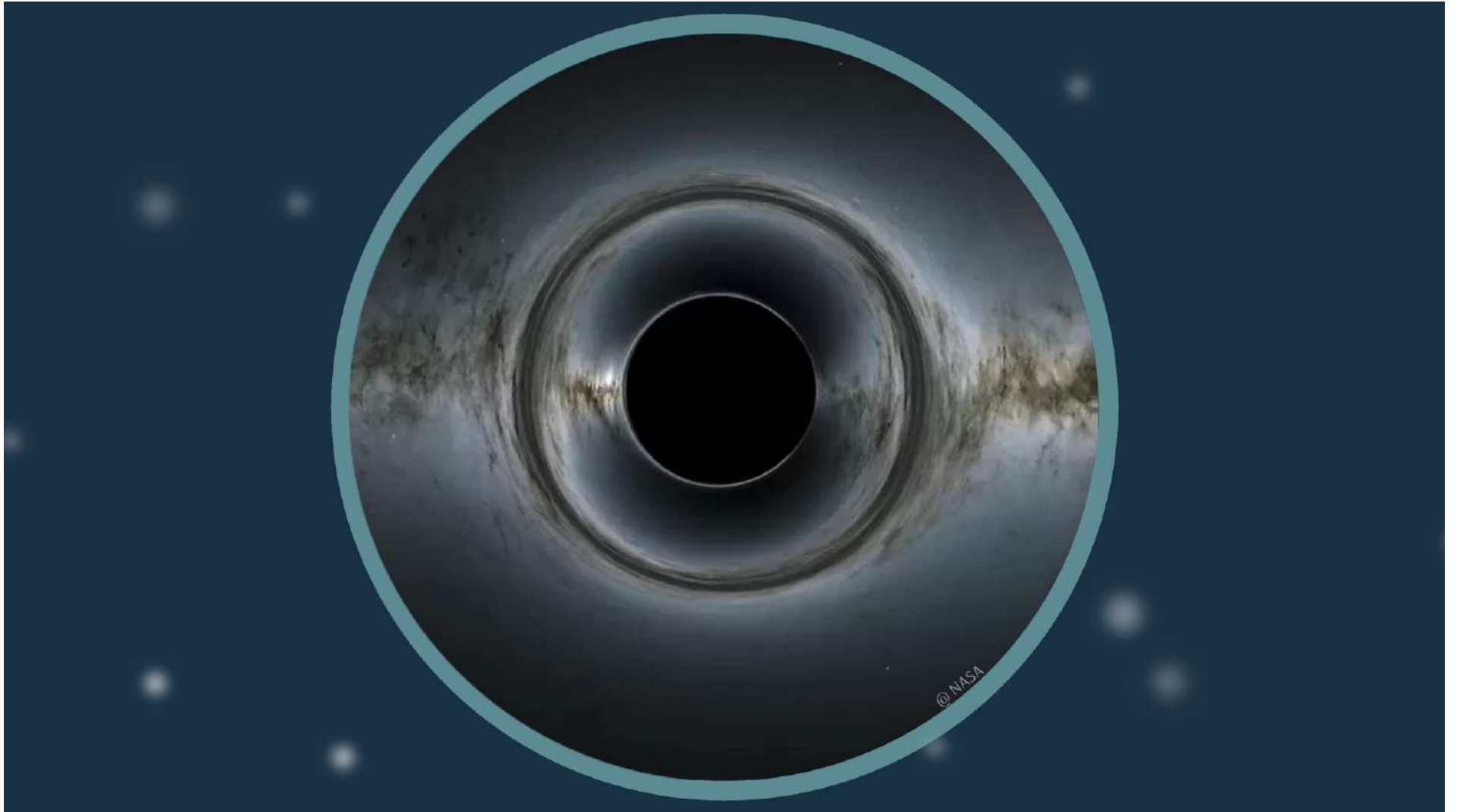


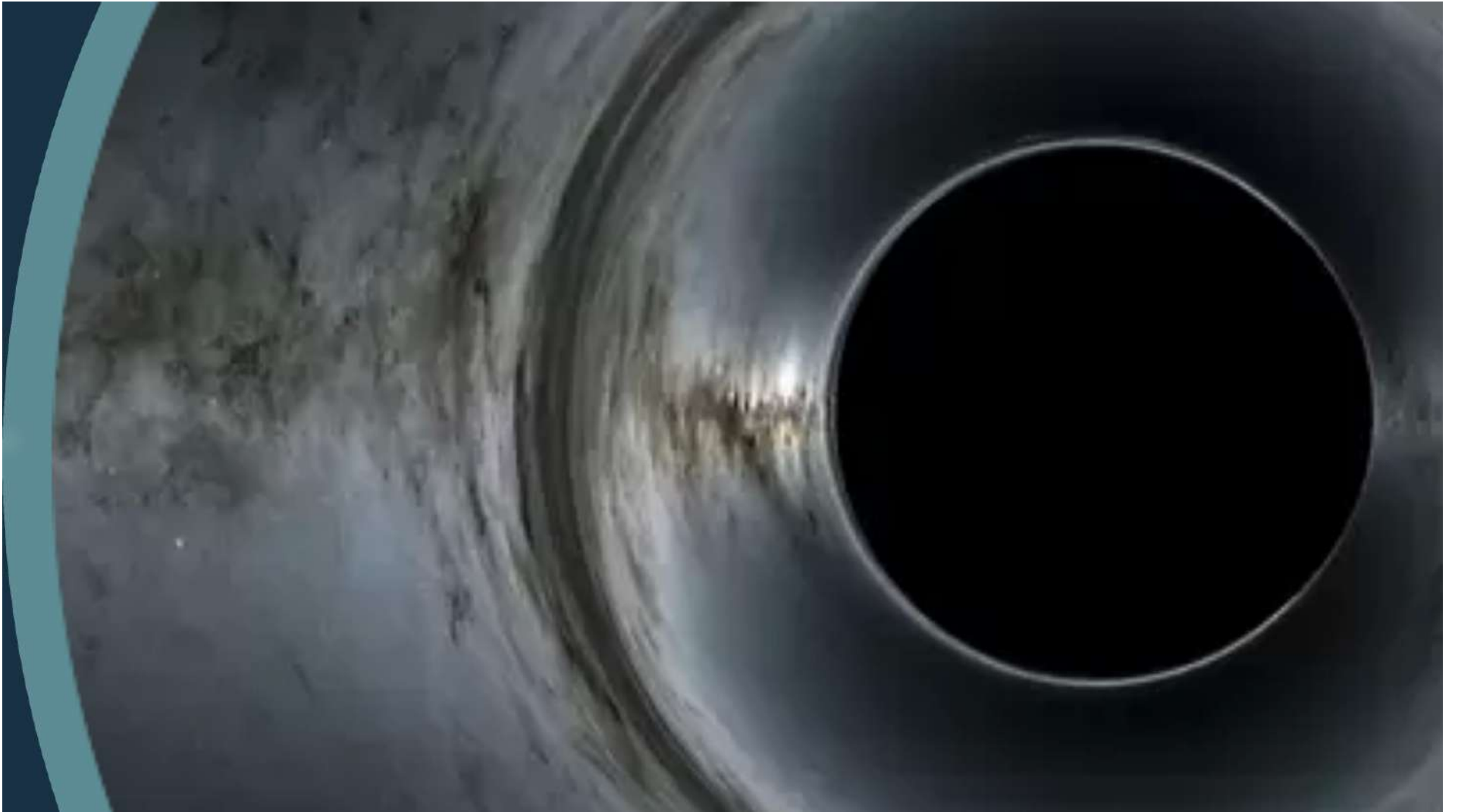
És ha mégis látnánk az eseményhorizontot?



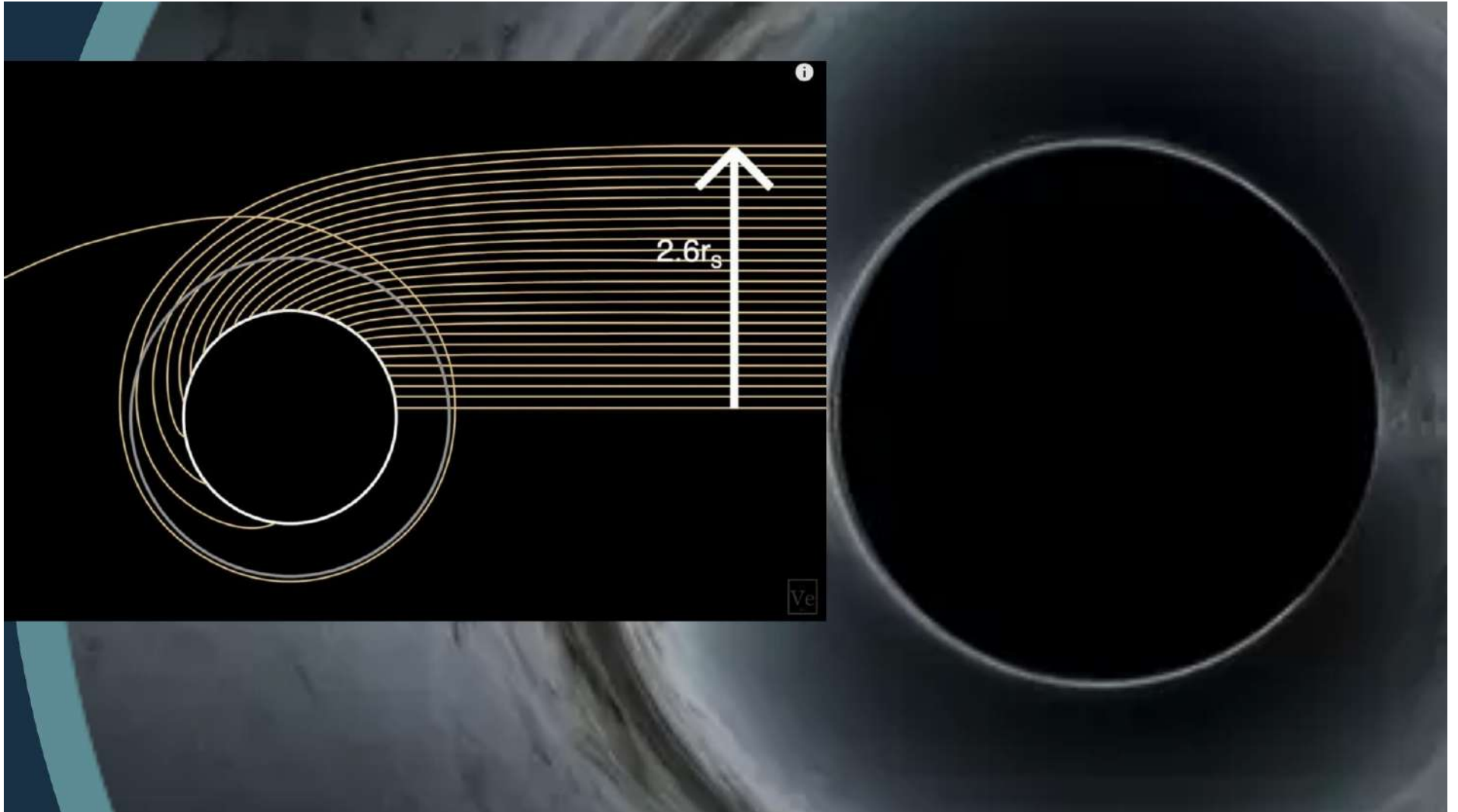
Ve

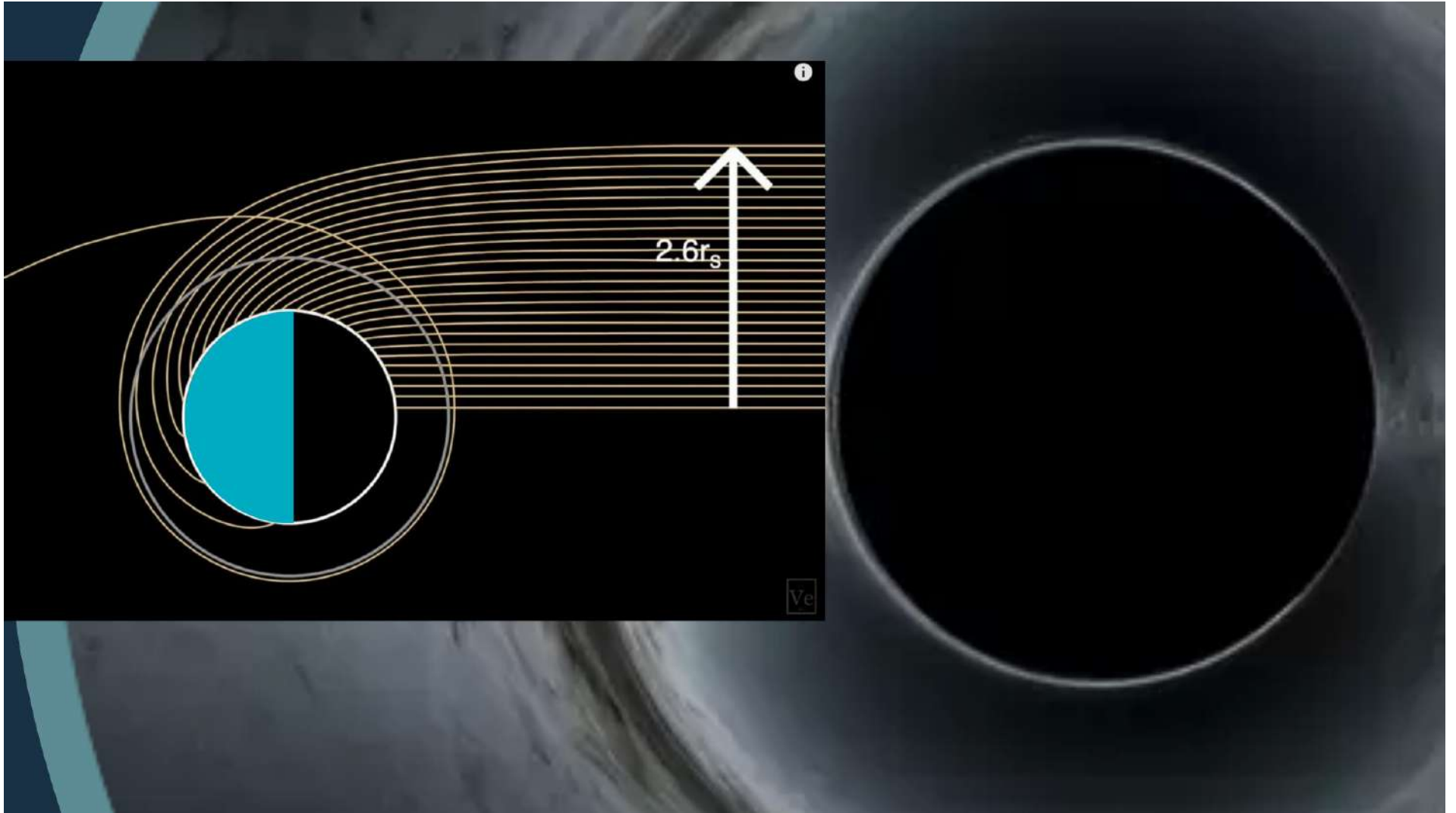
@ Veritasium

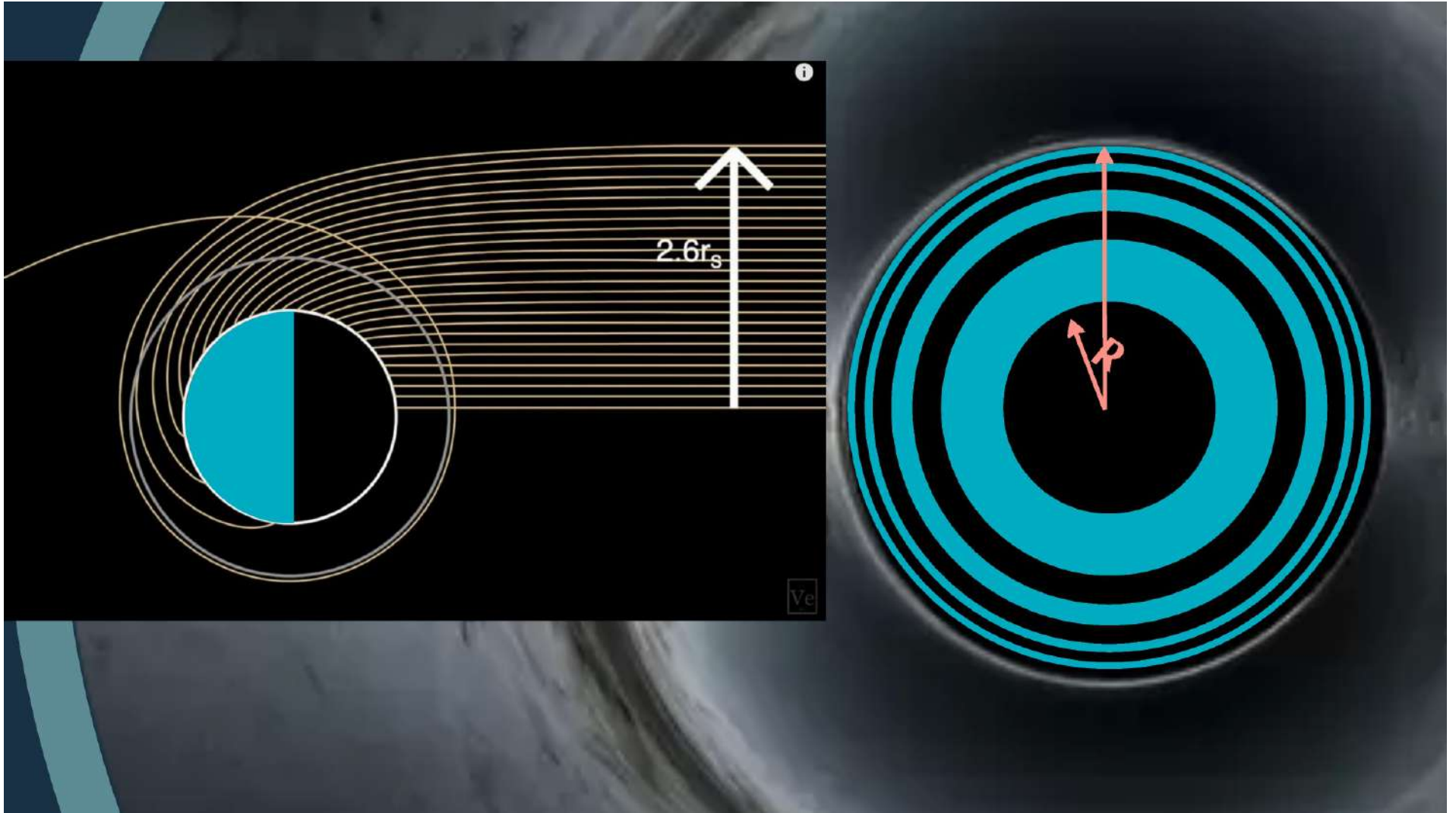


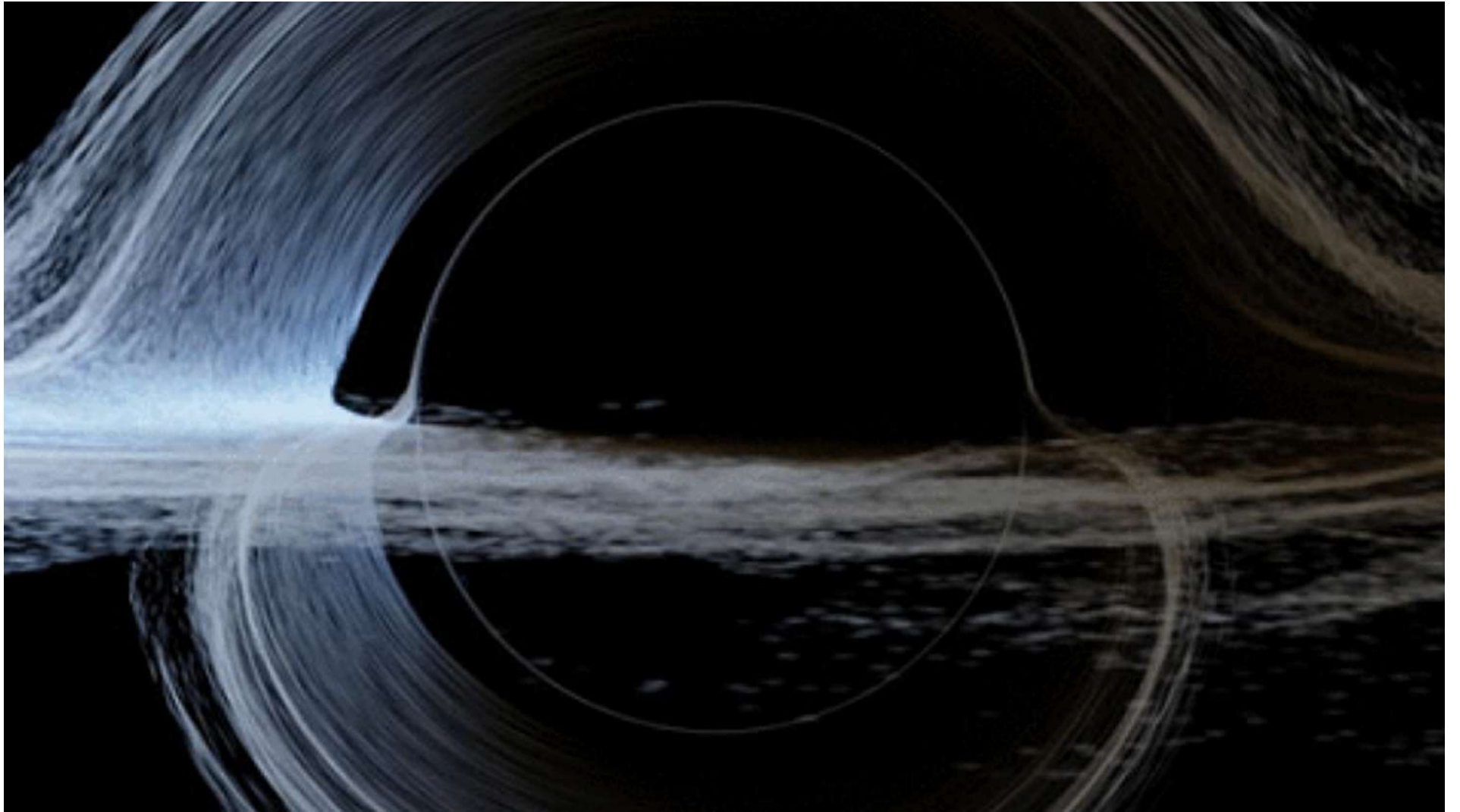






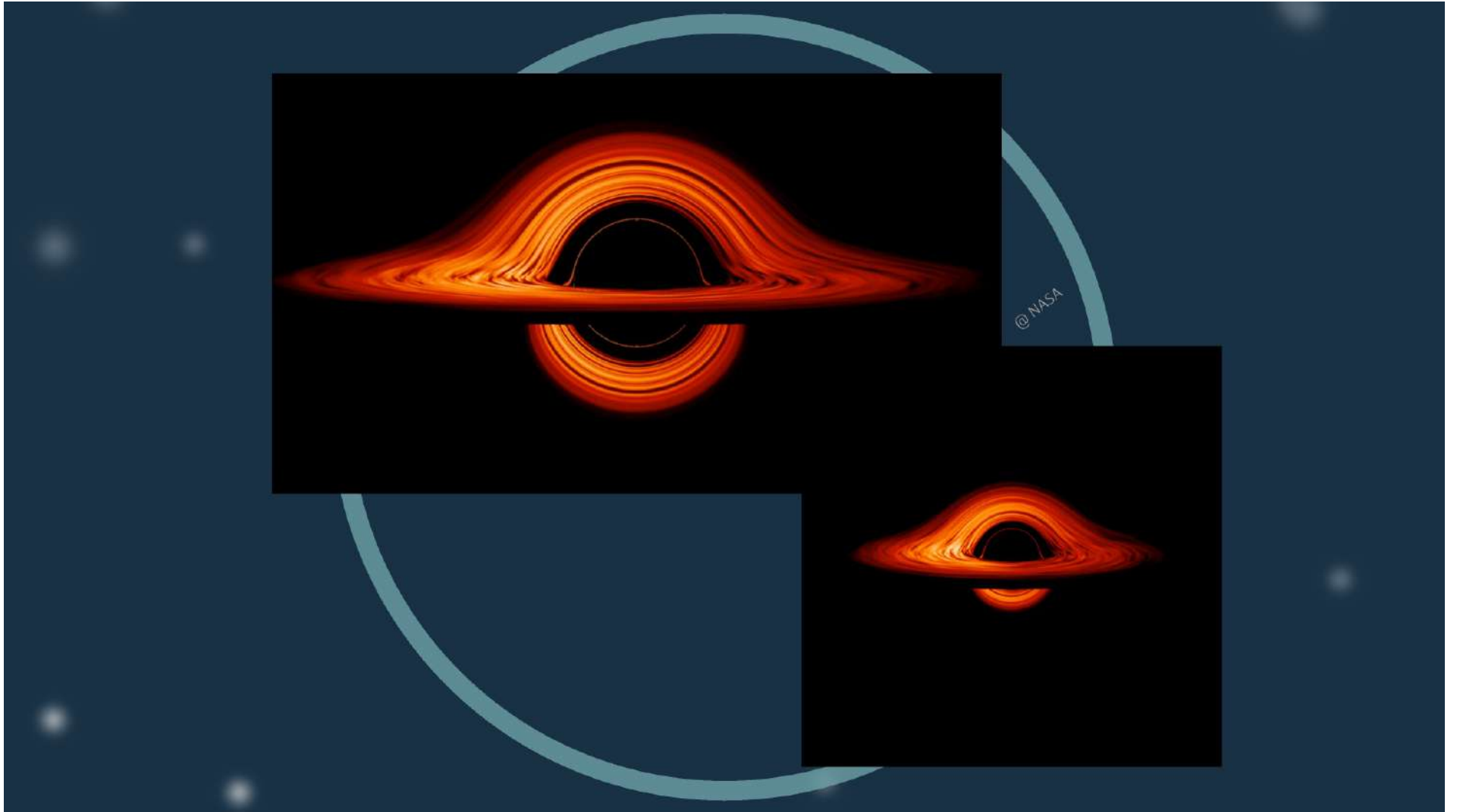






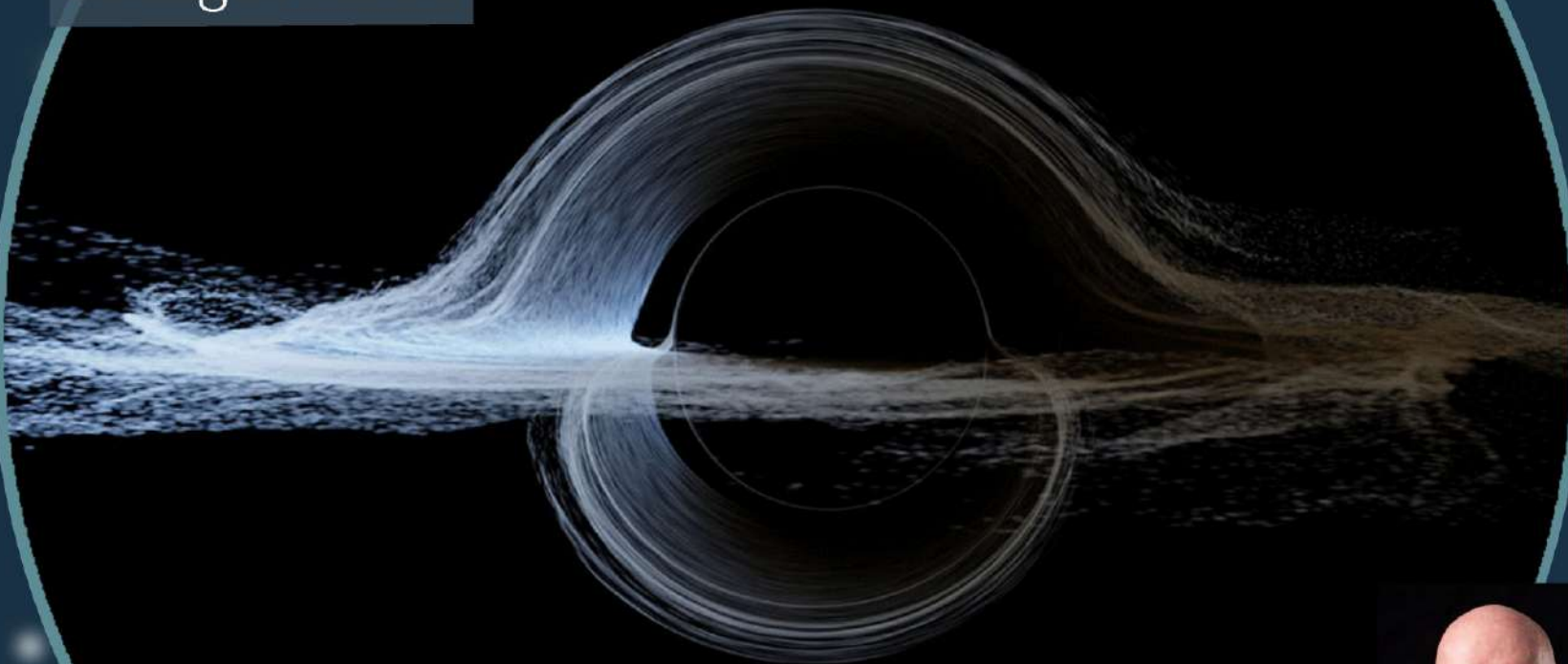






@ Interstellar

# Csillagok között

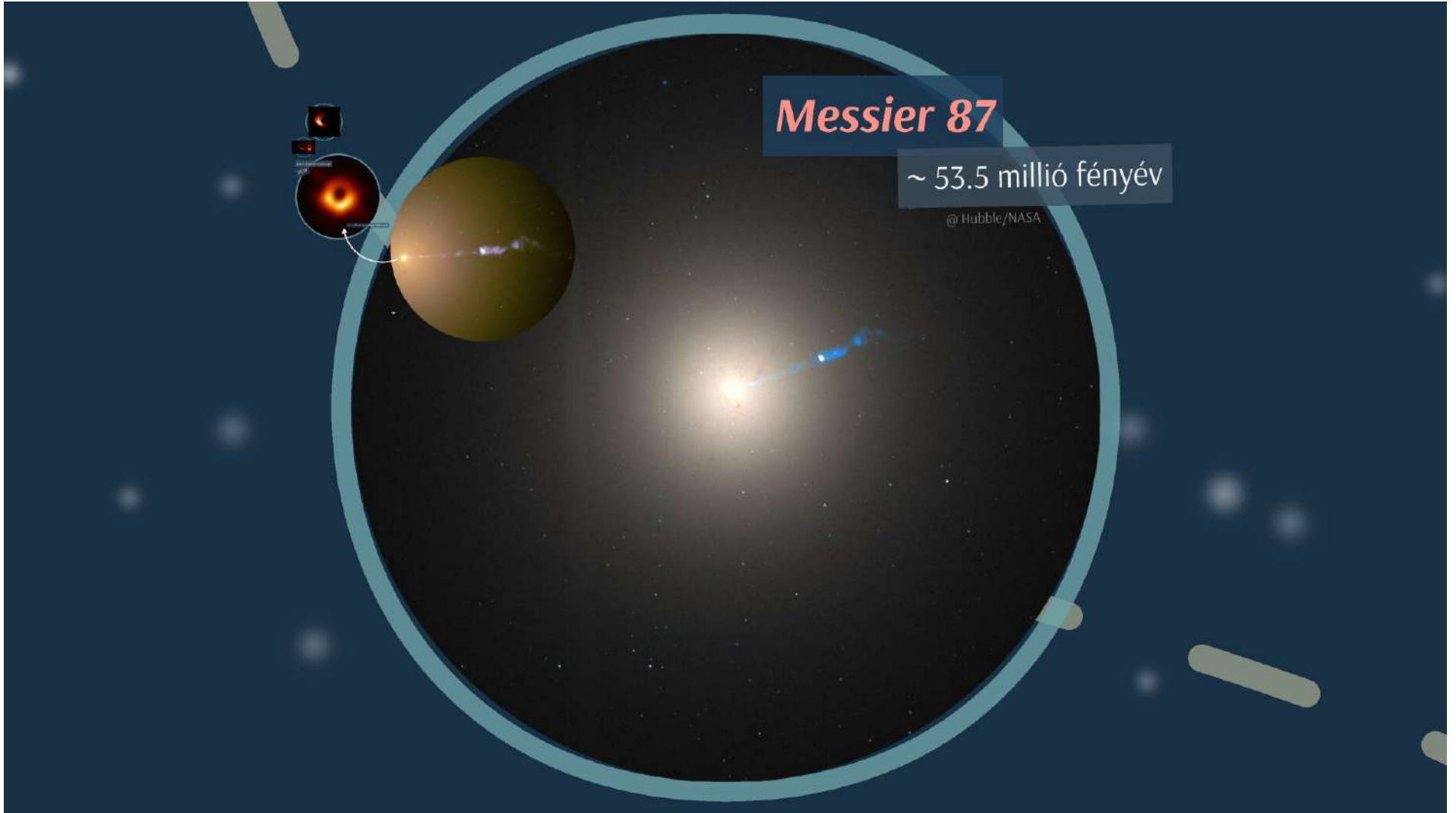


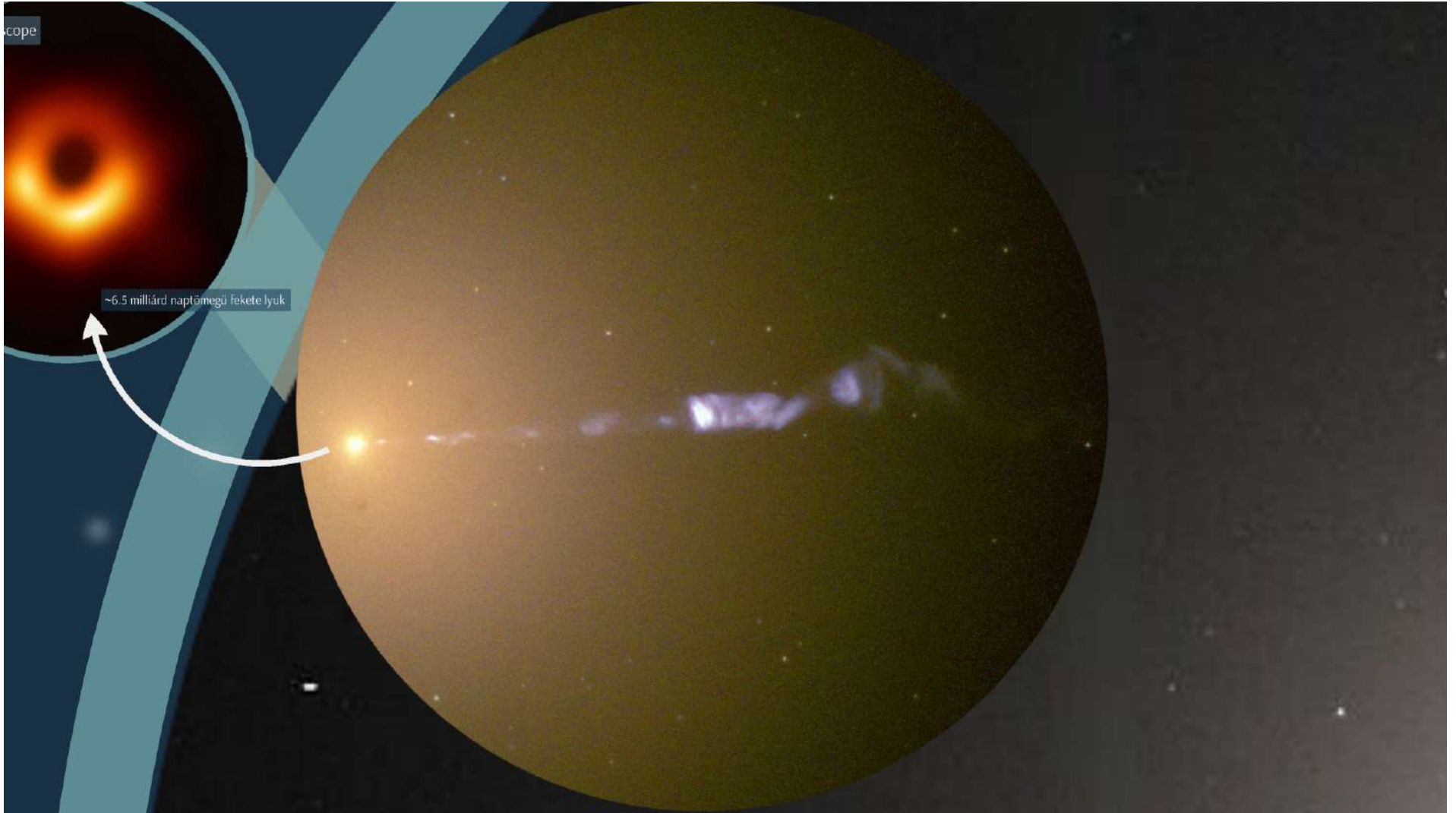
Kip  
Thorne

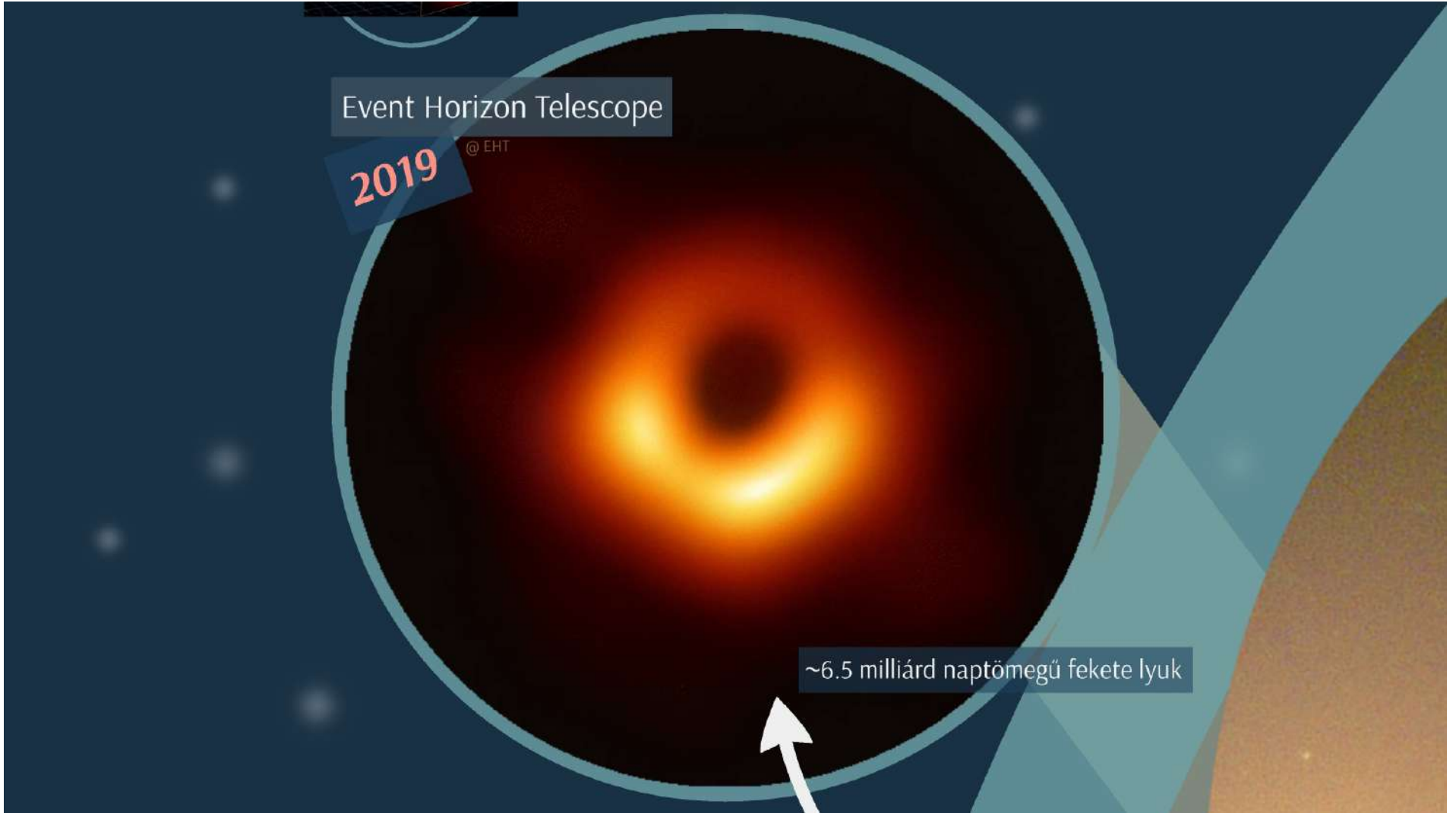


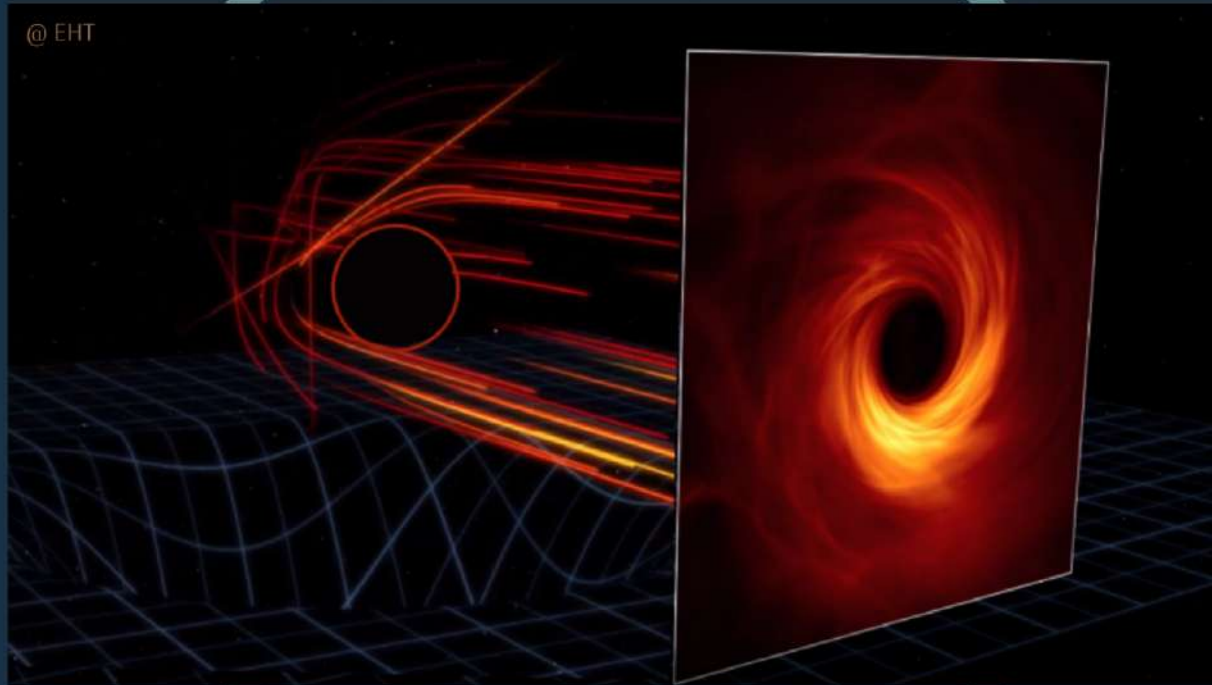
















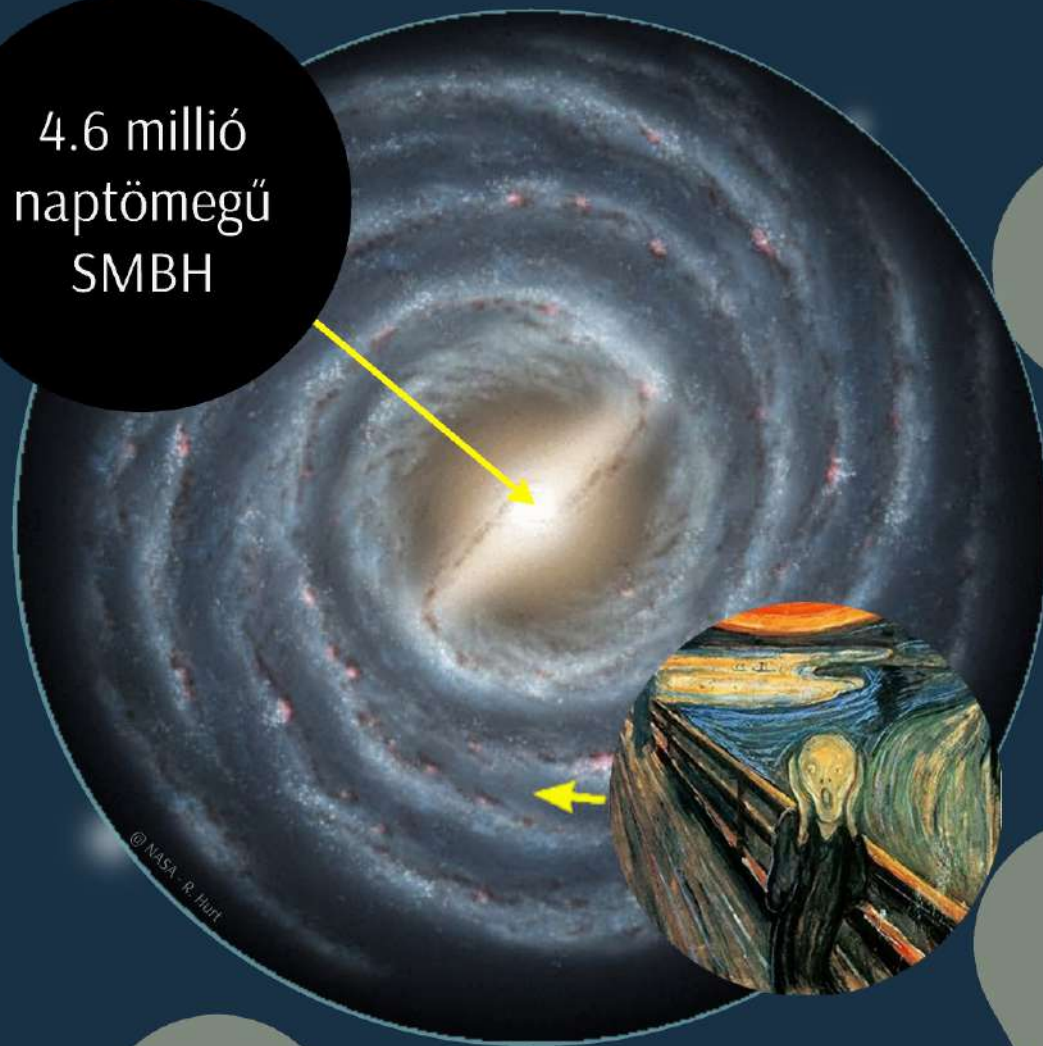




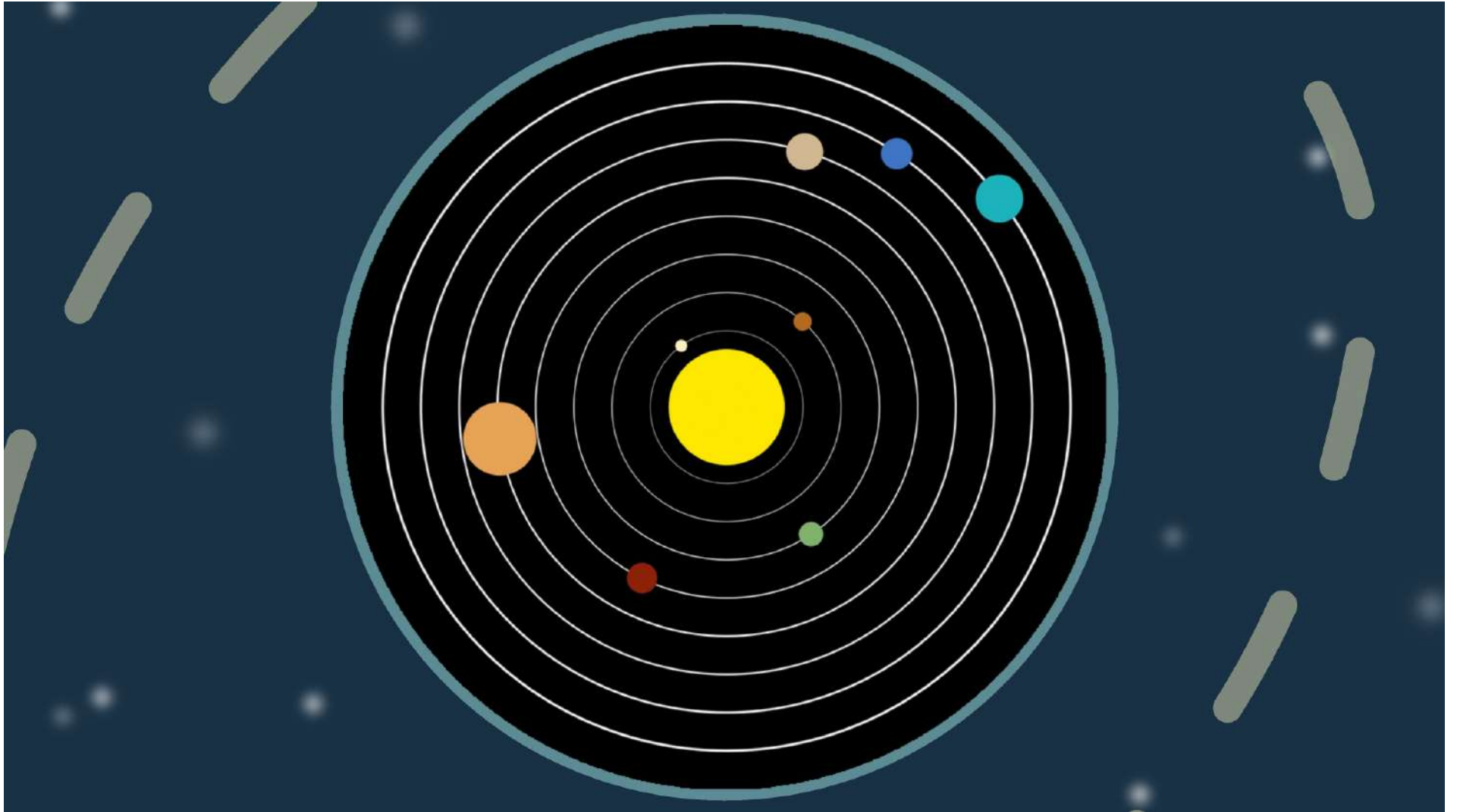


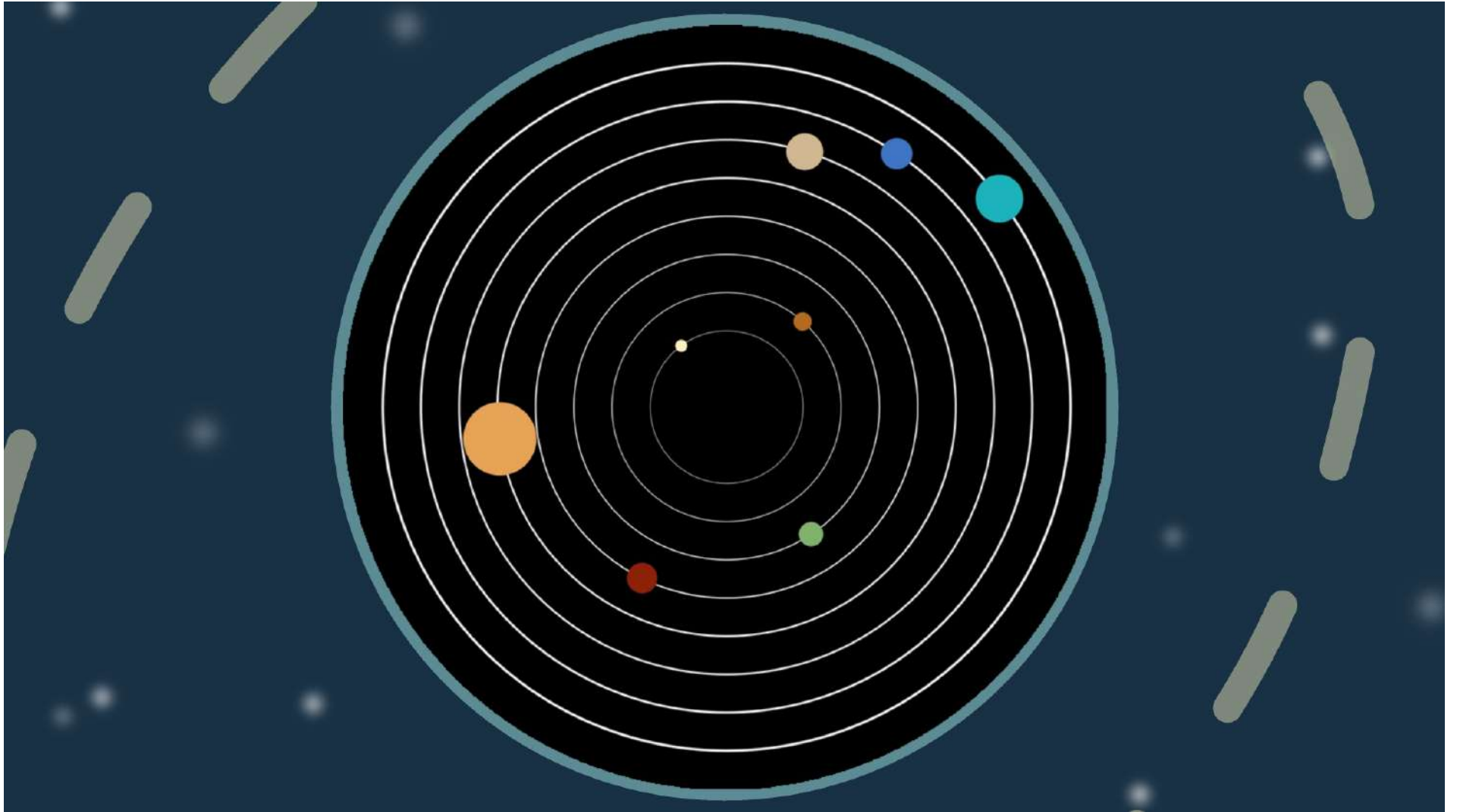


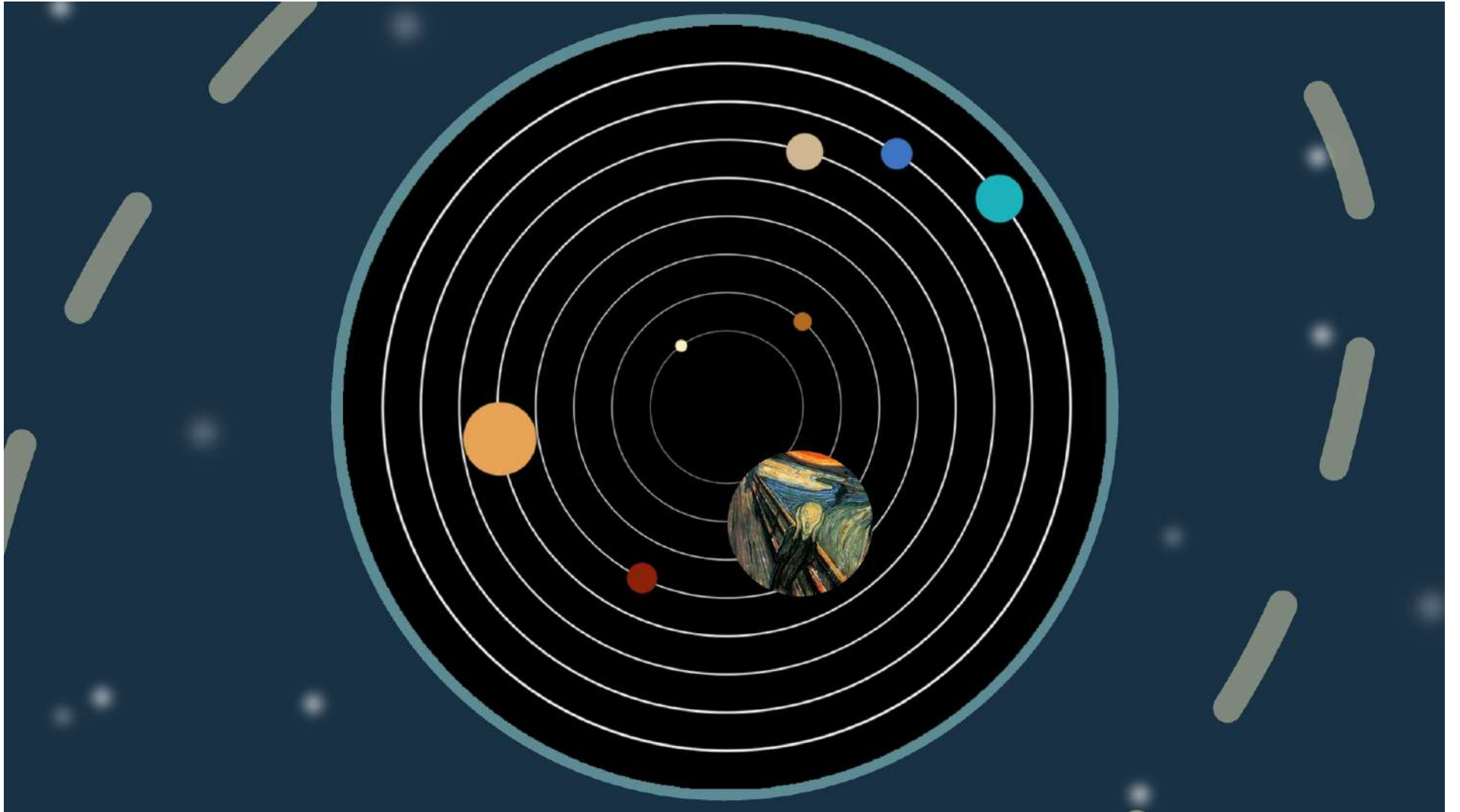
4.6 millió  
naptömegű  
SMBH



@ NASA - R. Hurt



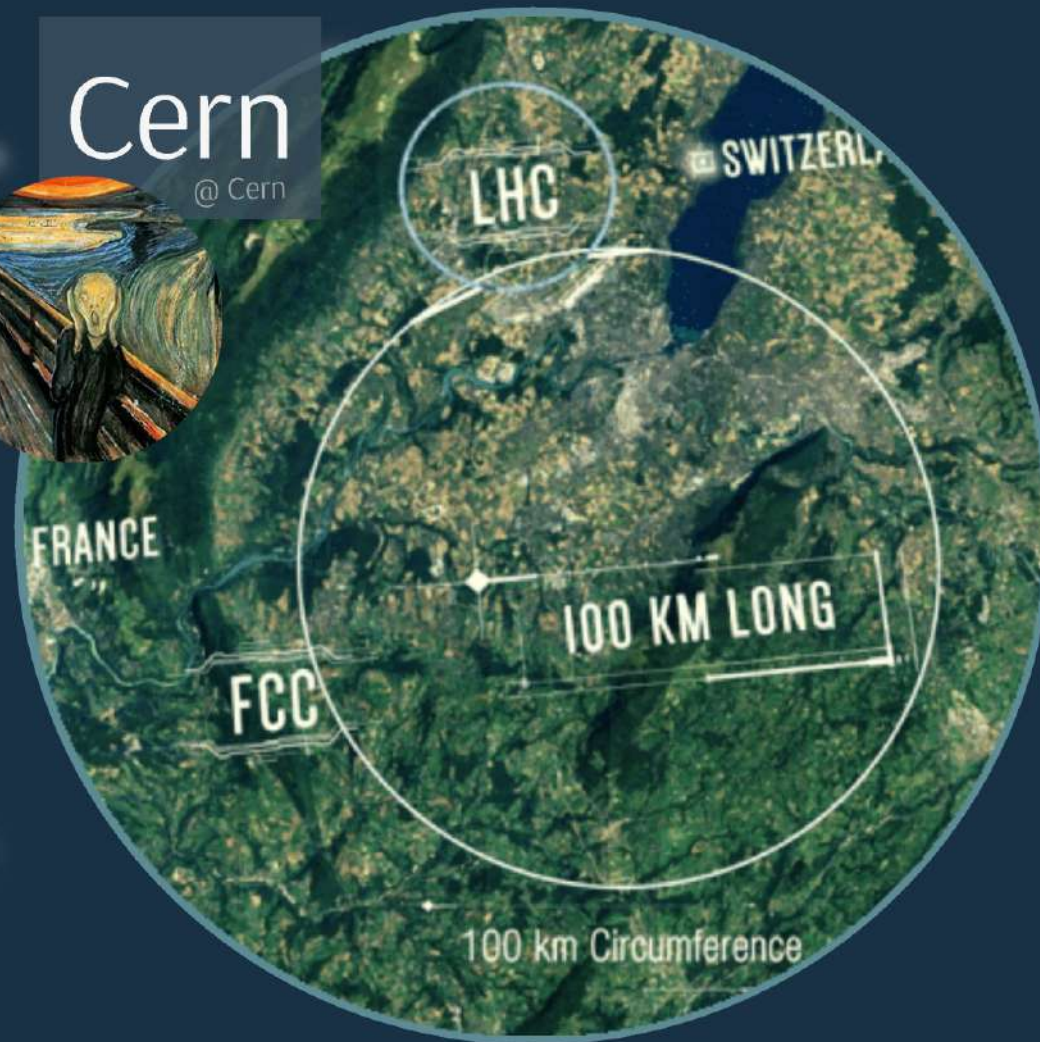


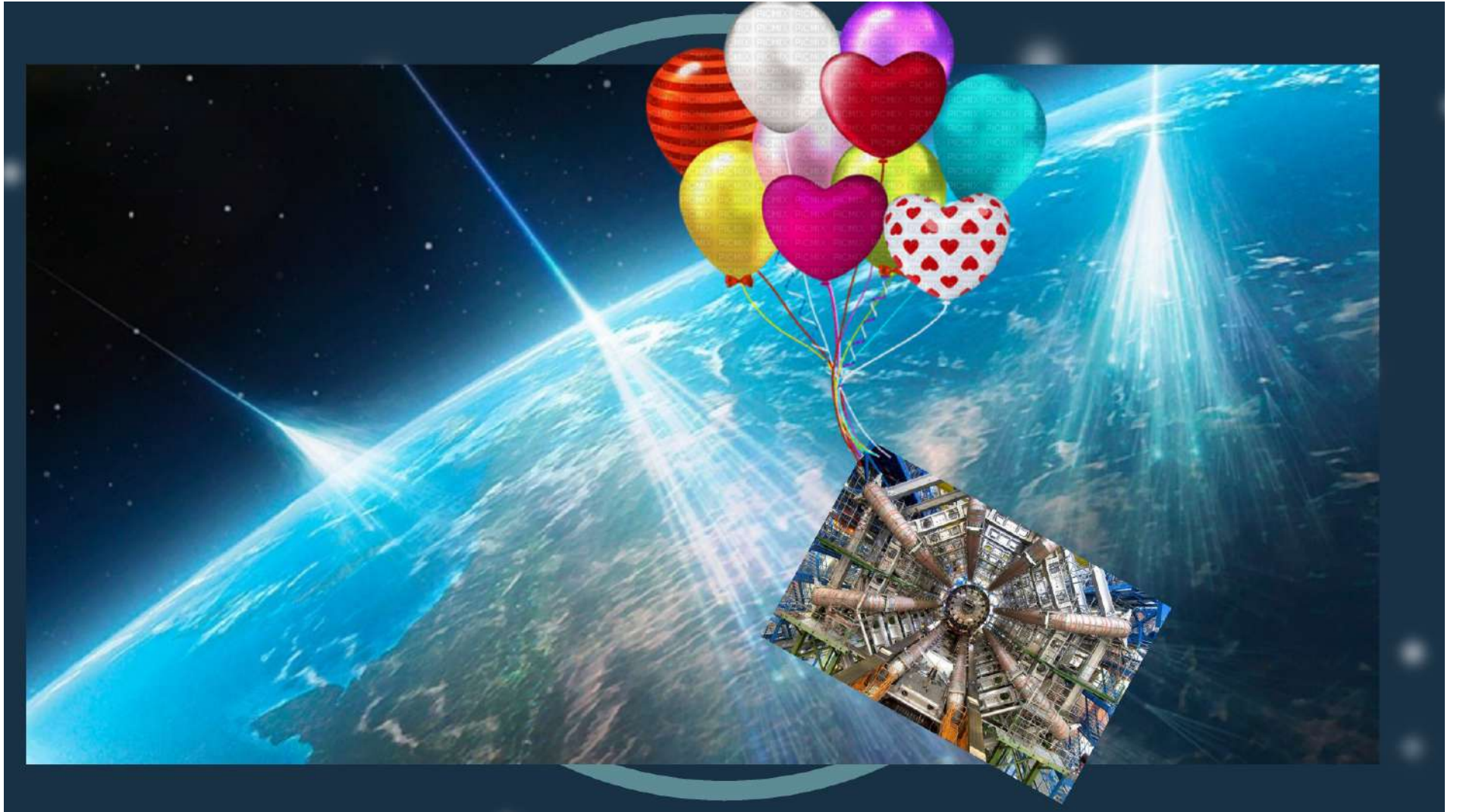




Cern

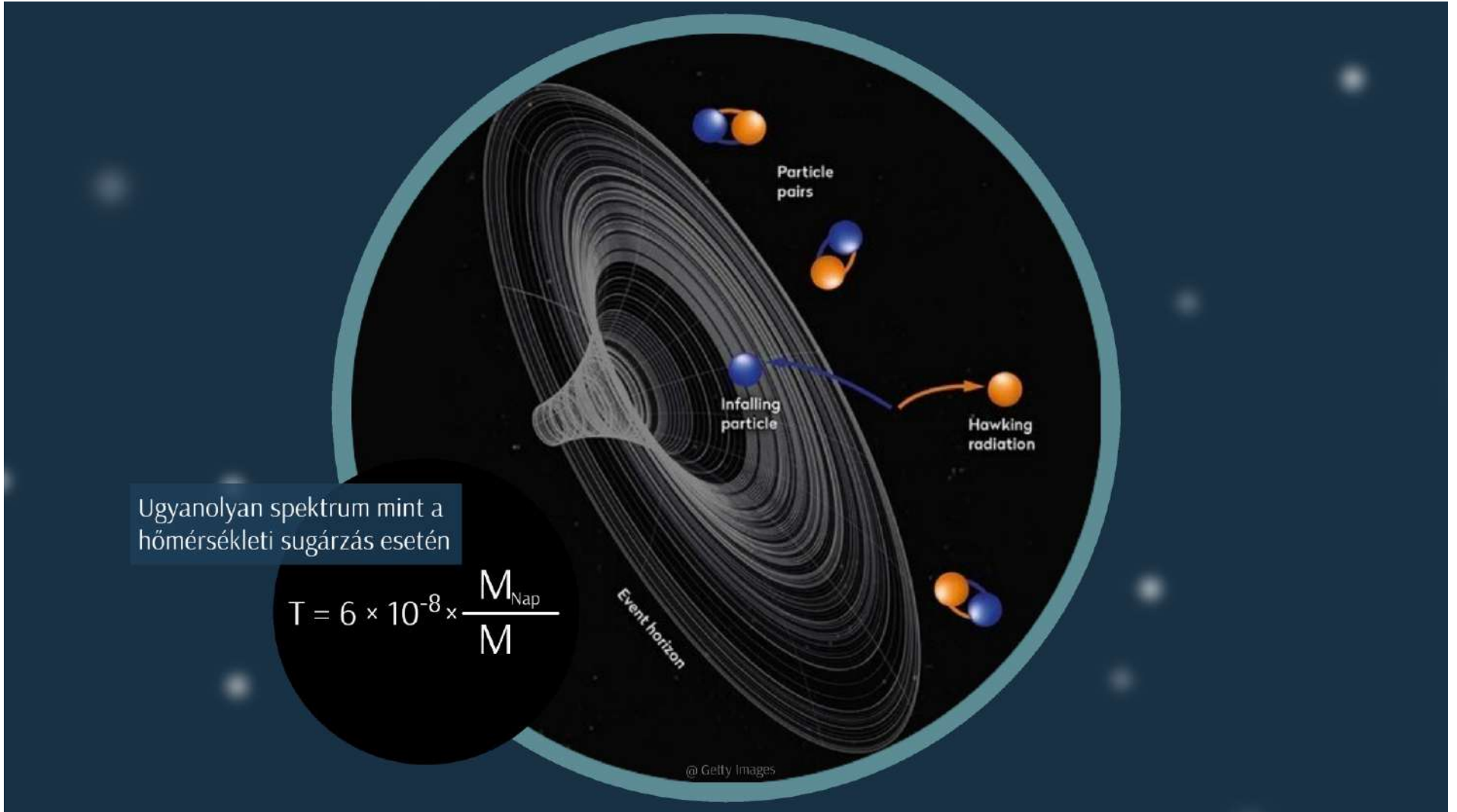
@ Cern









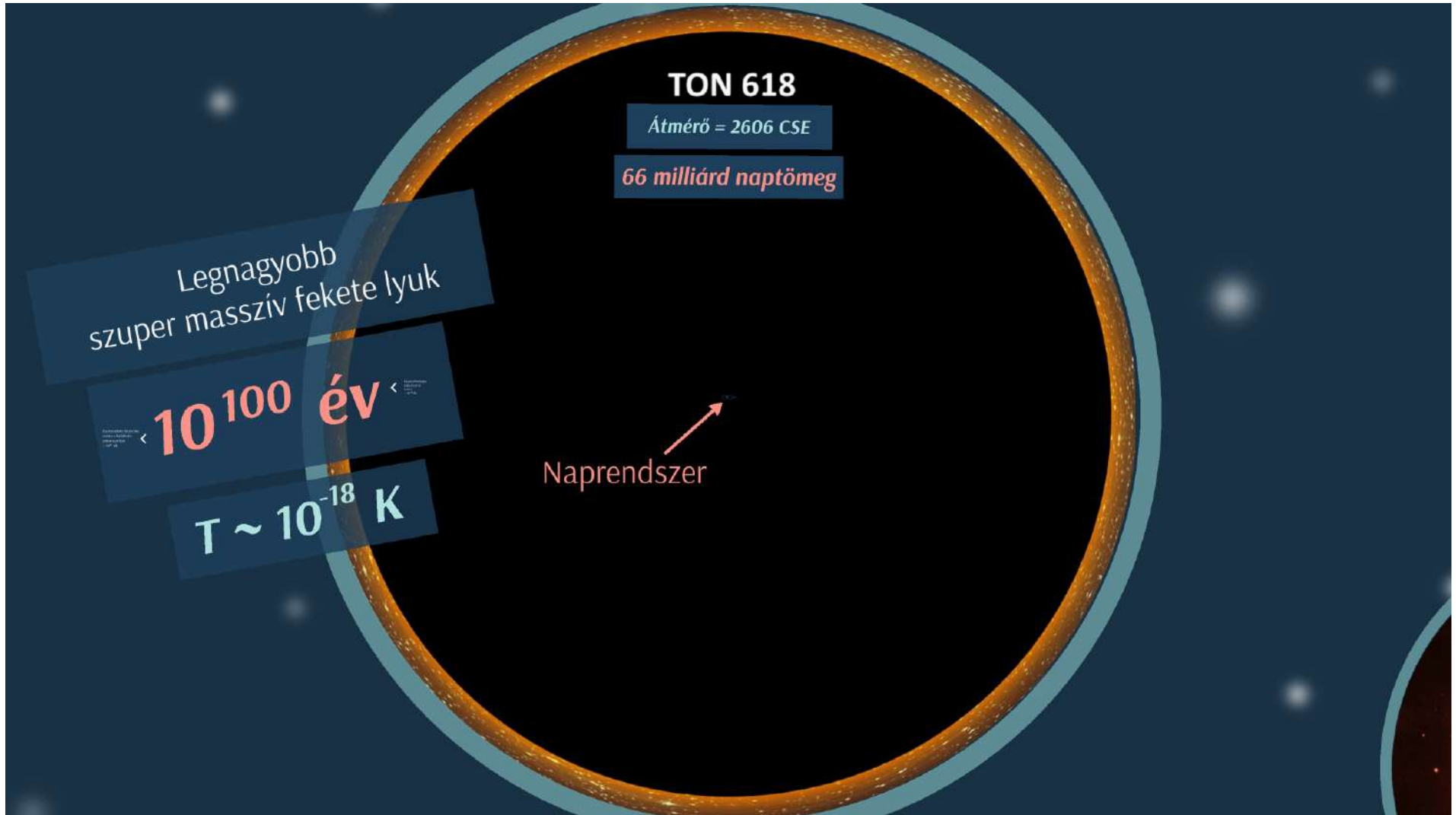


Ugyanolyan spektrum mint a hőmérsékleti sugárzás esetén

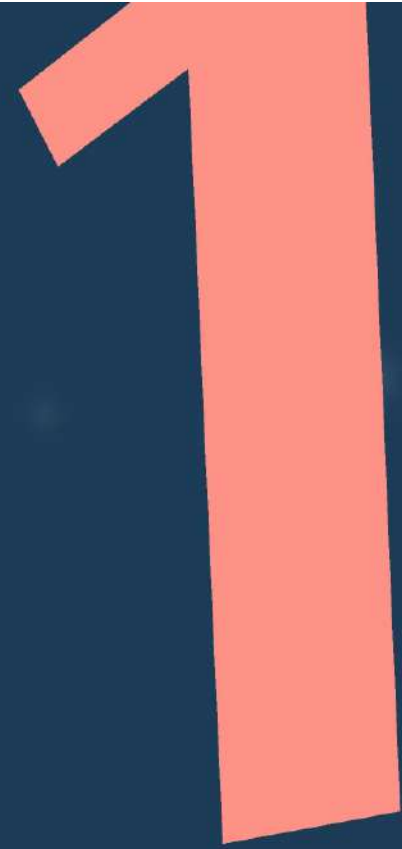
$$T = 6 \times 10^{-8} \times \frac{M_{\text{Nap}}}{M}$$


@ Getty Images



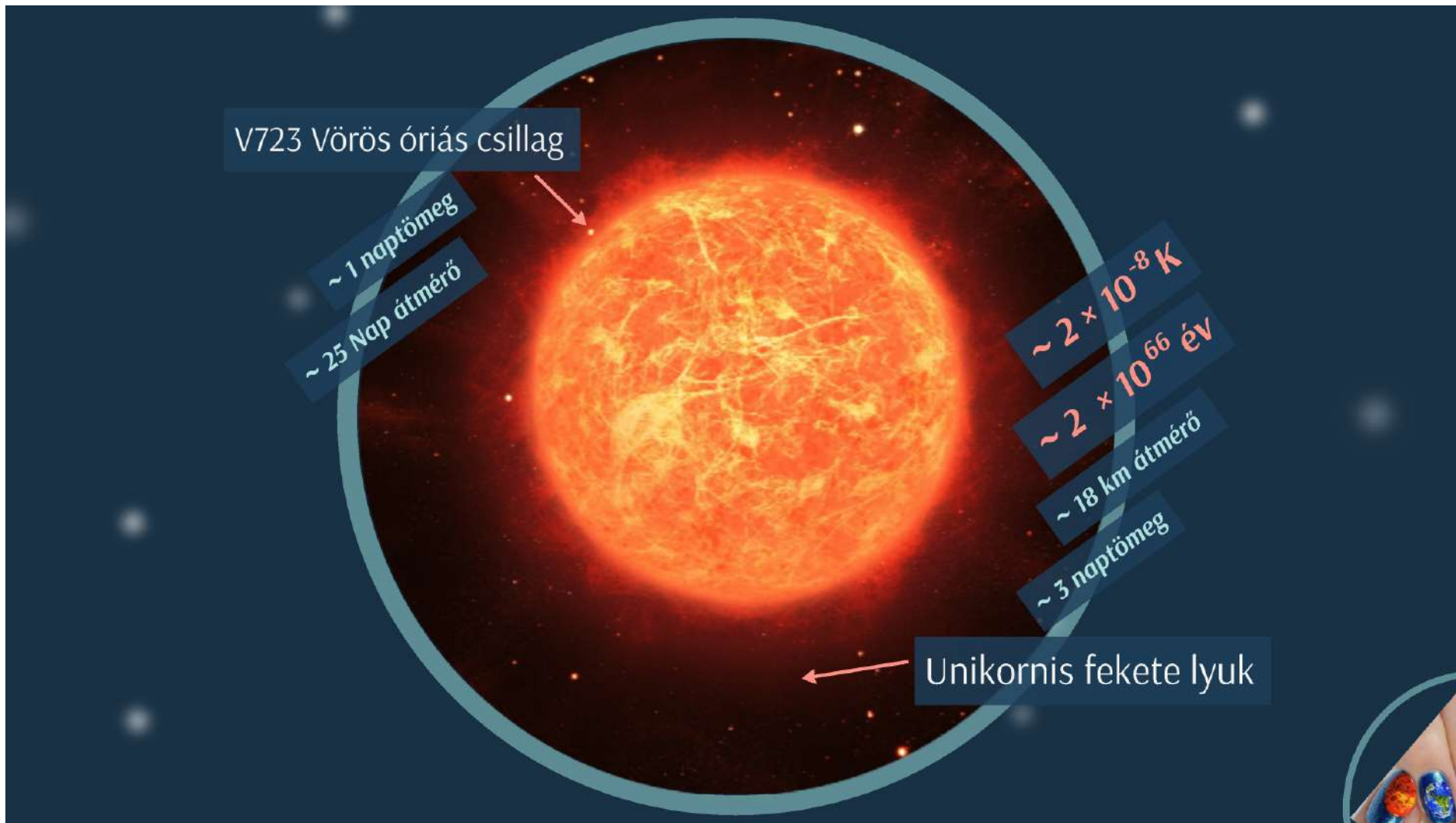


Összes elemi részecske  
száma a belátható  
univerzumban  
 $\sim 10^{80}$  db





Összes lehetséges  
sakkjátszmák  
száma  
 $\sim 10^{120}$  db



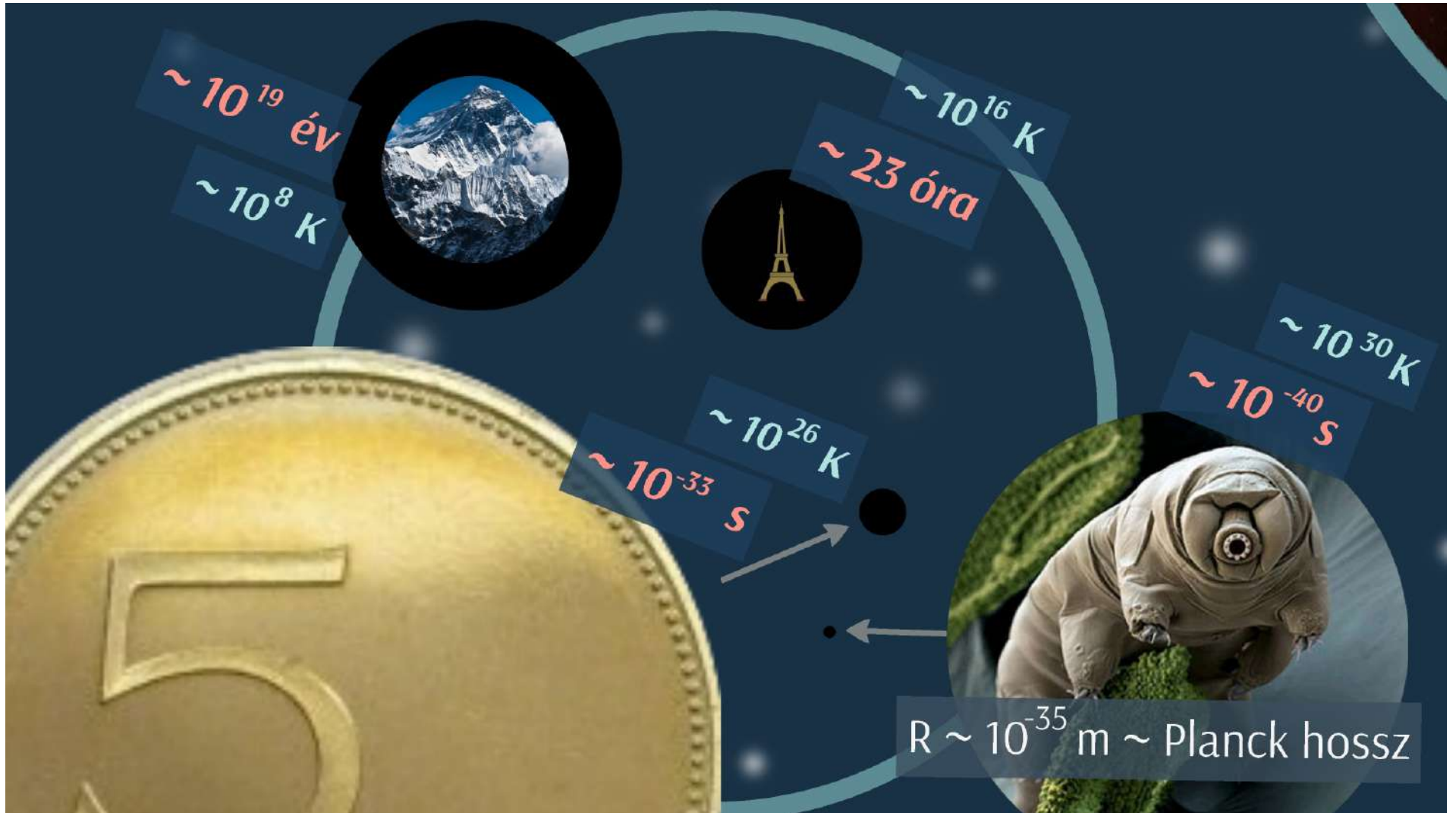
















Tudományos fantasztikum!

*"Egyfoton fekete lyuk" bomba?*



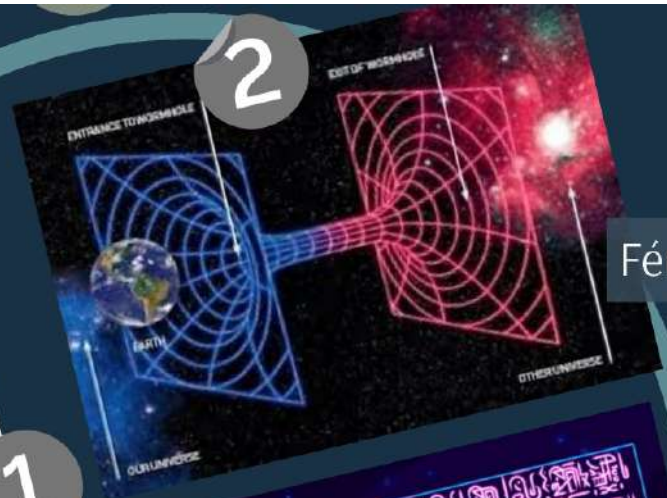
Információs paradoxon

"Planck fekete lyuk" ?



1

2



Féreglyuk ?

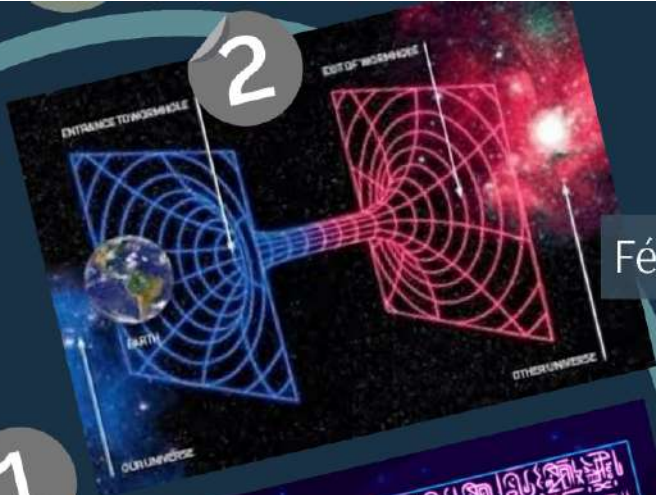
3



Hologram ?



"Planck fekete lyuk" ?



Féreglyuk ?



Hologram ?

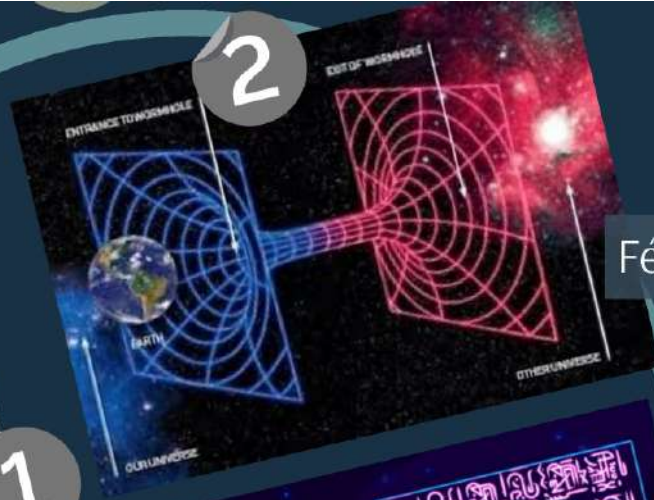


"Planck fekete lyuk" ?



1

2



Féreglyuk ?

3



Hologram ?











*Ha a csillag helyett ti tévedtek oda,  
mi történt volna veletek pont ott, pont akkor?*

- Meghaltok még mielőtt odaértek a közel 600 g gyorsulás következtében.
- Meghaltok, mert atomnyi vastagságú nyaklánccá spagettifikálódtok.
- Meghaltok, mert a Hawking sugárzás cseppfolyósítja a szerveiteket.
- Éltek mint Marci hevesen zuhanva.

*Ha a csillag helyett ti tévedtek oda,  
mi történt volna veletek pont ott, pont akkor?*

- Meghaltok még mielőtt odaértek a közel 600 g gyorsulás következtében.
- Meghaltok, mert atomnyi vastagságú nyaklánccá spagettifikálódtok.
- Meghaltok, mert a Hawking sugárzás cseppfolyósítja a szerveiteket.
- Éltek mint Marci hevesen zuhanva.



## Halálos zóna

Csillag tömegű  
fekete lyuk

# Szupermasszív fekete lyuk



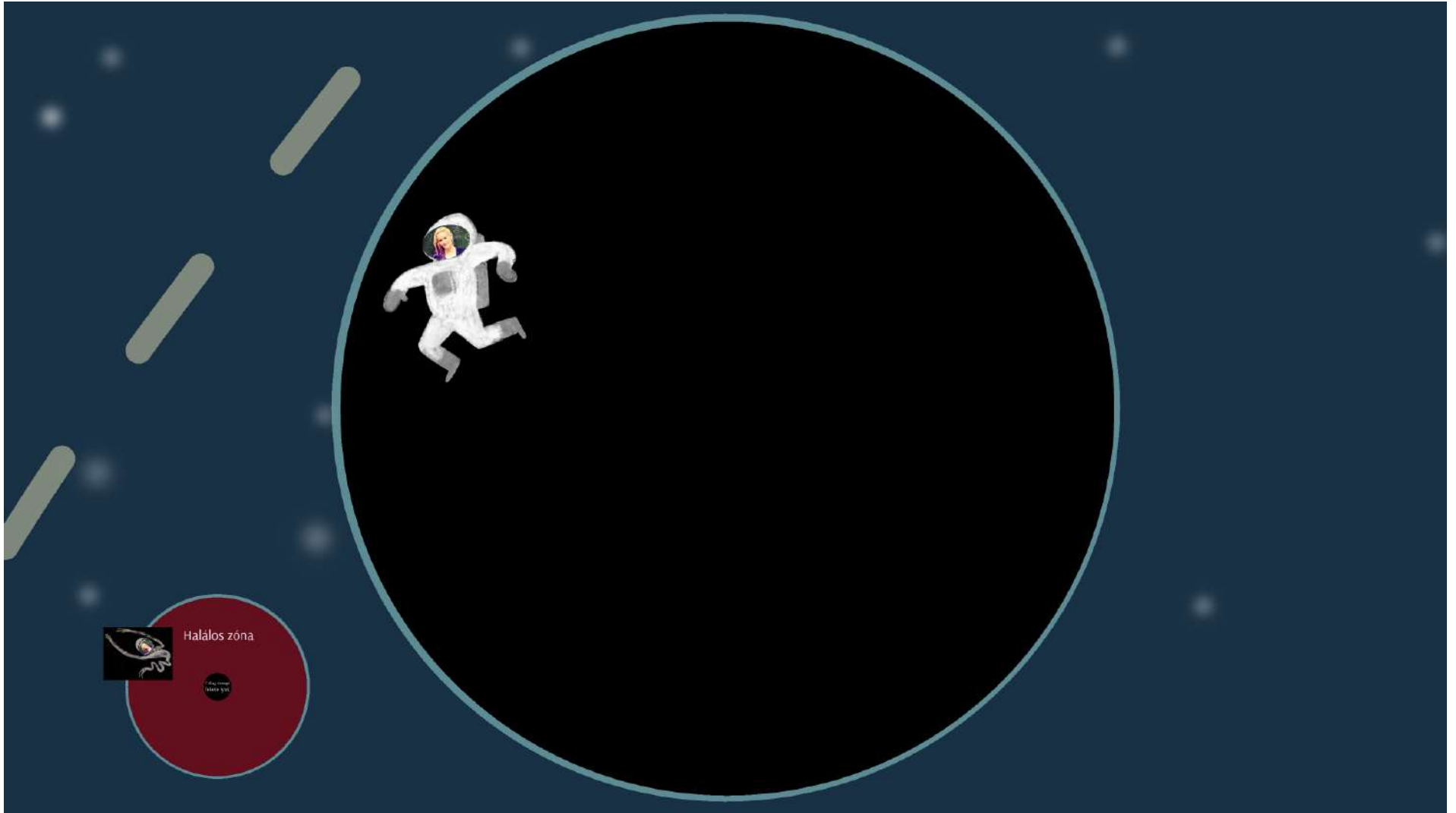
Halálos  
zóna

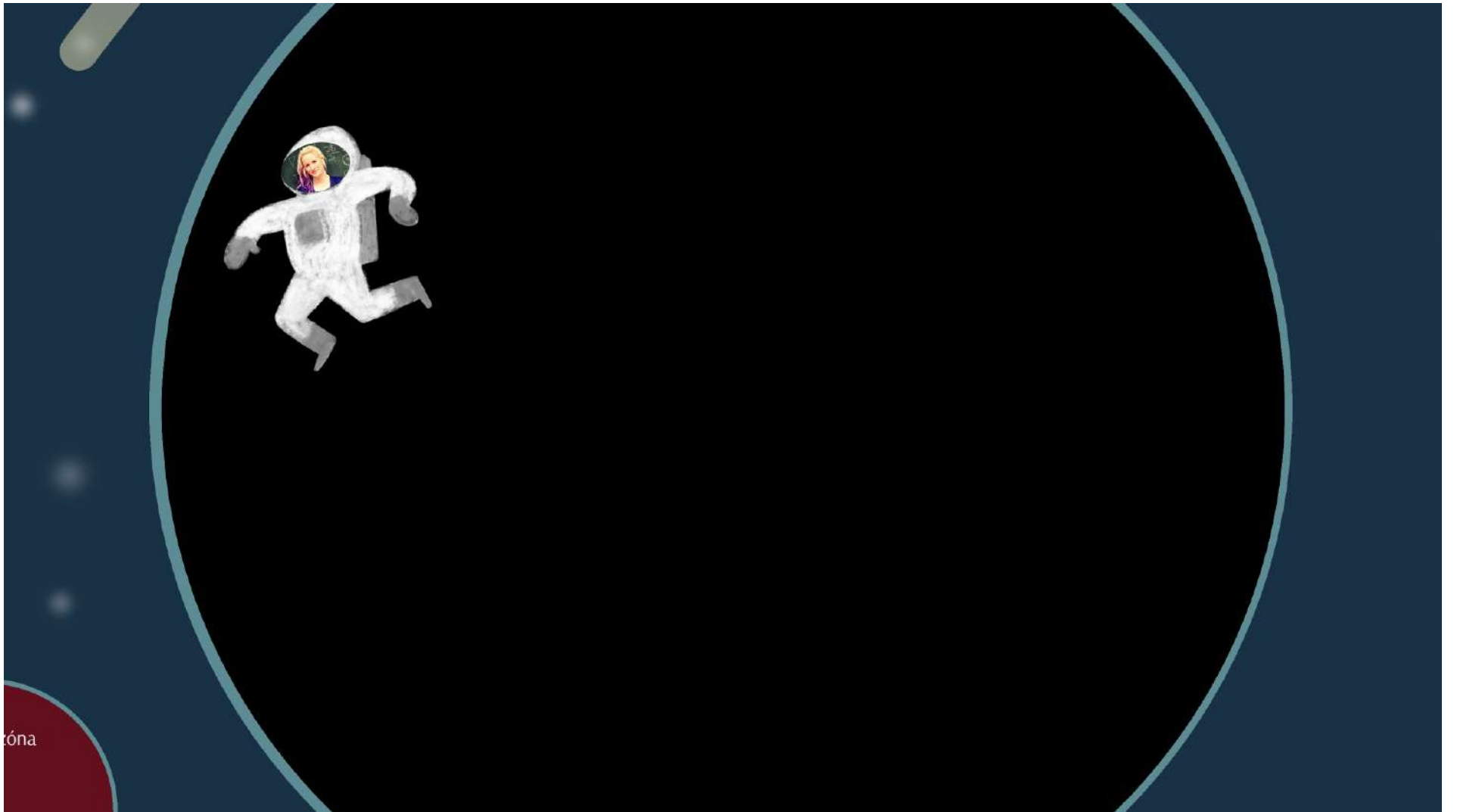


Halálos zóna

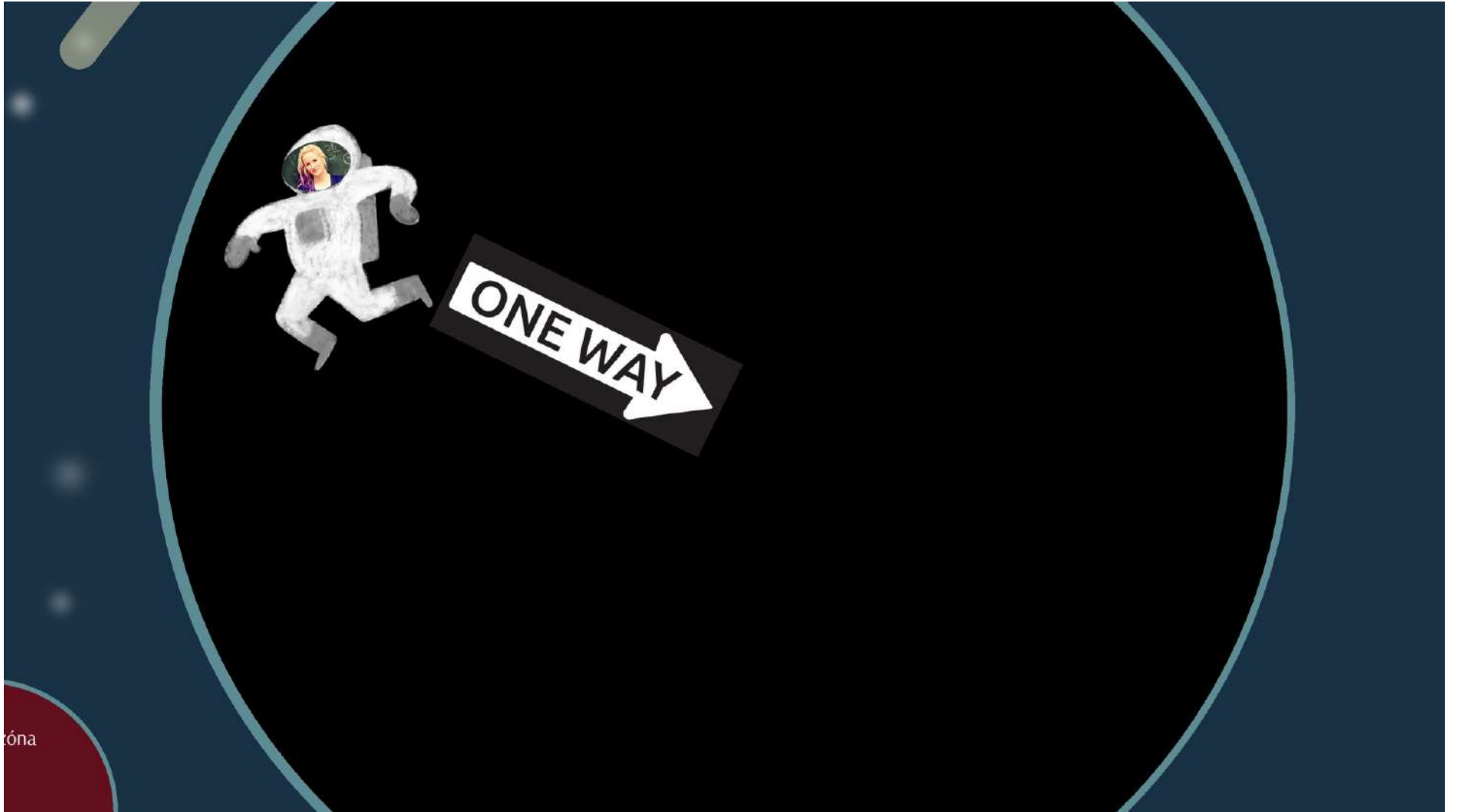
Halálos zóna





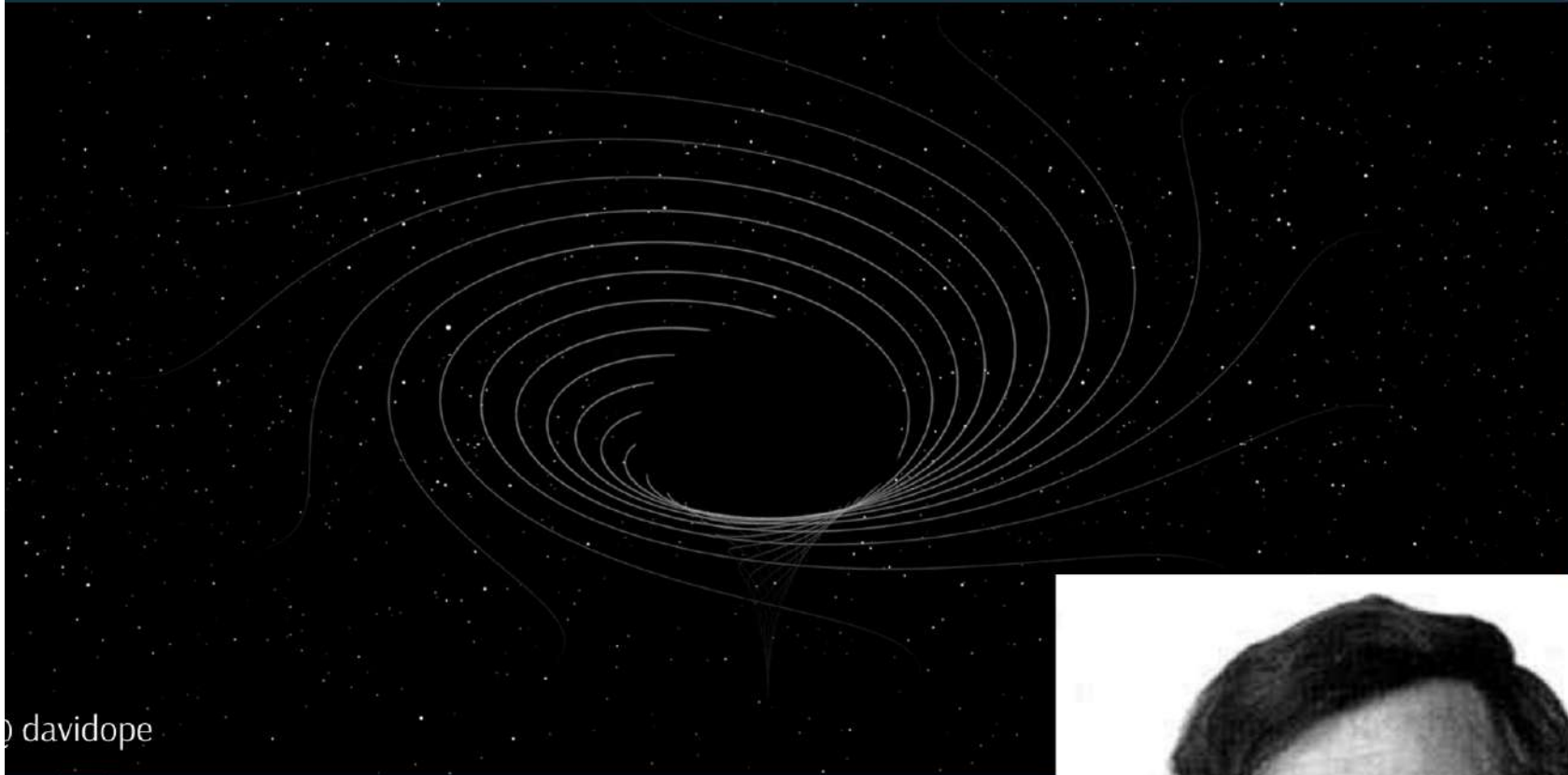


óna



óna

# Forgó fekete lyuk



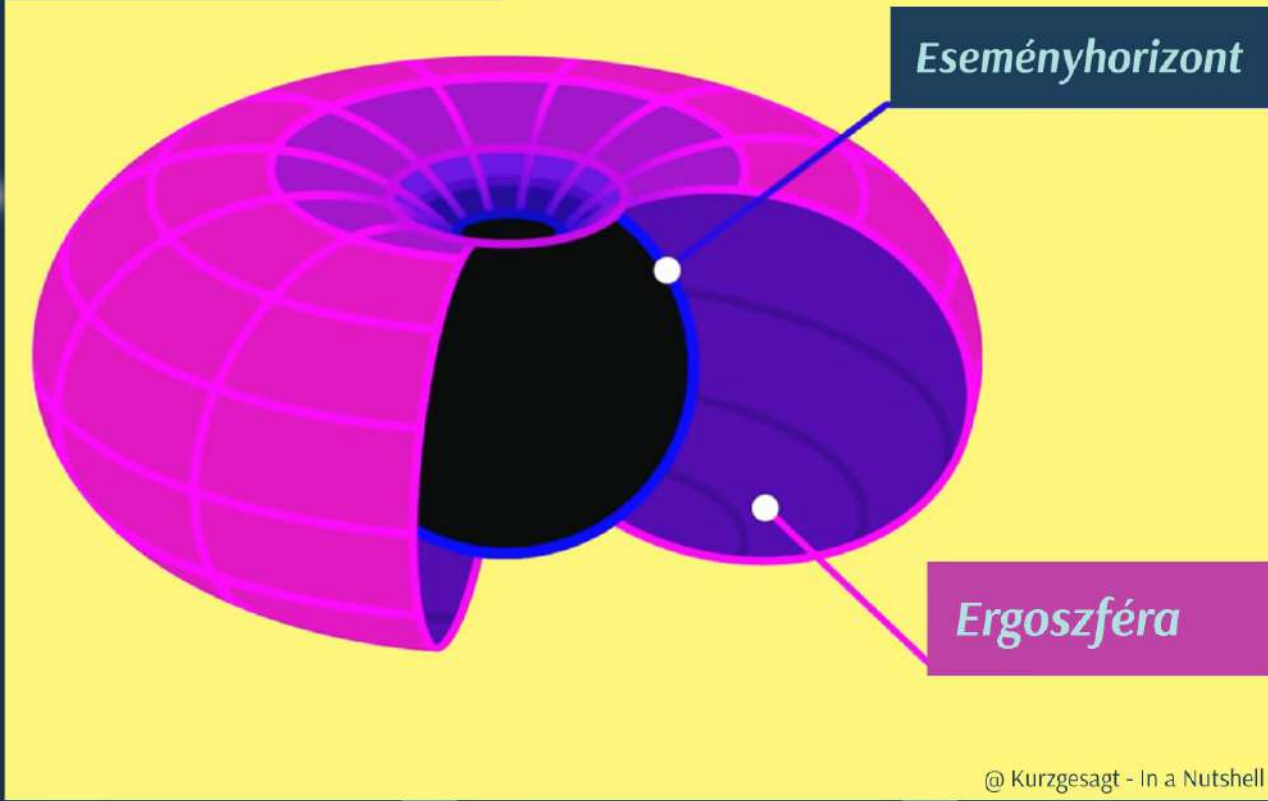
Davidope

1967





A donut where you do not stand

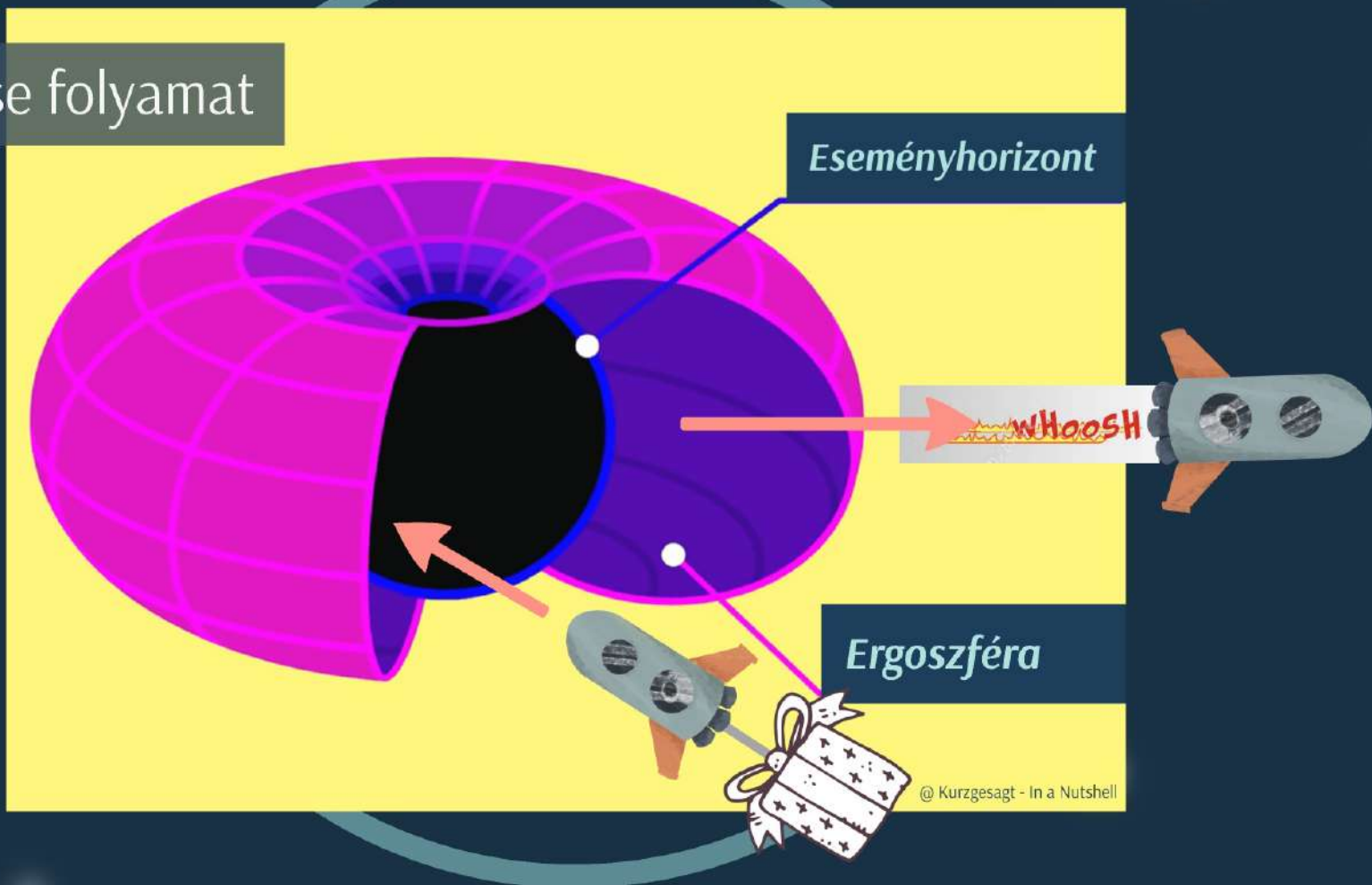


*Eseményhorizont*

*Ergoszféra*

@ Kurzgesagt - In a Nutshell

# Penrose folyamat



@ Kurzgesagt - In a Nutshell

@innocii via StellarisGame

*Alternatív Dyson-gömb*



skiszkao@gmail.com









Szinte

Minden amit szeretnél volna tudni a fekete lyukakról,  
de féltél megkérdezni.

2022