



# TANÁRTOVÁBBKÉPZÉS 2026



**Az Európai Unió  
támogatásával**

Az Európai Unió finanszírozásával. Az itt szereplő információk és állítások a szerző(k) álláspontját képviselik, és nem feltétlenül tükrözik az Európai Unió vagy a Tempus Közalapítvány hivatalos véleményét. Sem az Európai Unió, sem a támogatást nyújtó hatóság nem vonható felelősségre miattuk. Ez a projekt az Erasmus+ KA210-SCH program támogatásával valósul meg.



**PÁZMÁNY | ITK**

# FIZIKA

## TANÁRTOVÁBBKÉPZÉS

2026

# FEKETE LYUKAK – REJTÉLYES ÉGITESTEK A GALAXISBAN ÉS AZON TÚL

---

2026.03.18.

**Kiss László**

*HUN-REN CSFK főigazgató*

# fizikai szemle

Gravitációs fizika

Gravitációs hullámok

Einstein teleszkóp

2026/3

nca

## GRAVITÁCIÓS FIZIKA – TEMATIKUS BLOKK

Vendégszerkesztő: Gergely Árpád László

Gergely Árpád László: Gravitációs fizika – Bevezető

73

Frei Zsolt: A gravitációshullám-detektálás első tíz éve

74

*A cikk átfogó áttekintést nyújt az eddigi gravitációshullám-detektálásokról, kiemelve a legérdekesebb eddig észlelt gravitációs hullámok jelentőségét és az ELTE LIGO-kutatócsoport által fejlesztett GLADE galaxiskatalógus fontos szerepét a gravitációshullám-megfigyelések kozmológiai felhasználásában.*

Barta Dániel: Új korszak a gravitációshullám-fizikában: az Einstein teleszkóp

81

*Az írás a jövő évtizedre tervezett európai gravitációshullám-detektor, az Einstein teleszkóp (ET) koncepcióját és várható tudományos hozadékait ismerteti, a HUNREN Wigner Fizikai Kutatóintézet ET-csoport vezetőjének tolmácsolásában.*

Szabó Róbert, Kovács András: A Vera Rubin Observatórium égboltfelmérése

85

a gravitációs kutatások szolgálatában

*A Vera Rubin Observatórium adatait elemző, magyar csillagászok részvételével alakult nemzetközi kollaboráció fontos feladata lesz a gravitációshullám-források környezetének jobb megismerése, a sötét anyag eloszlásának felderítése a gravitációs lencsézési statisztikák pontosításán keresztül, valamint a sötét energia időfejlődését jellemző paramétereinek pontos behatárolása.*

Csukás Károly: Fekete lyukak a számítógépen

89

*Hiánypótló magyar nyelvű összefoglalója a numerikus relativitáselméletnek, melynek nagy sikere a kritikus gravitációs összeomlás, vagyis a feketelyuk-kialakulás határának felfedezése volt, szerepe pedig megkerülhetetlen a kompakt kettősrendszer-összeolvadások végső szakaszának vizsgálatában.*

Karácsonyi Kata, Cirok Balázs, Keresztes Zoltán, Gergely Árpád László:

Gravitációelméletek tesztelése gravitációs hullámokkal

95

*Az einsteini gravitációelmélet kiegészítése a sötét anyag, a sötét energia, a kozmikus infláció, valamint a gravitáció geometriai és a térelméletek kvantumos leírásának összeférhetetlensége kapcsán merül fel. Az SZTE LIGO-csoportja új polarizációs módusokat és diszperzió jeleit keresi a megfigyelt gravitációs hullámok elemzésével, az általános relativitáselmélet tesztelése érdekében.*

Patkós András: Kvantumtér-e a gravitációs erőter?

101

*A gravitációs hullám kvantumos jellegének kimutatásához mind a kvantált emisszió (vagy abszorpció), mind a Poisson-alatti graviton-számlálási statisztika megfigyelése szükséges. A kvantumoptikai analógia által sugallt gravitofotonos hatás a Weber-típusú detektorok mérési pontosságának mintegy két nagyságrendű javulásával kimutathatóvá válna.*

# Miről lesz ma szó?

- 
1. Mik azok a fekete lyukak? Gravitáció Newtontól Einsteinig

---

  2. Csillagtetemek: miért hal meg egy csillag és miből lesz a cserebogár?

---

  3. Hogyan fedezzünk fel egy fekete lyukat?

---

  4. Óriások a galaxisok szívében

---

  5. Mire lenne jó egy fekete lyuk a kert végében?

# 1. Mik azok a fekete lyukak?

# 1. Mik azok a fekete lyukak?

- extrém erős gravitáció
- a fényt is magukba zárják
- létezésükről régóta tudunk

*akkréciós korong  
gravitációs lencsézett képe*

*eseményhorizont*

*akkréciós korong*

(Vinkó J.)

# 1. Mik azok a fekete lyukak?

Pierre Simon Laplace (1749-1827)

- francia matematikus-fizikus
- ötlet: nagy tömegű testekről a fény nem tud kiszabadulni (~ 1796)

$$v = \sqrt{\frac{2GM}{R}} = c \Rightarrow R_s = \frac{2GM}{c^2}$$

szökési sebesség

gravitációs sugár



(Vinkó J.)

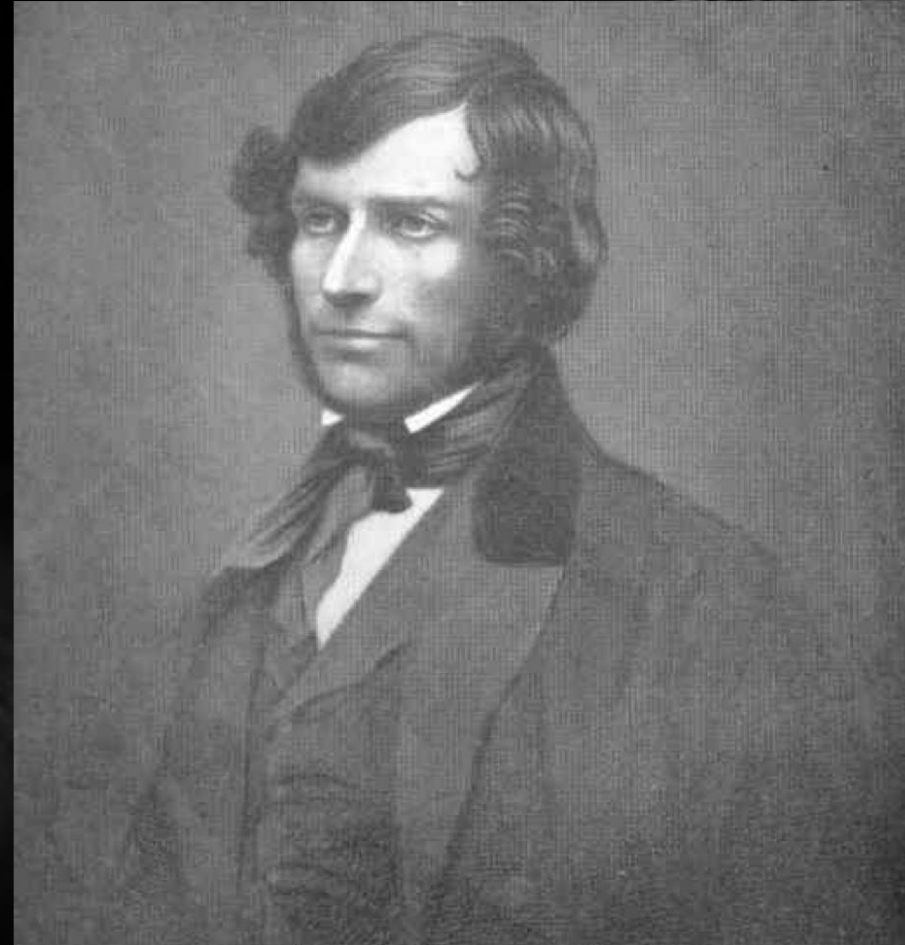
# 1. Mik azok a fekete lyukak?

John Mitchell (1724 - 1793)

angol filozófus, polihisztor

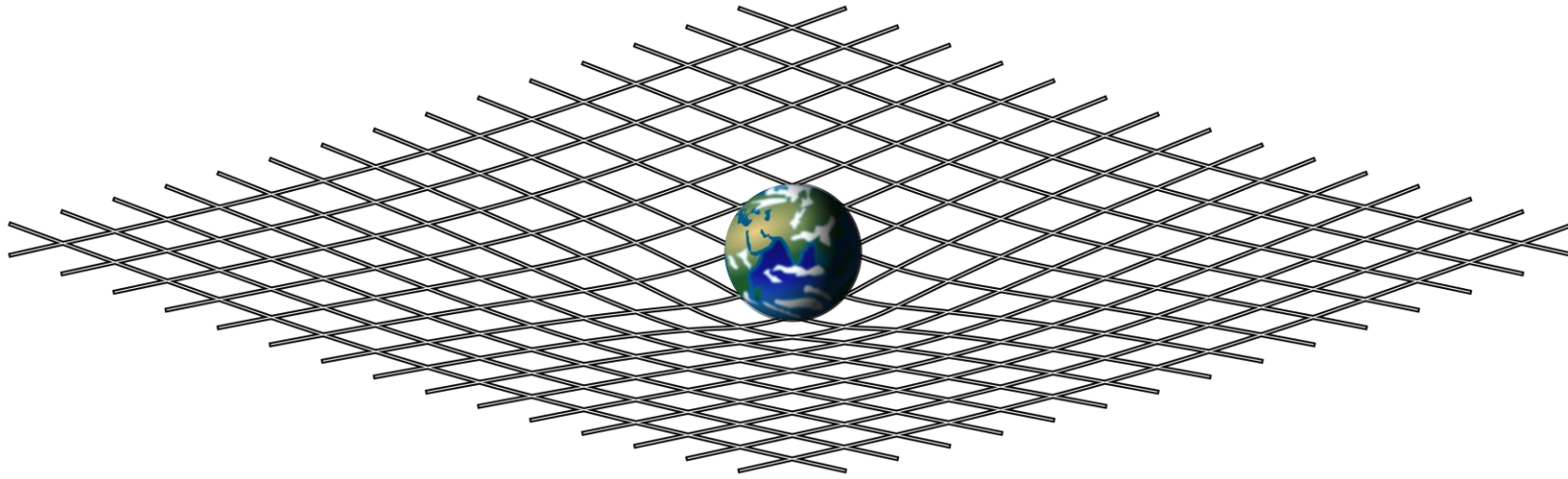
"sötét csillag" ötletének  
felvetése Newton foton-  
elmélete alapján (1784)

$$\rho = \rho_{\odot} \quad R > 500 R_{\odot}$$



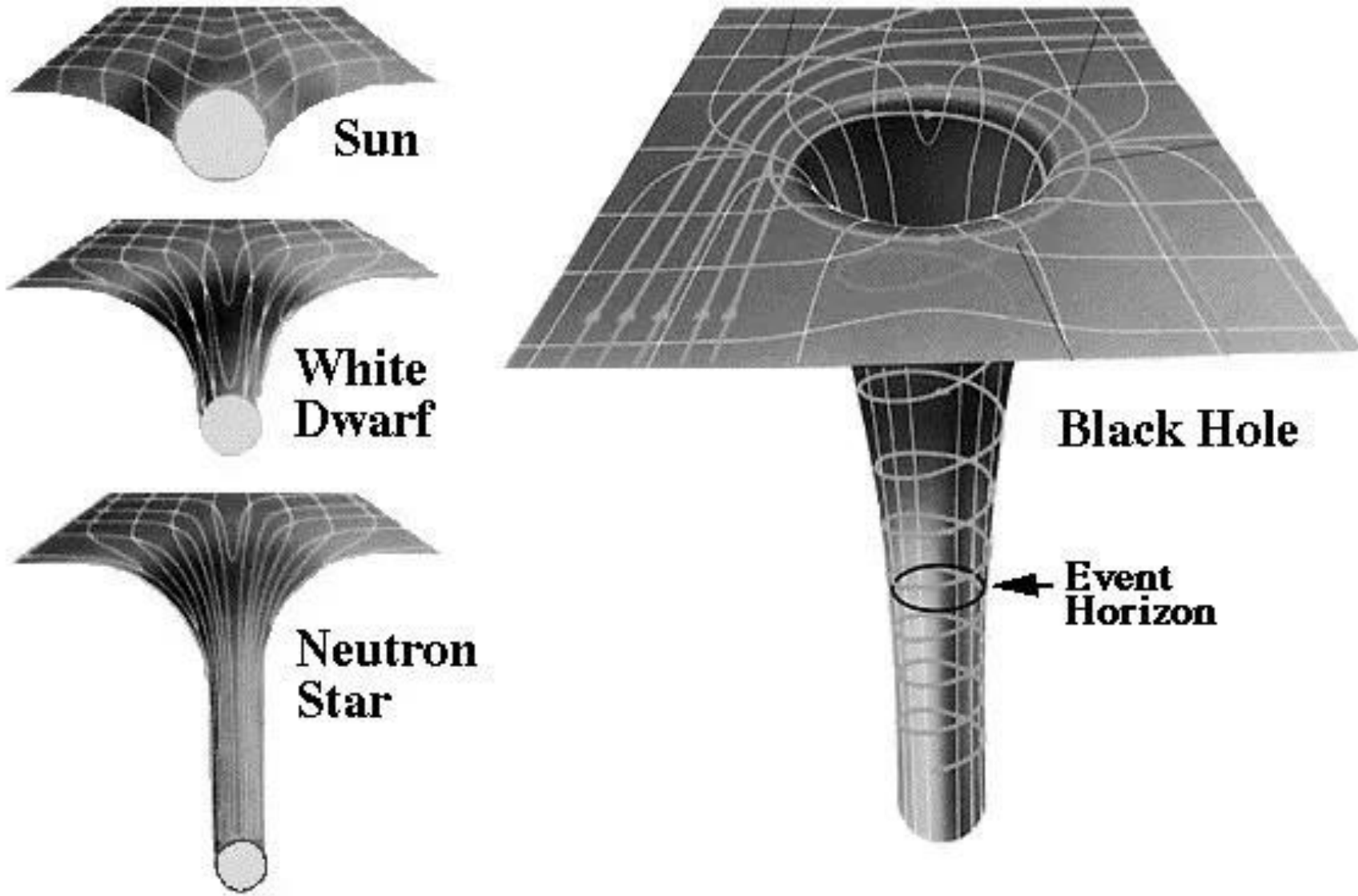
(Vinkó J.)

# A gravitáció Einstein szerint

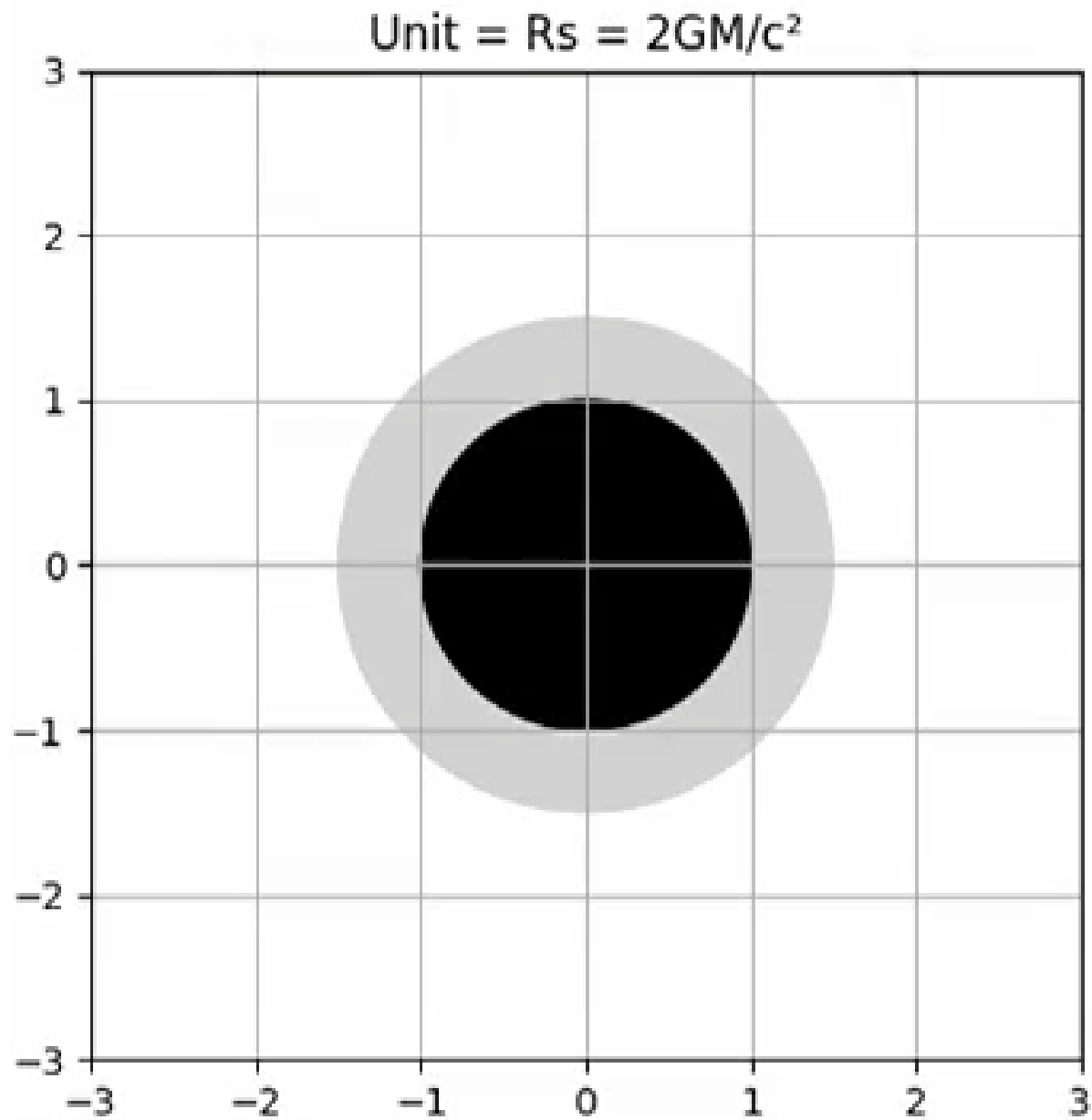


$$G_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu} = \kappa T_{\mu\nu}$$

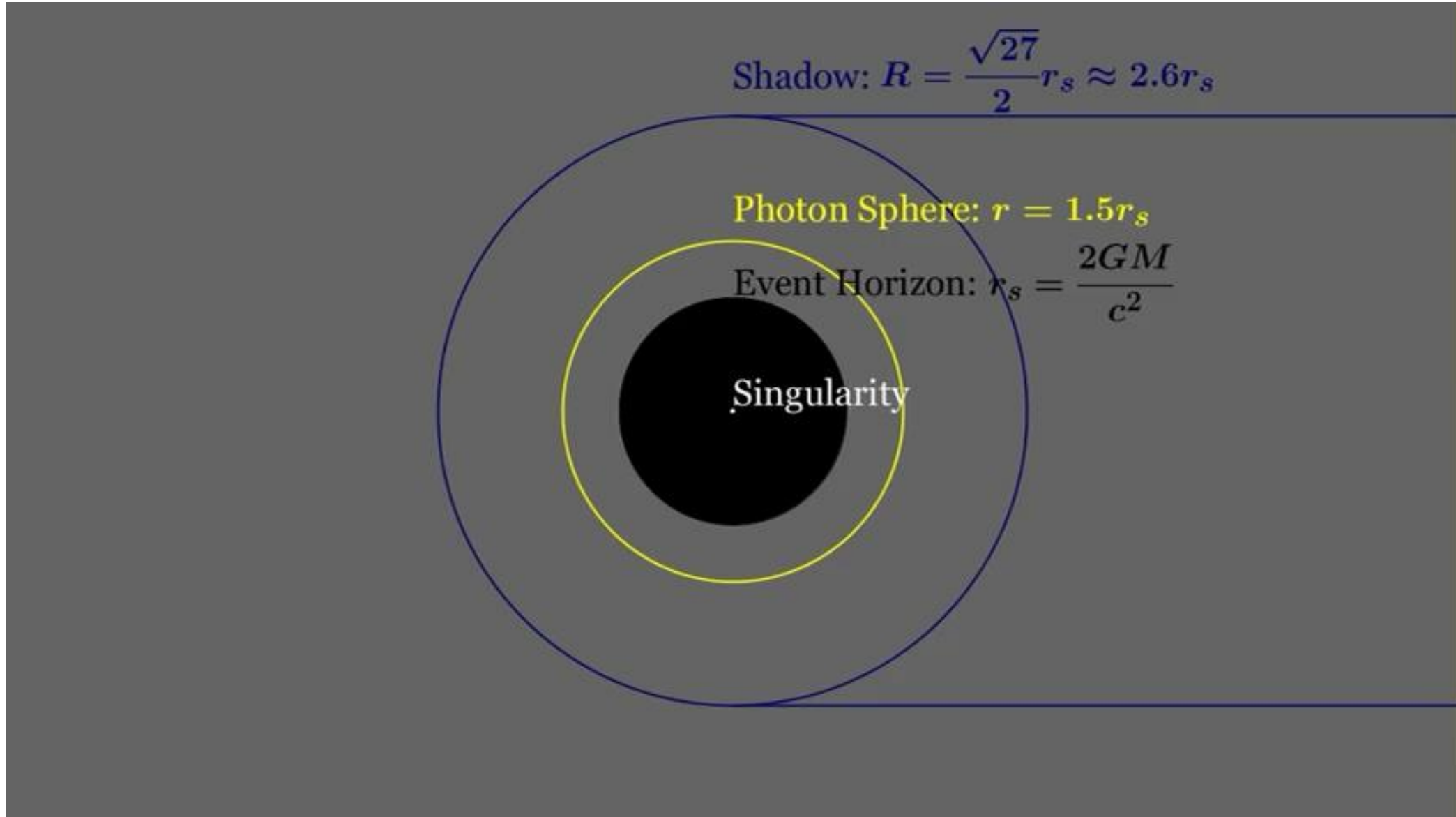
Einstein (1915)



(Adam Apollo)



(Wikipedia)



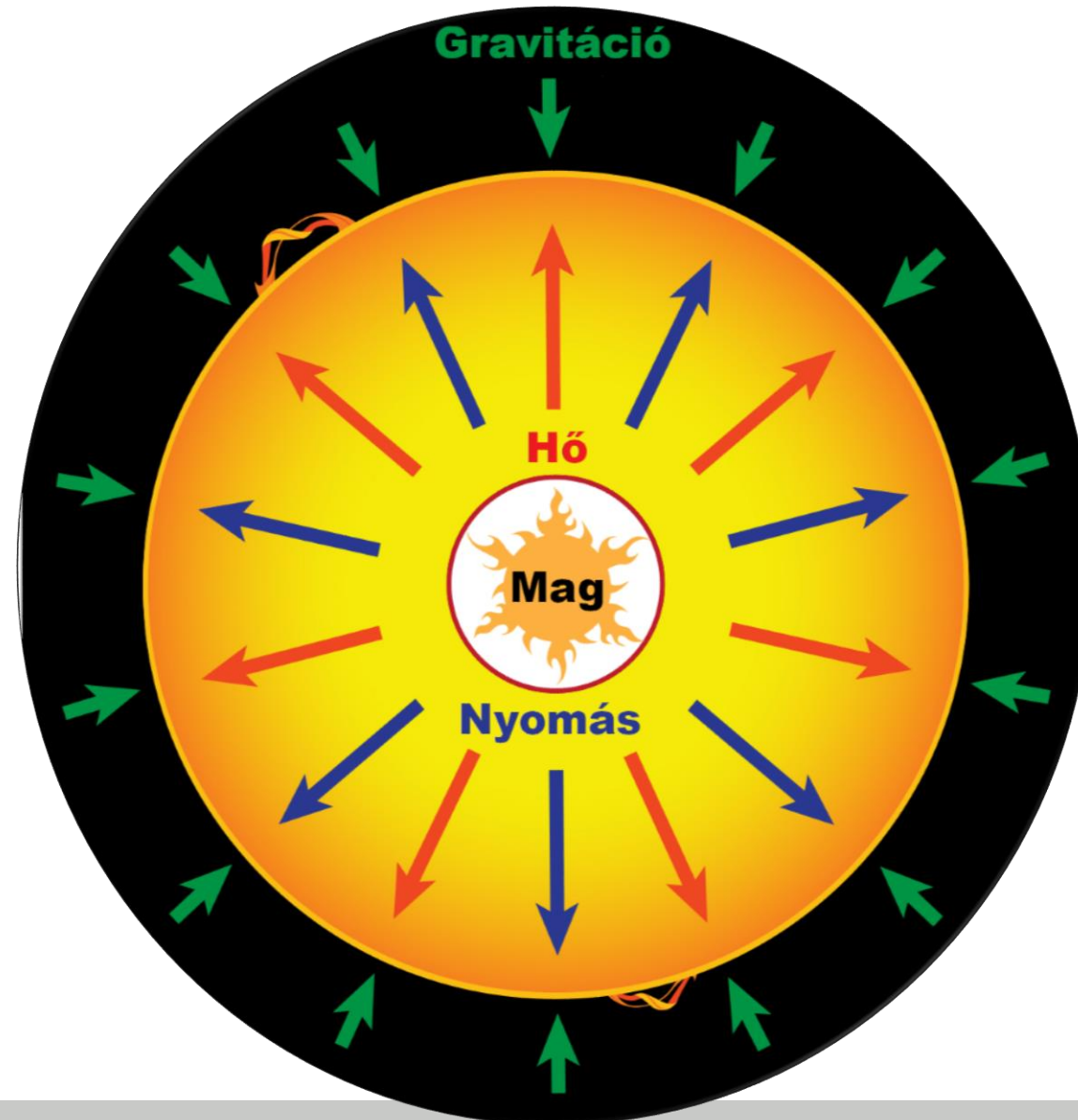
# Mekkora egy fekete lyuk?

Típus	Tömeg	Méret
Ultranagy tömegű fekete lyukak	$10^9\text{--}10^{11} M_{\odot}$	>1 000 CSE
Szupernagy tömegű fekete lyukak	$10^6\text{--}10^9 M_{\odot}$	0,001–400 CSE (150e – 60Mrd km)
Közepes tömegű fekete lyukak	$10^2\text{--}10^5 M_{\odot}$	$10^3 \text{ km} \approx R_{\text{Föld}}$
Csillag tömegű fekete lyukak	$2\text{--}200 M_{\odot}$	30 km
Mikro fekete lyukak	$< M_{\text{Hold}}$	< 0,1 mm

(Wikipedia)

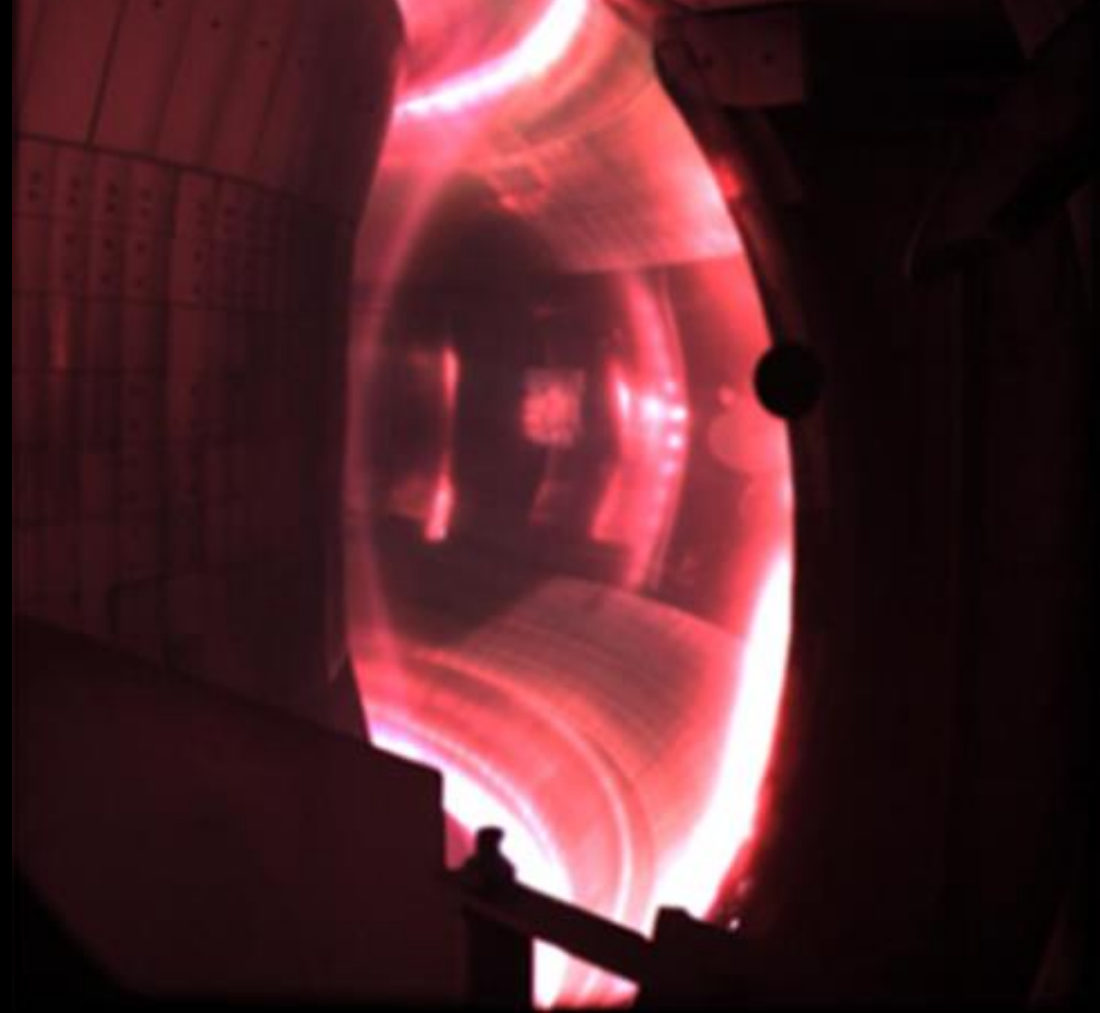
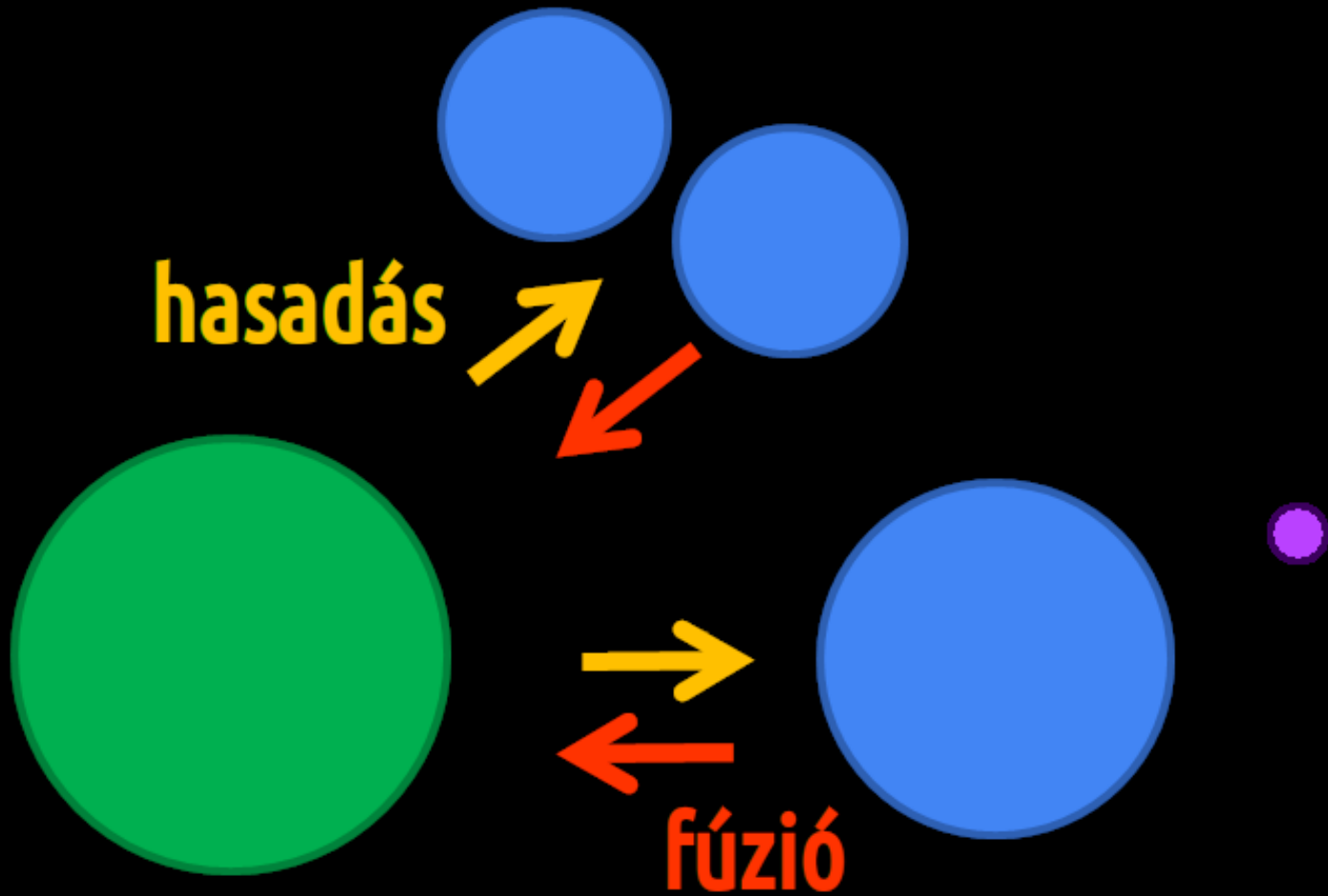
## 2. Miért és hogyan halnak meg a csillagok?

# Egy csillag finom egyensúlya



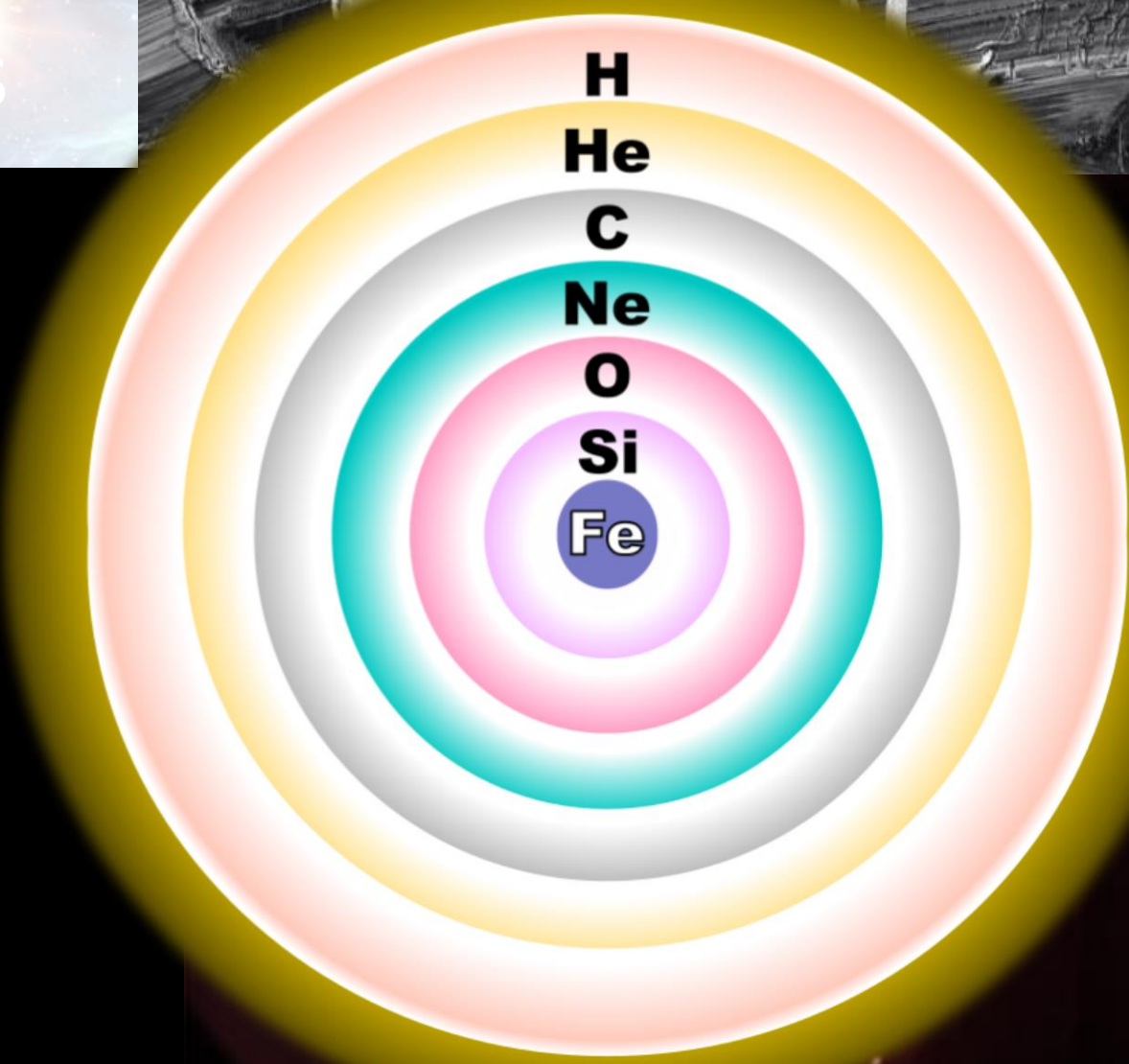
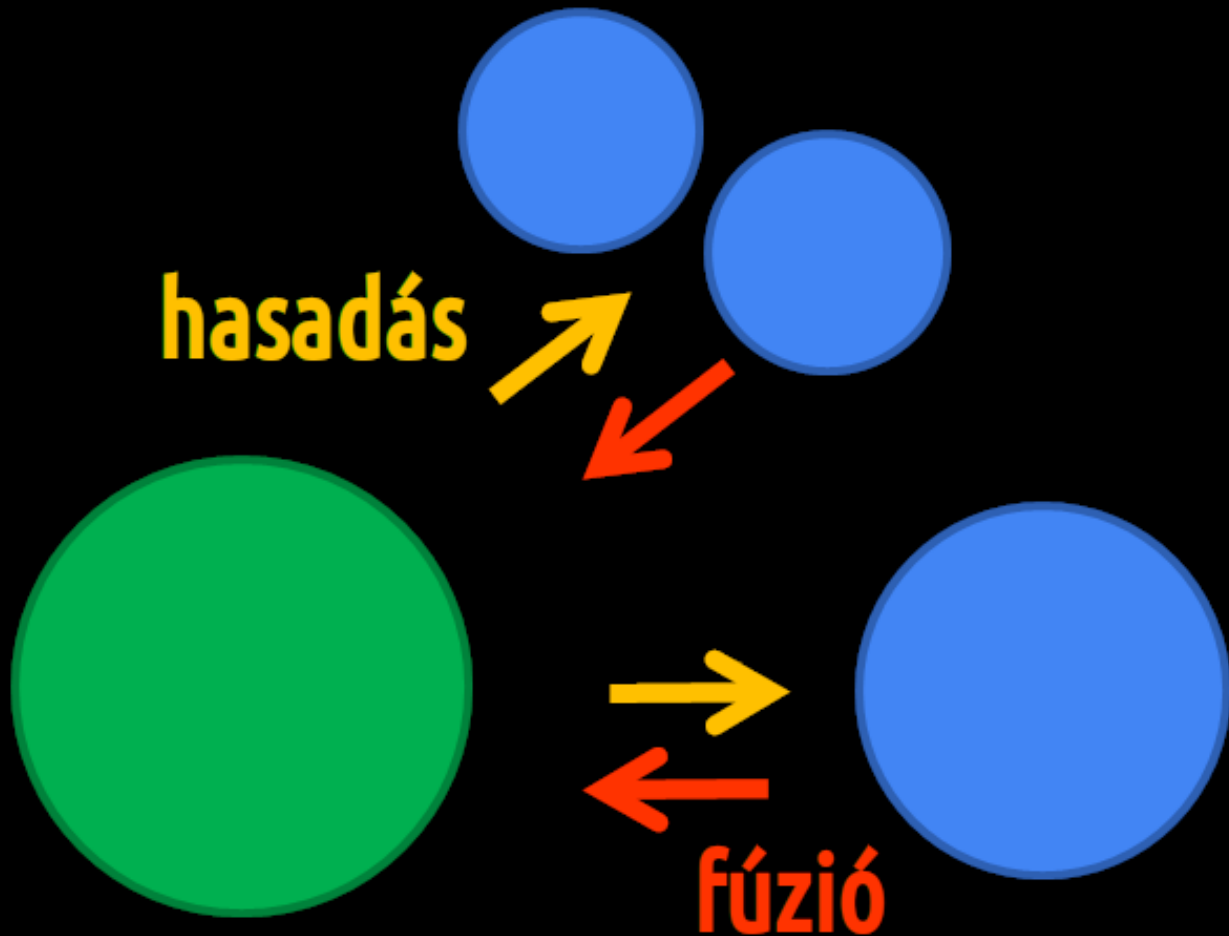
# A fúzió

- Fúzió = energiatermelés



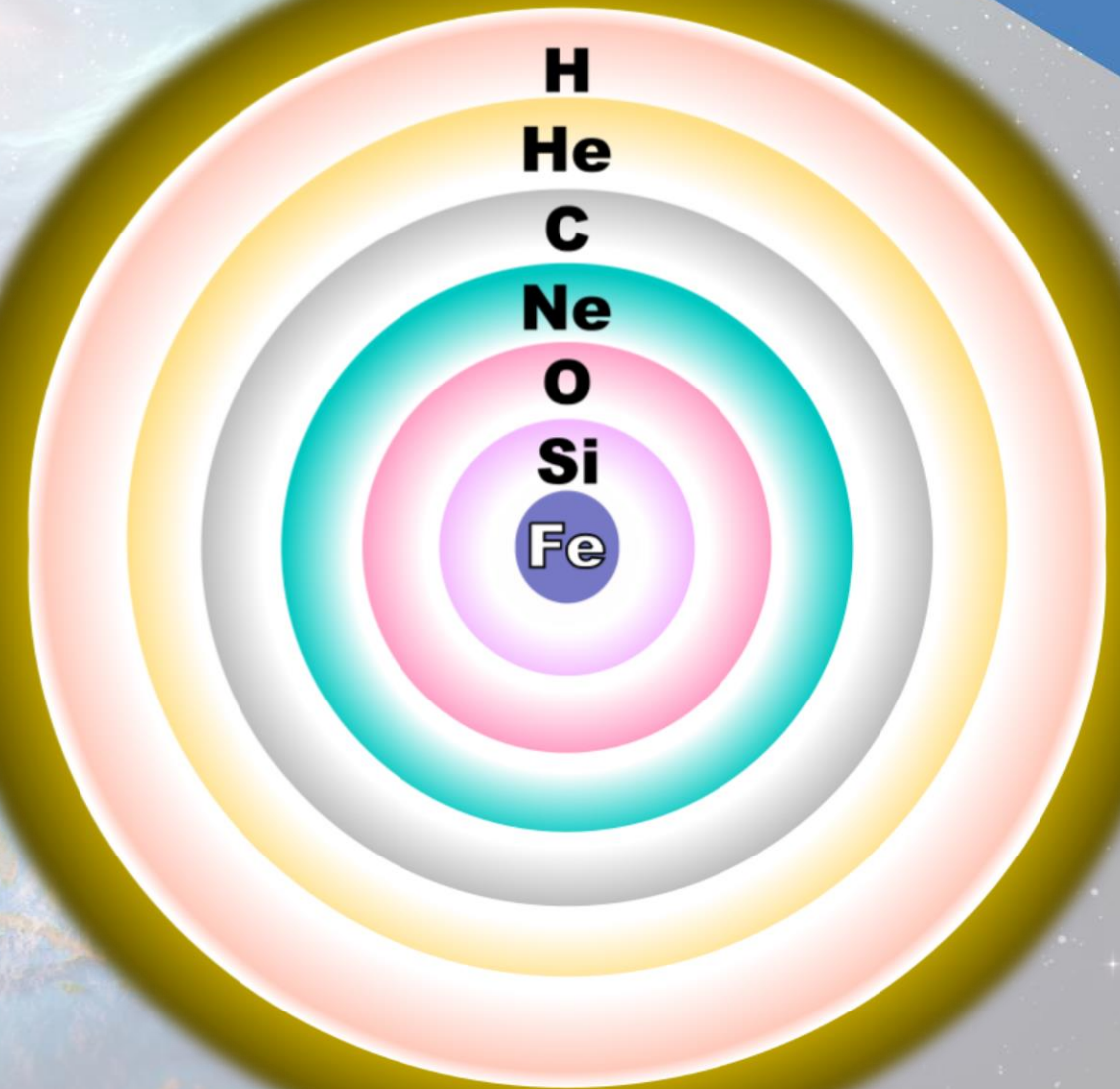
# A fúzió

- Fúzió = energiatermelés

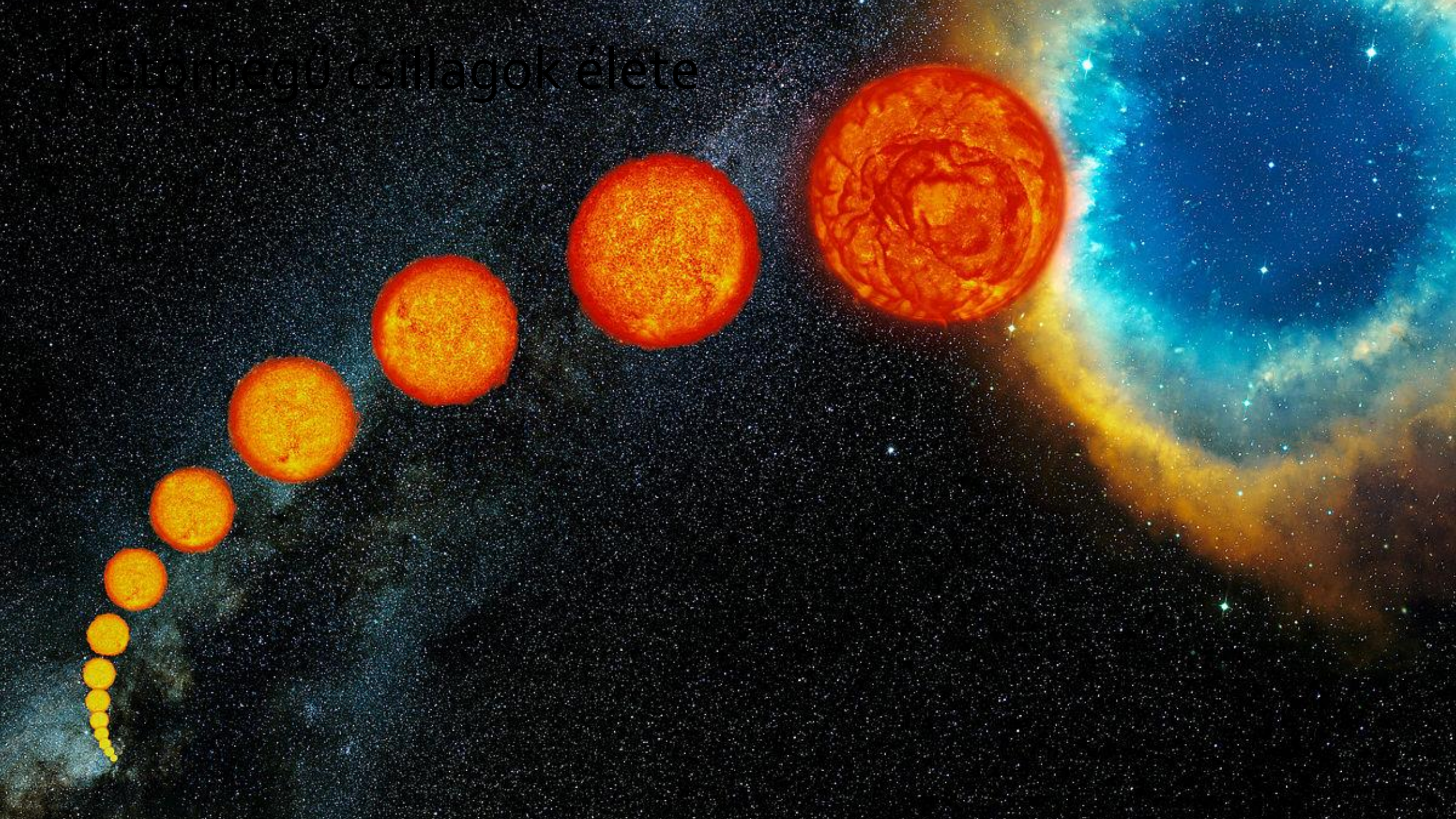


# A fúzió

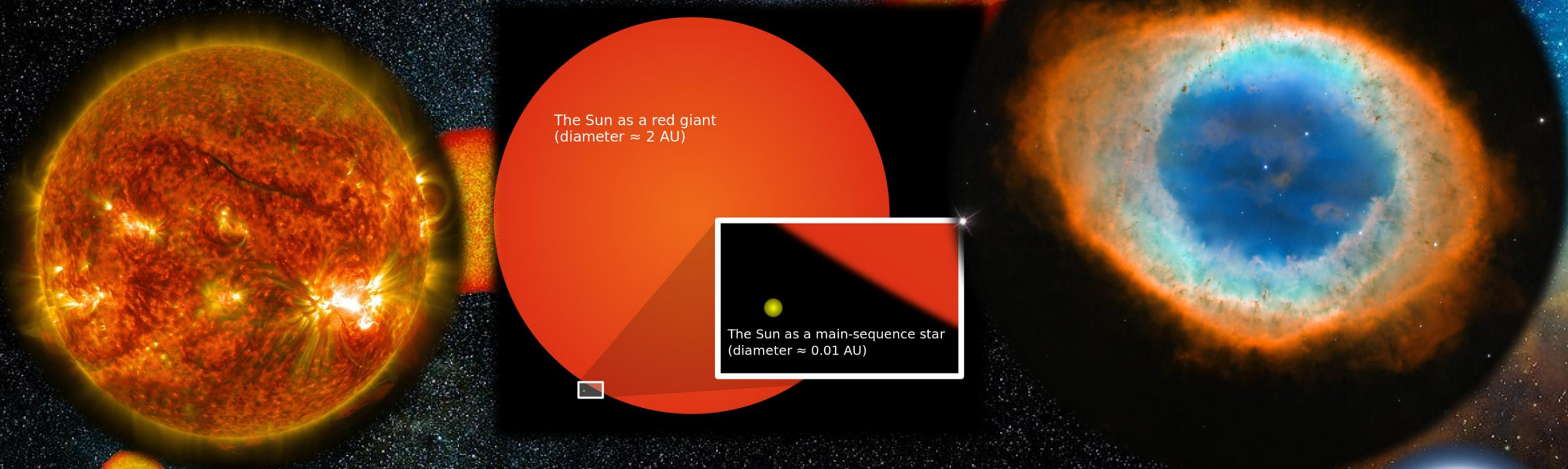
- Fúzió = energiatermelés
- Hagymahéj – szerkezet (nagy tömegű csillagok)



# Galaxis csillagok élete



# Életpályák csillagok élete

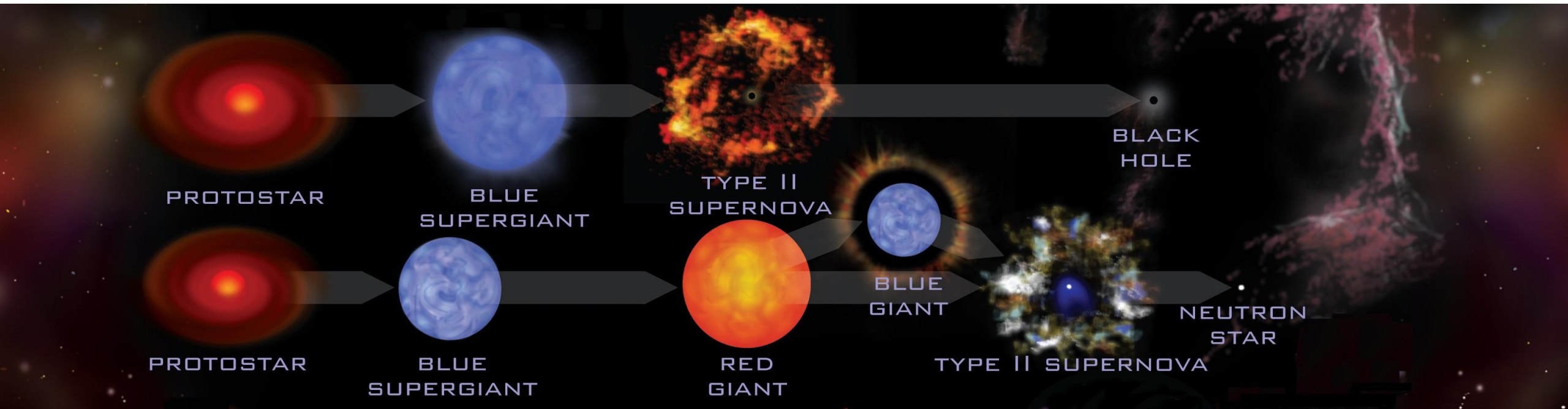


The Sun as a red giant  
(diameter  $\approx 2$  AU)

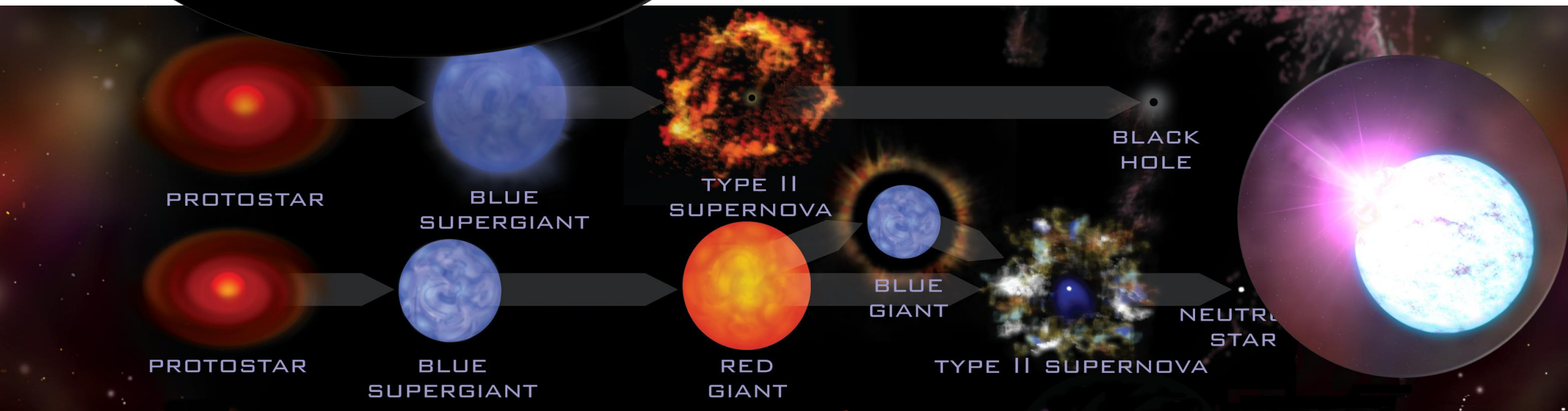
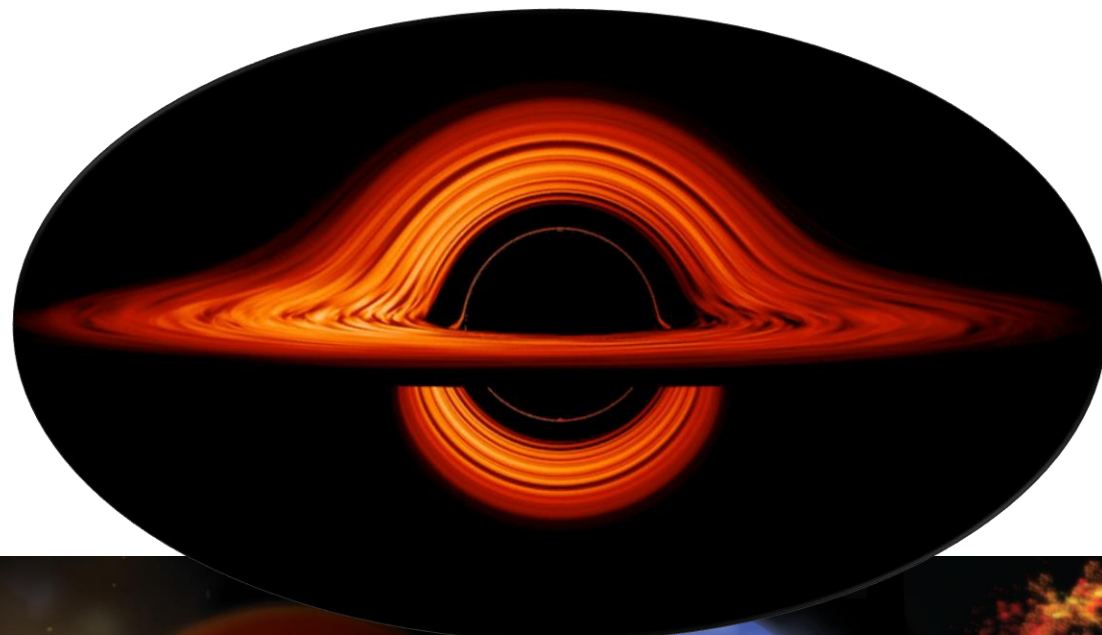
The Sun as a main-sequence star  
(diameter  $\approx 0.01$  AU)



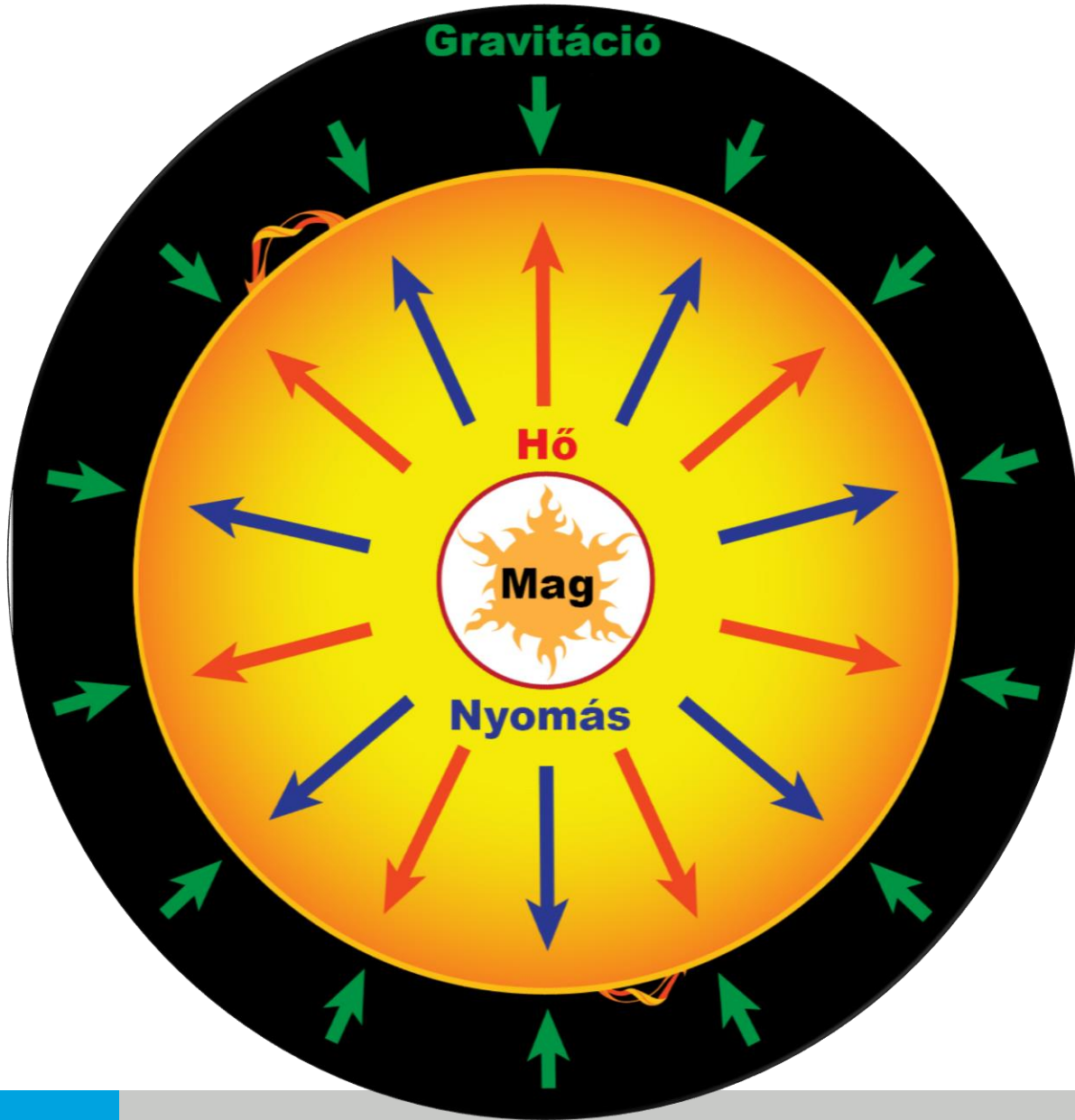
# Nagy tömegű csillagok élete



# Nagy tömegű csillagok élete

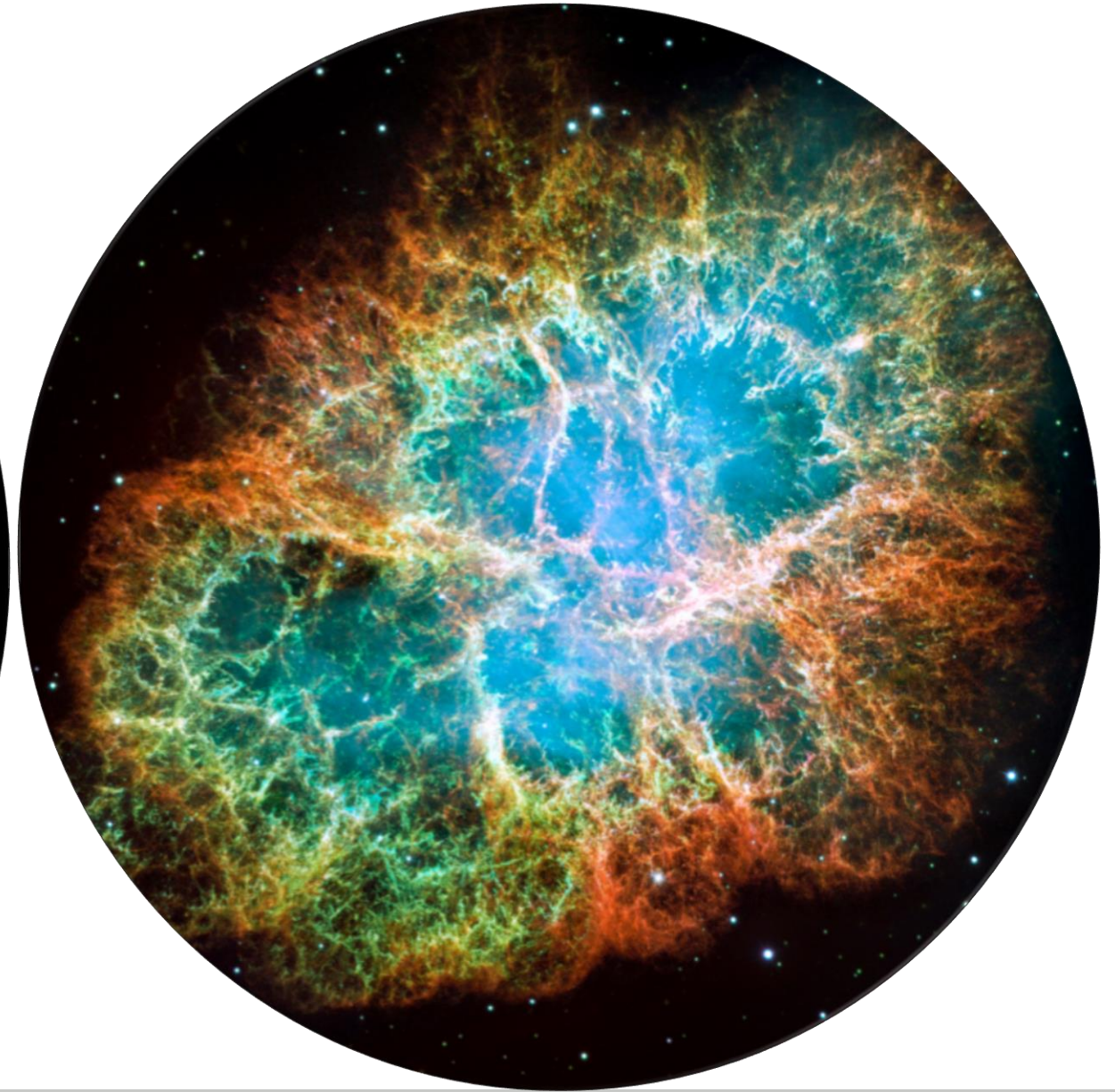
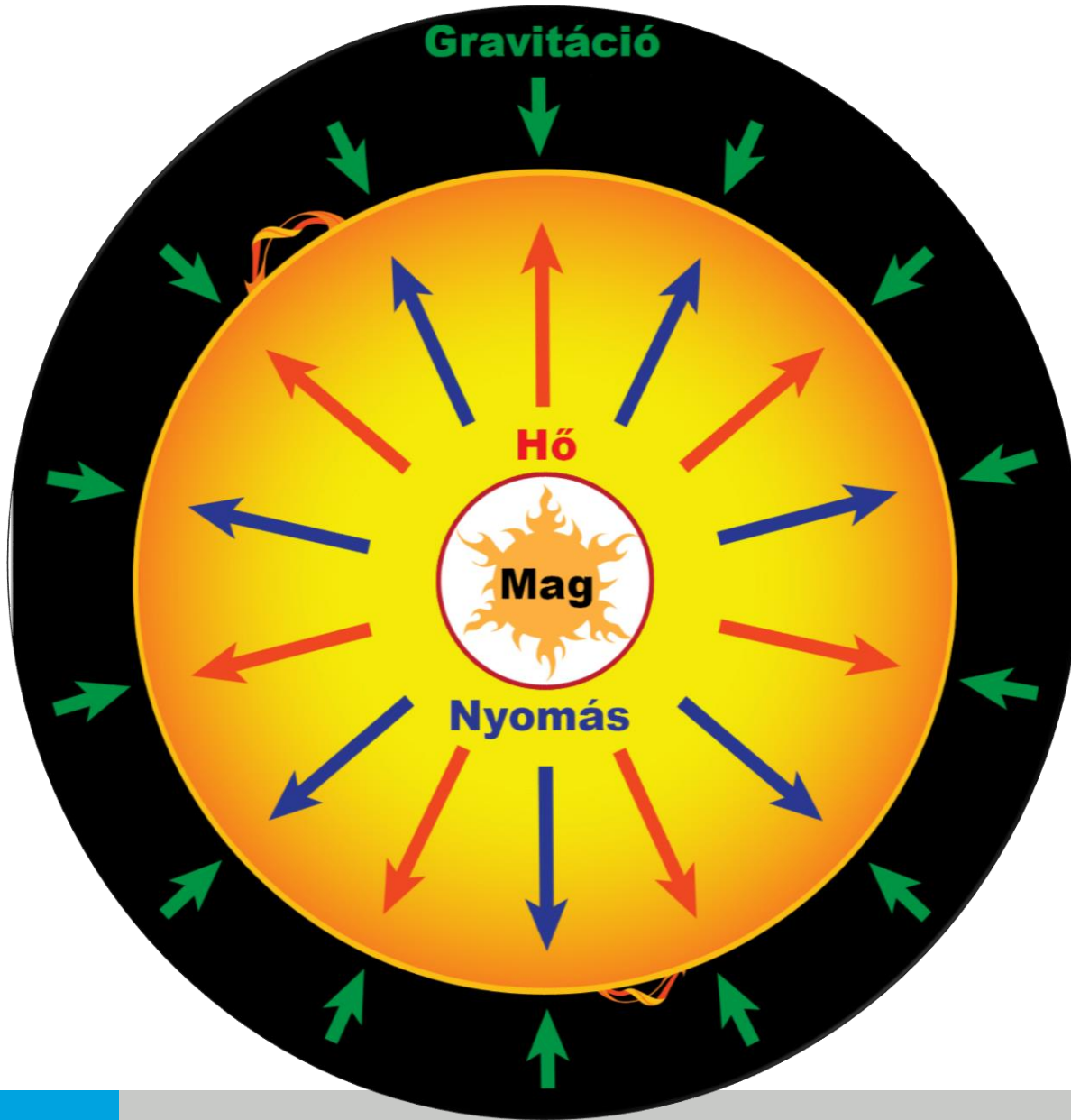


# Magösszeomlásos szupernóvák



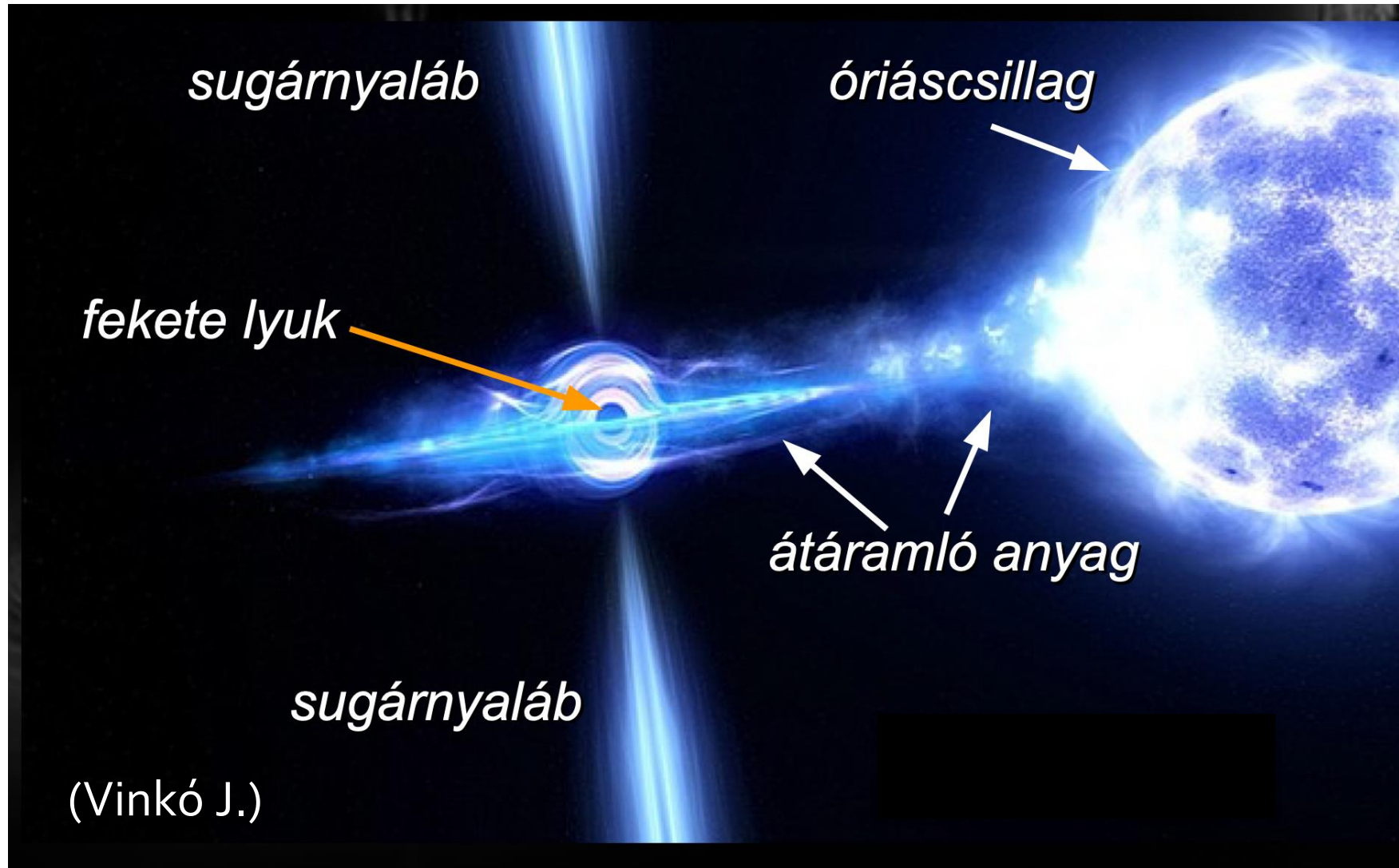


# Magösszeomlásos szupernóvák



### 3. Hogyan fedezzünk fel fekete lyukakat?

# Csillagtömegű fekete lyukak

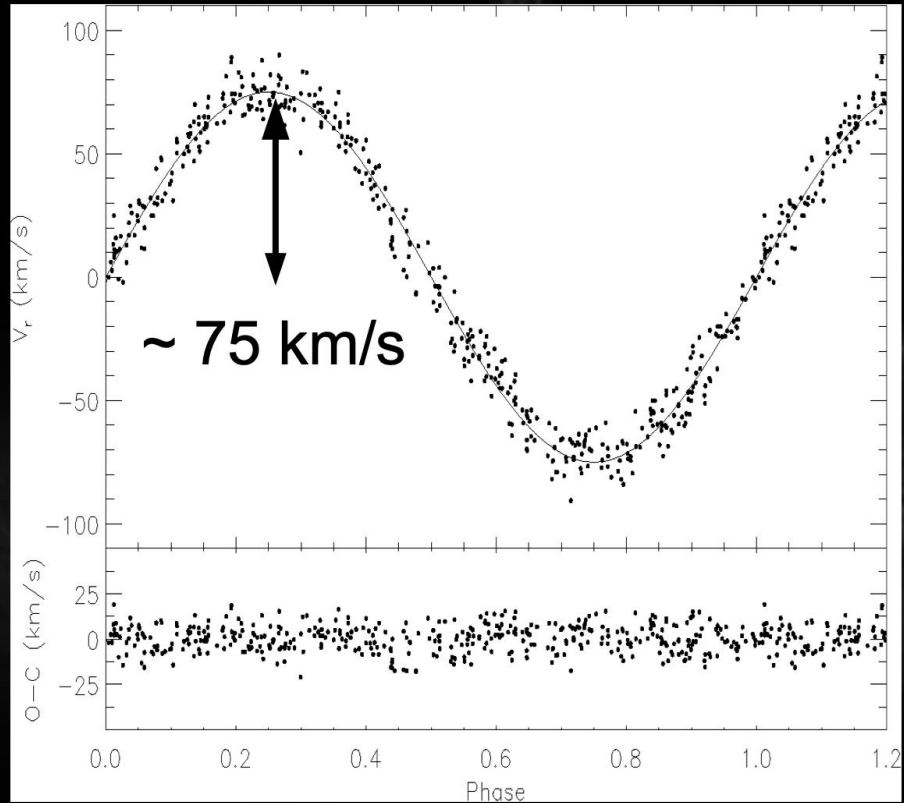


**Cygnus X-1:**  
~6000 fényév  
~15 naptömeg  
(1973)

# Csillagtömegű fekete lyukak

(Vinkó J.)

Cygnus X-1



Brocksopp et al. (1998)

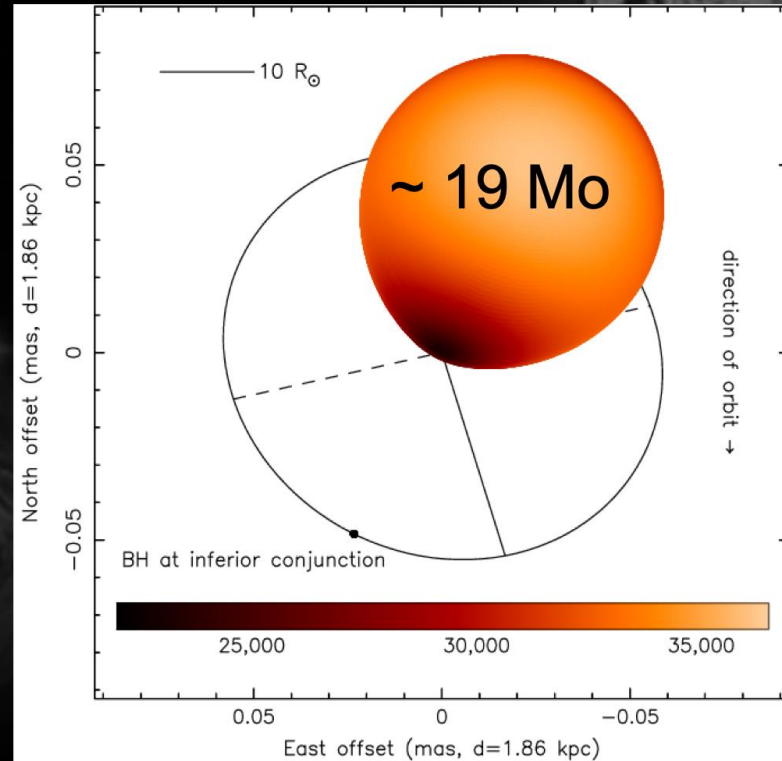
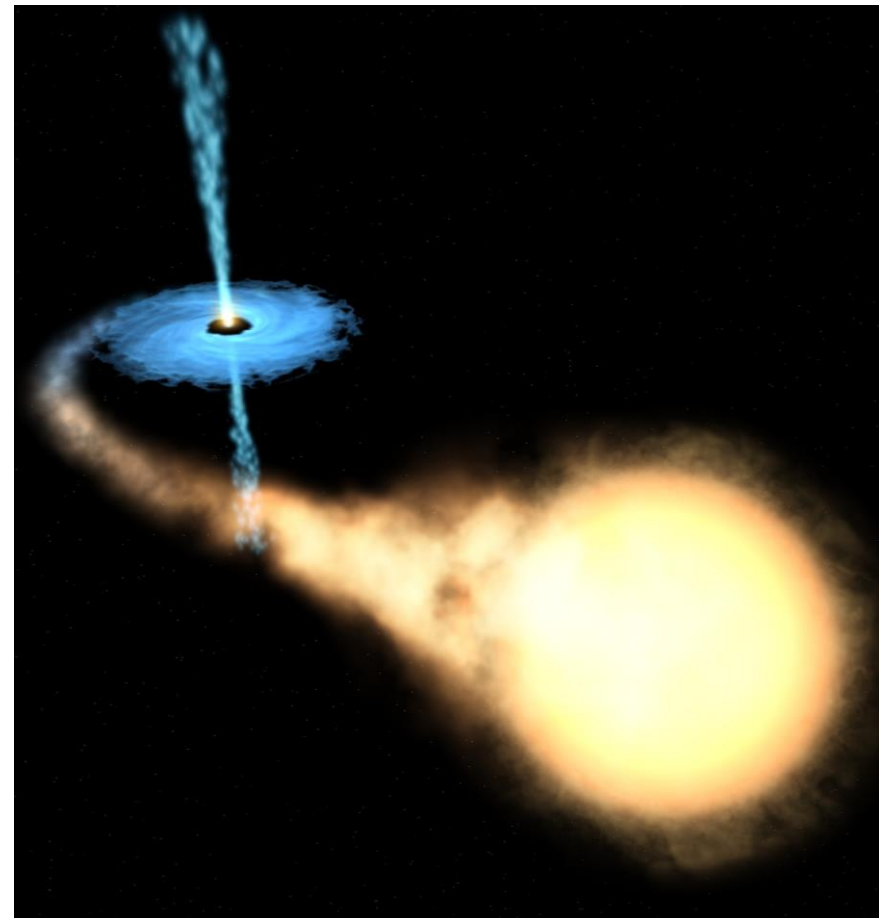
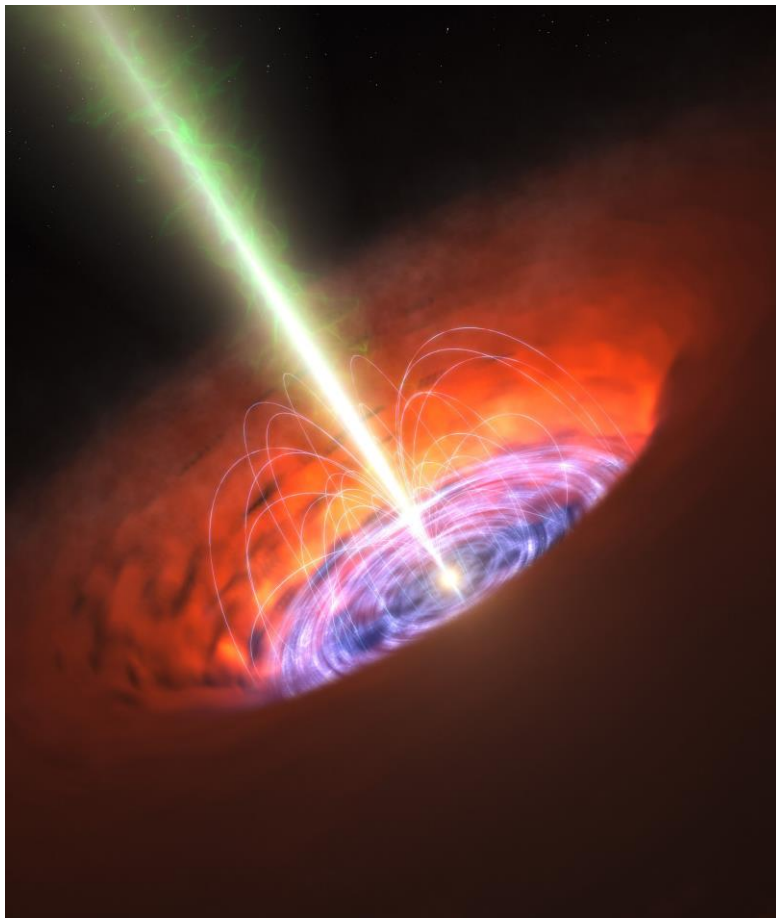


Figure 3. Schematic diagram of Cygnus X-1, shown as it would appear on

Orosz et al. (2011)

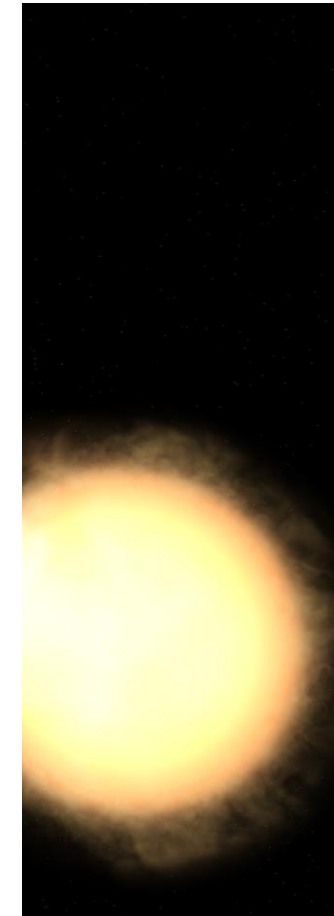
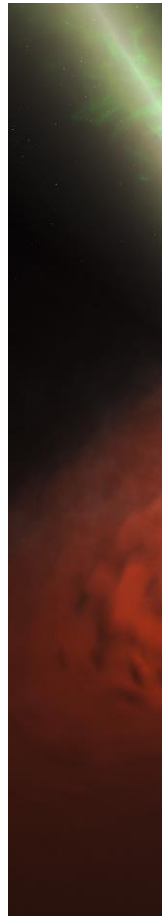
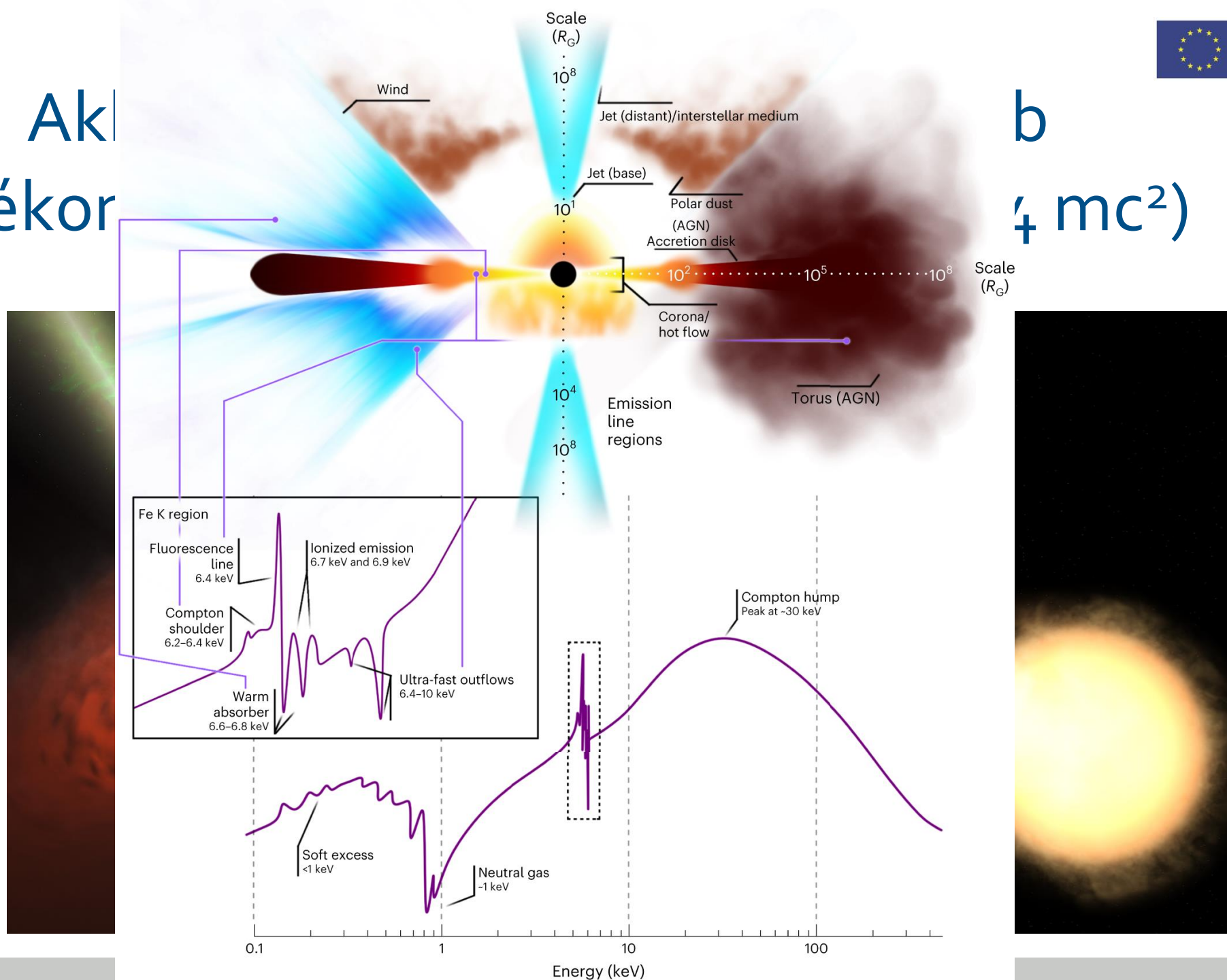
**Cygnus X-1:**  
~6000 fényév  
~15 naptömeg  
(1973)

# Akkreció: a természet legnagyobb hatékonyságú energiaforrása (0,07-0,4 mc<sup>2</sup>)

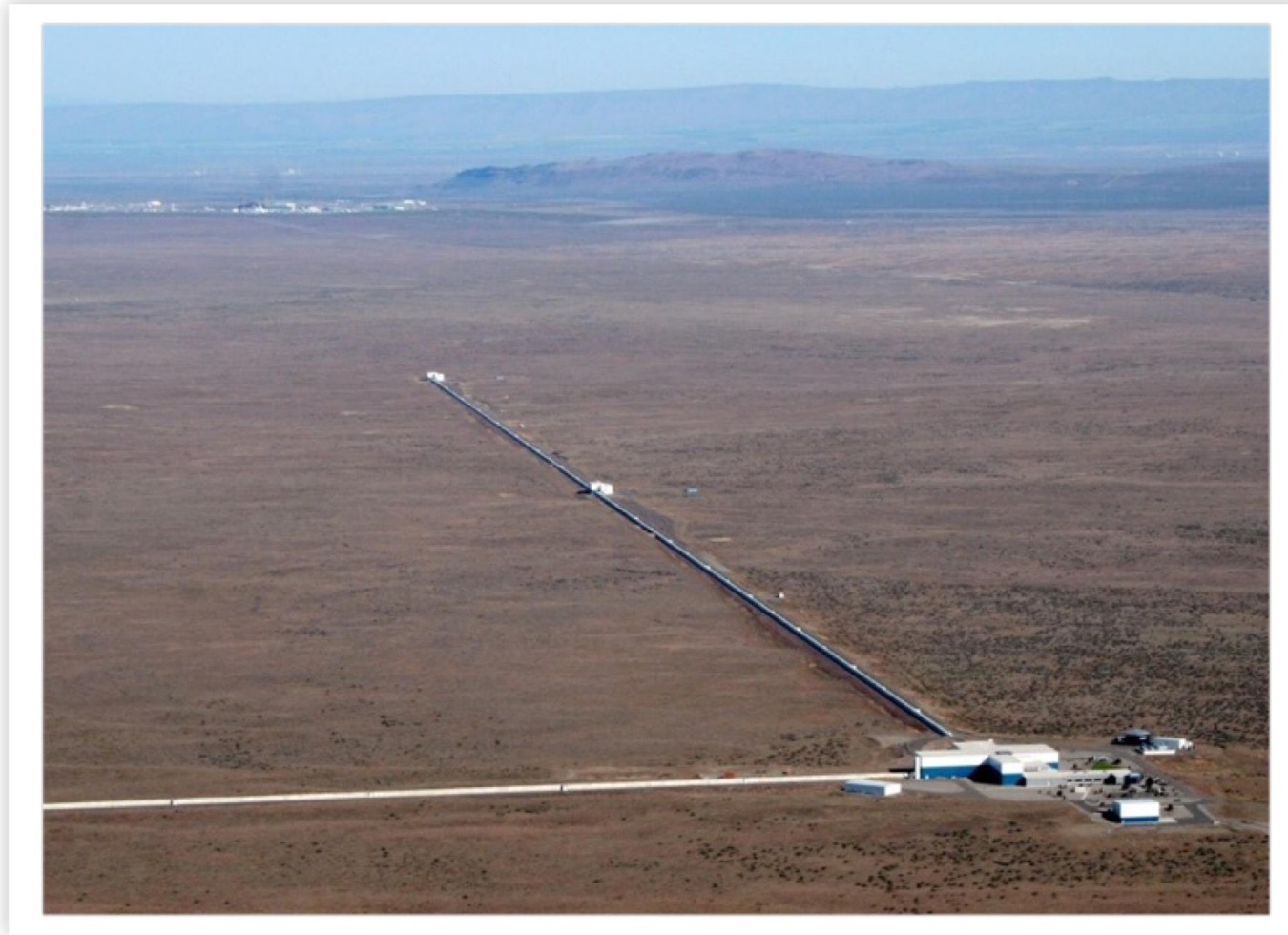


Ak  
hatékor

b  
( $\frac{1}{4} mc^2$ )

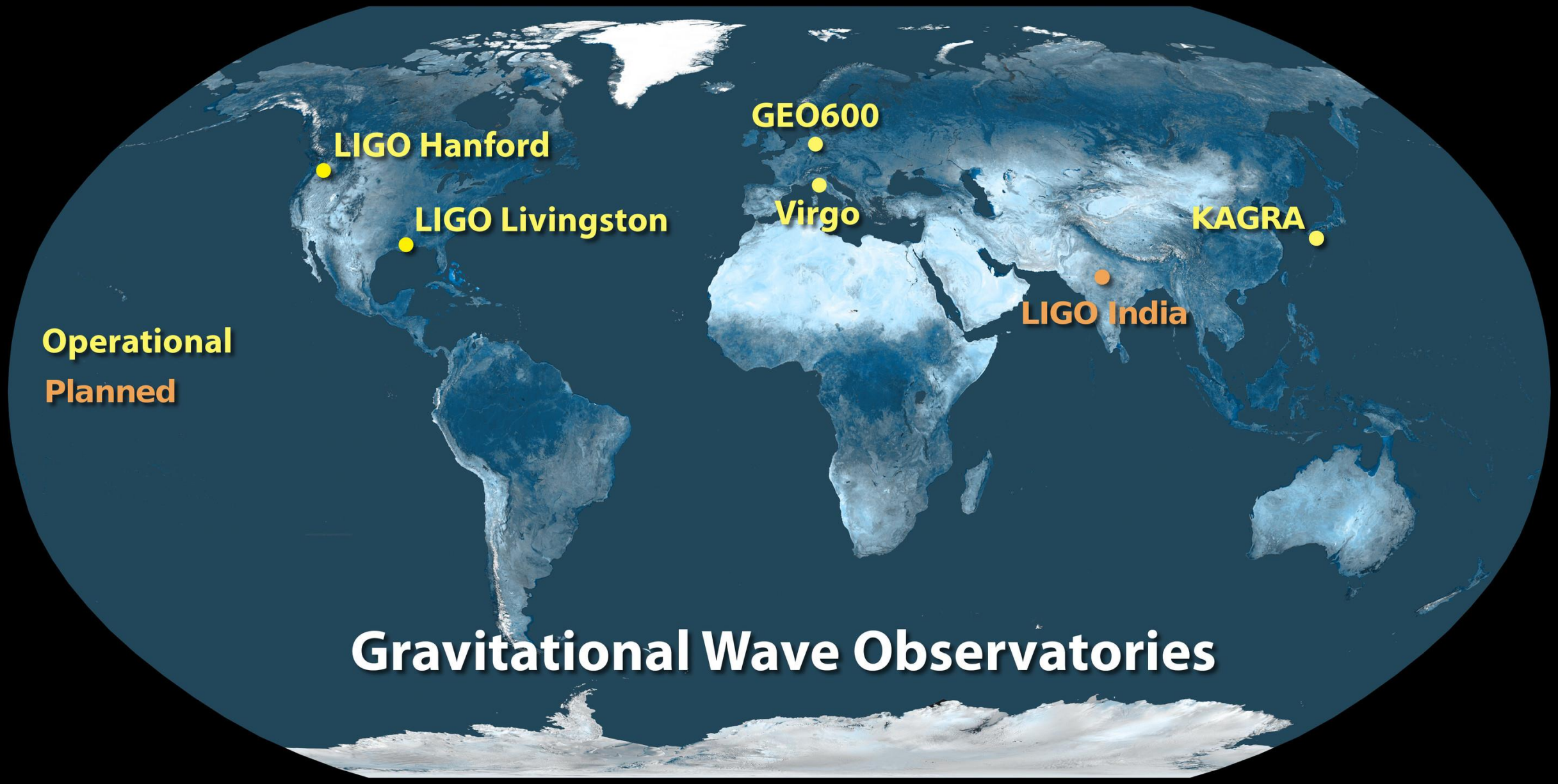


# Kettős fekete lyukak: gravitációs hullámok



**LIGO:**  
**Laser Interferometer Gravitational-wave Observatory**





**LIGO Hanford**

**LIGO Livingston**

**GEO600**

**Virgo**

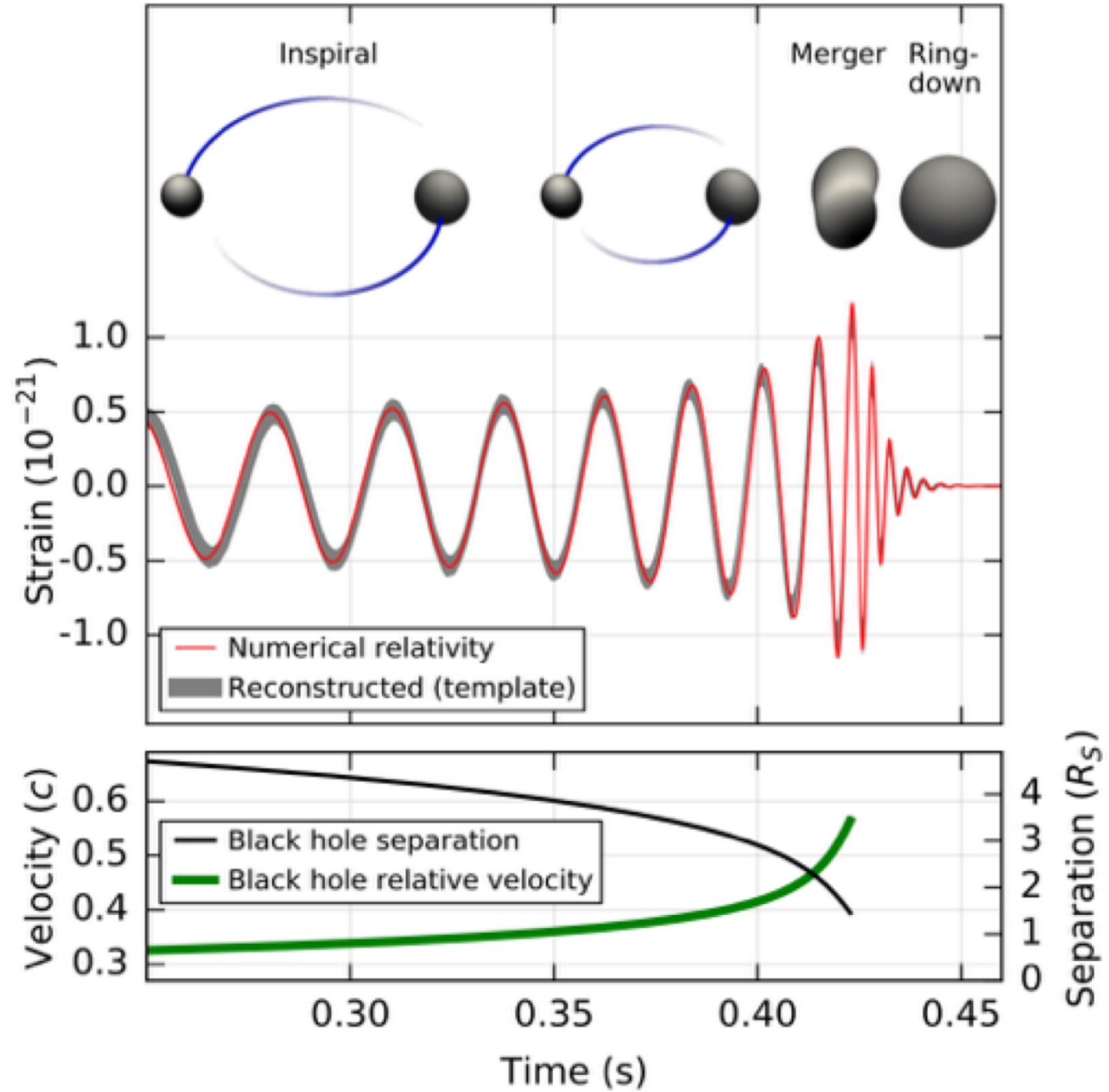
**KAGRA**

**LIGO India**

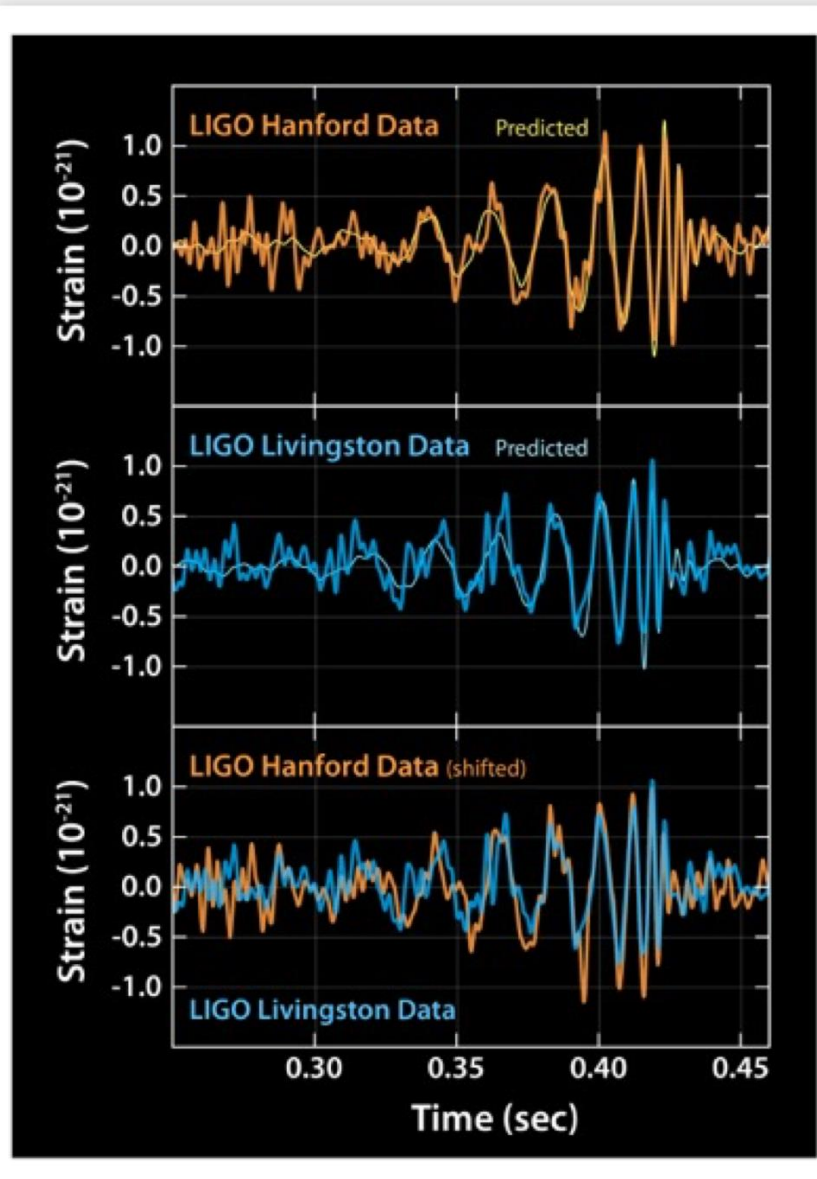
**Operational**  
**Planned**

# Gravitational Wave Observatories

# GW150914



## LIGO, 2015

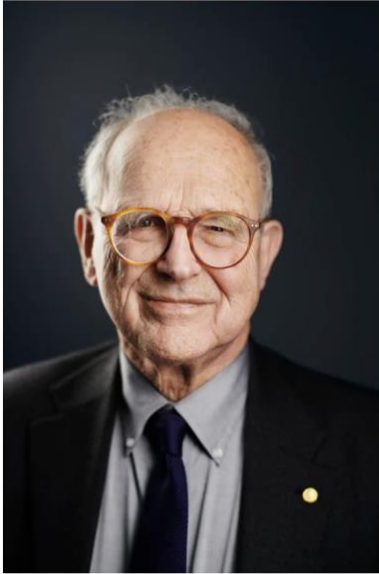


- 29 és 36 naptömeg
- 65 helyett 62 naptömeg maradt vissza
- 1,2 milliárd fényév távolságban
- 0,2 másodperc

### 3 fontos felfedezés:

- \* *gravitációs hullámok*
- \* *kettős fekete lyukak*
- \* *legnagyobb energiájú folyamat*

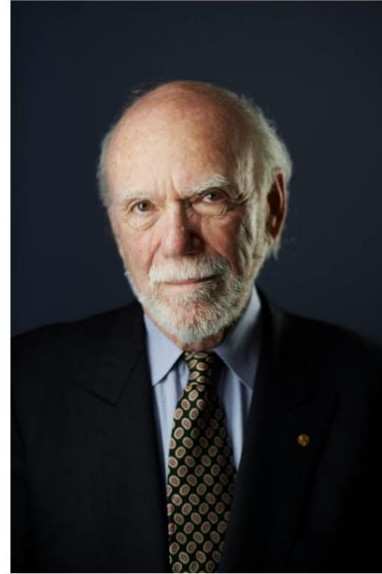
# Nobel Prize in Physics 2017



© Nobel Prize Outreach. Photo:  
A. Mahmoud

**Rainer Weiss**

Prize share: 1/2



© Nobel Prize Outreach. Photo:  
A. Mahmoud

**Barry C. Barish**

Prize share: 1/4



© Nobel Prize Outreach. Photo:  
A. Mahmoud

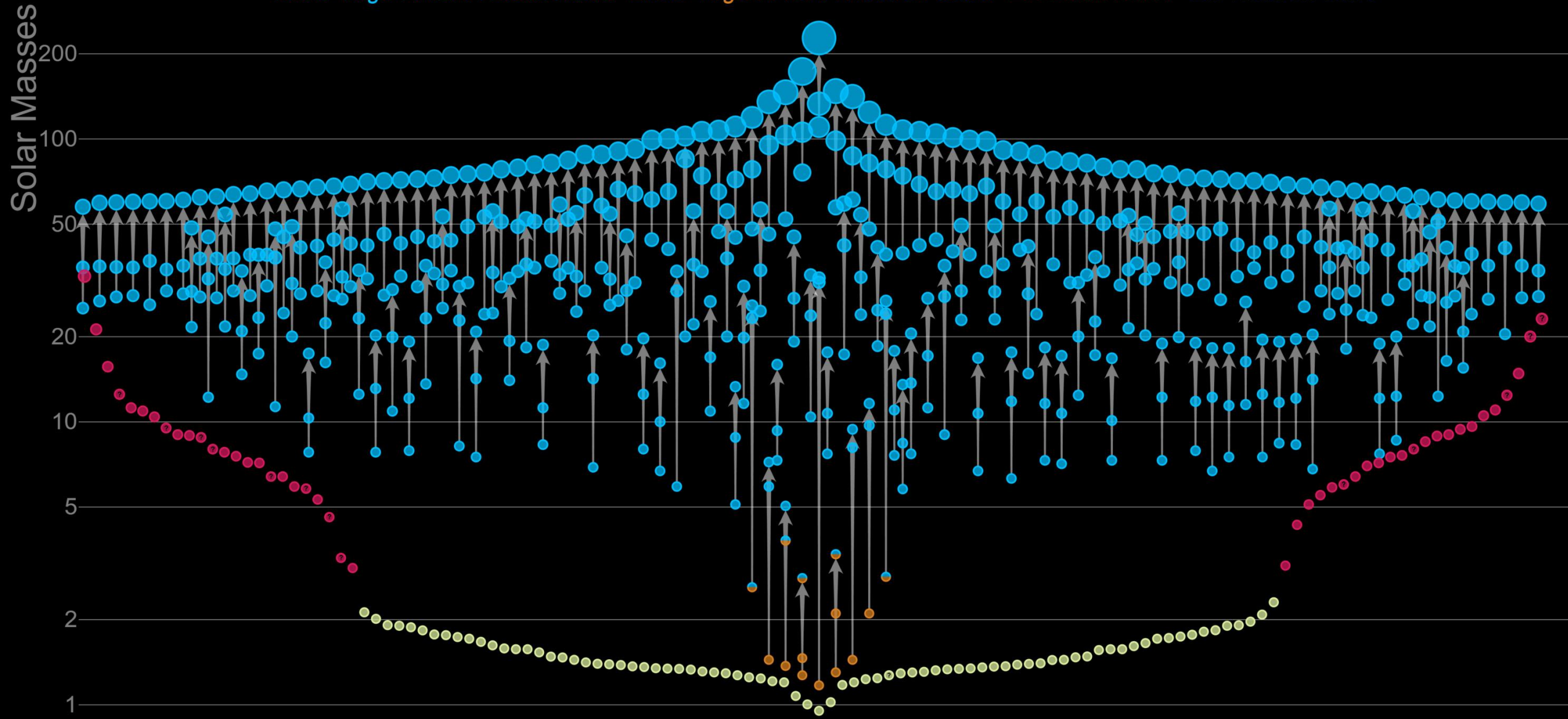
**Kip S. Thorne**

Prize share: 1/4

The Nobel Prize in Physics 2017 was divided, one half awarded to Rainer Weiss, the other half jointly to Barry C. Barish and Kip S. Thorne "for decisive contributions to the LIGO detector and the observation of gravitational waves"

# Masses in the Stellar Graveyard

*LIGO-Virgo-KAGRA Black Holes*   *LIGO-Virgo-KAGRA Neutron Stars*   *EM Black Holes*   *EM Neutron Stars*





## 4. Óriások a galaxisok szívében

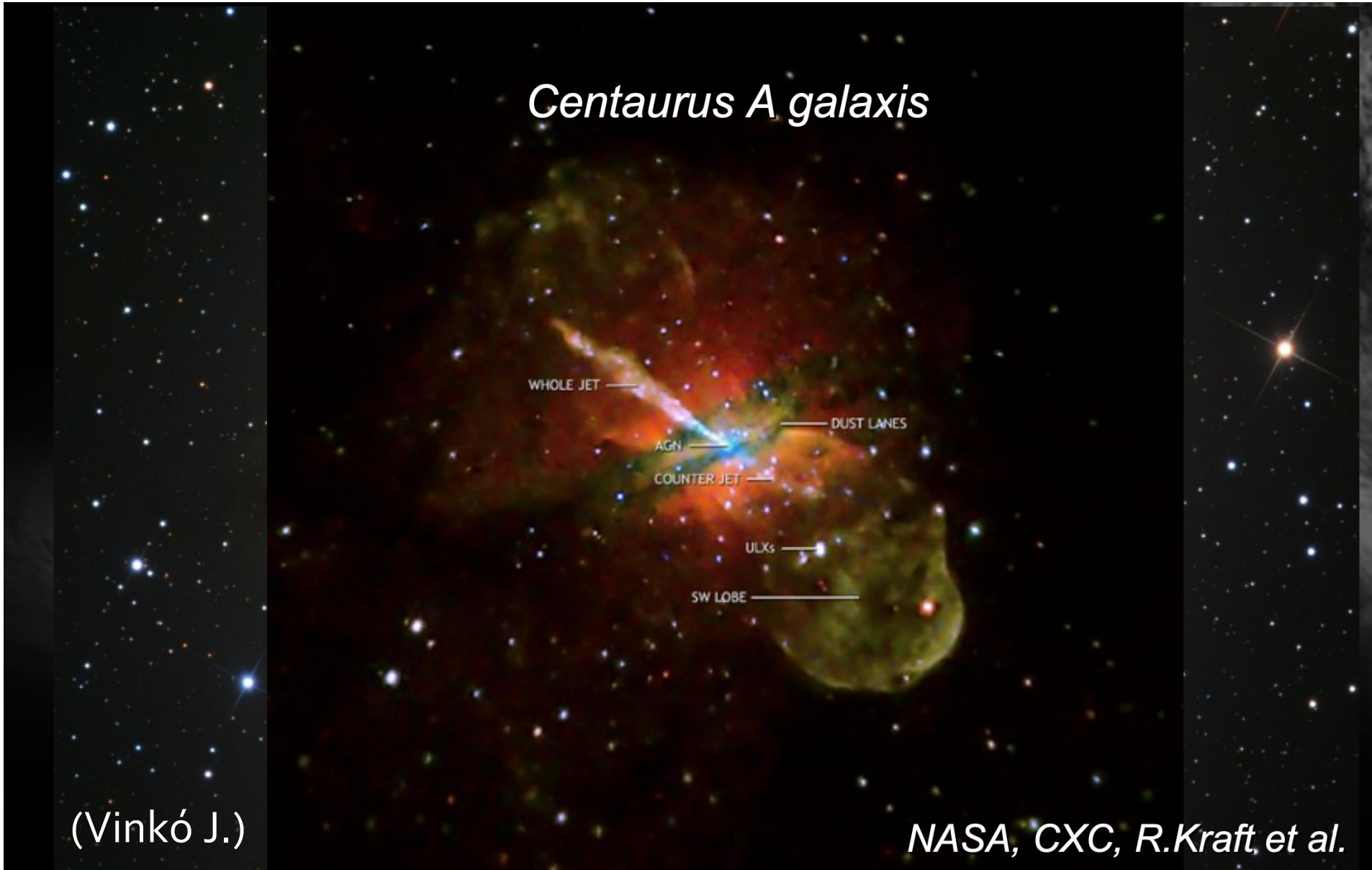
# Szupermasszív fekete lyukak

*Centaurus A galaxy*

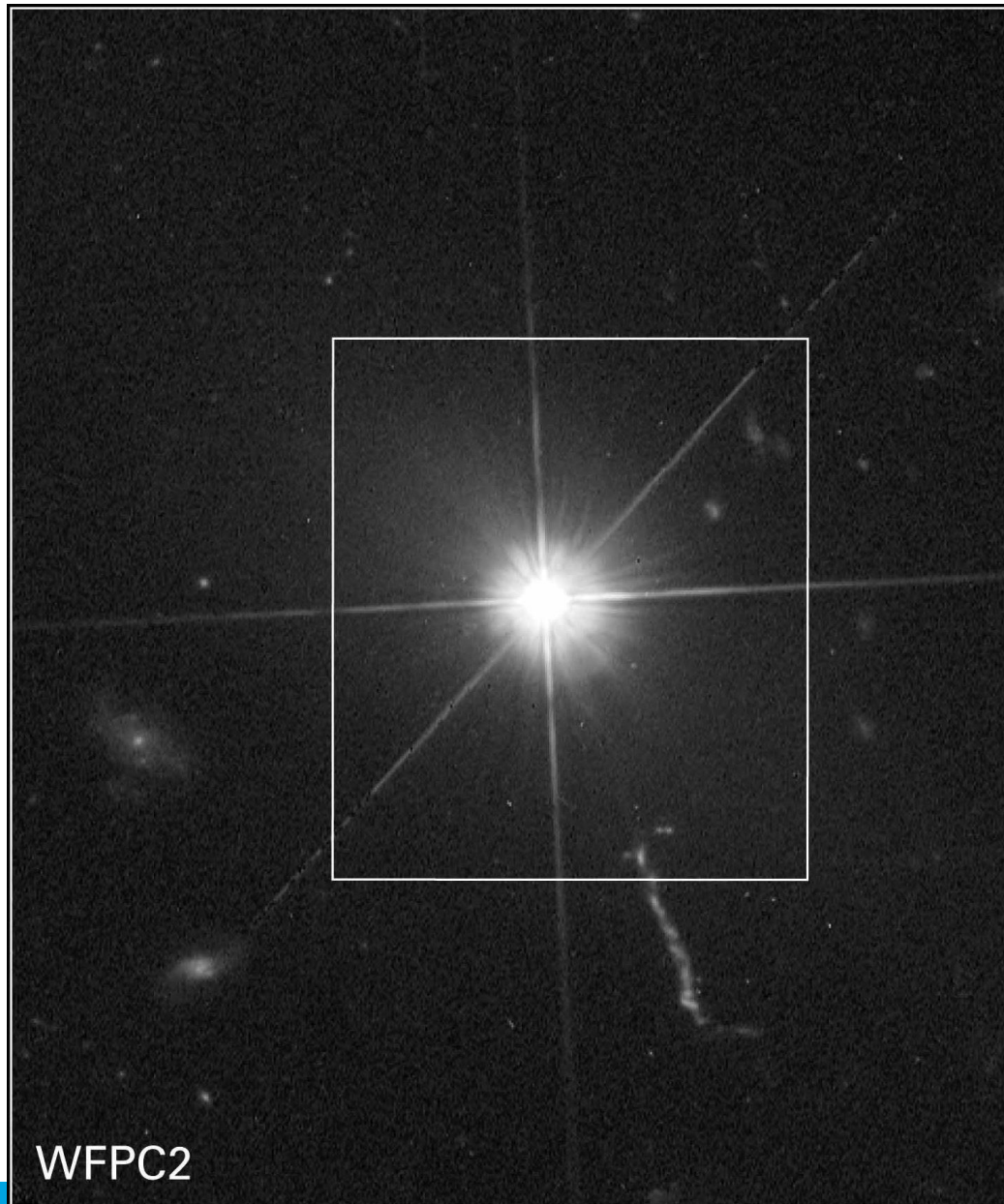
A detailed astronomical image of the Centaurus A galaxy, also known as NGC 5128. The galaxy is an edge-on, elliptical system with a prominent central bar and a complex, multi-lobed structure. The central region is bright and orange-red, indicating the presence of dust and stars. The galaxy is surrounded by a field of stars, with several bright blue stars visible in the foreground. The background is a deep black space filled with numerous smaller stars.

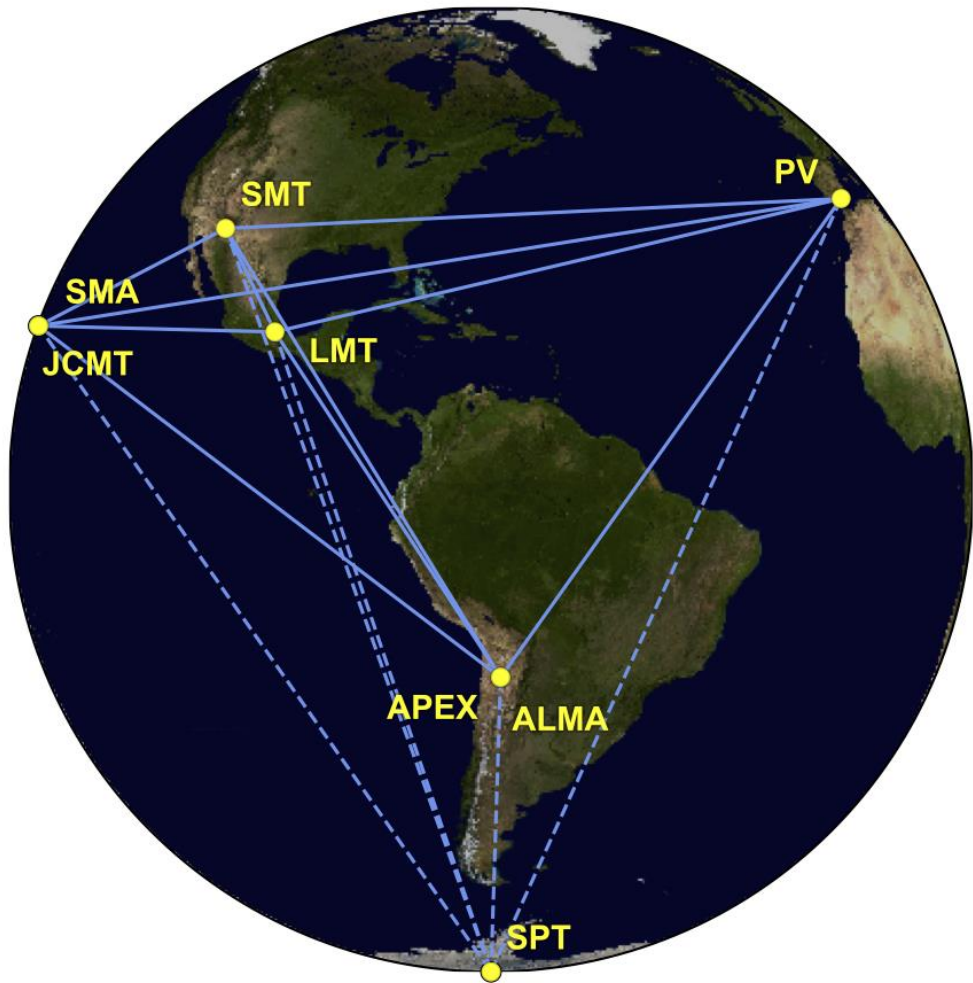
(Vinkó J.)

# Szupermasszív fekete lyukak

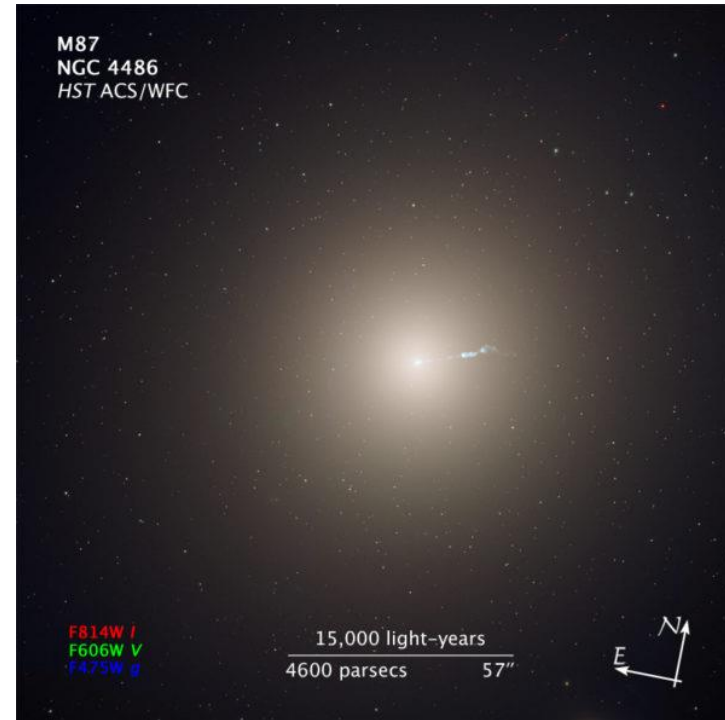


# 3C 273: az első kvazár ( $z=0,158$ , ~2 milliárd fényév)



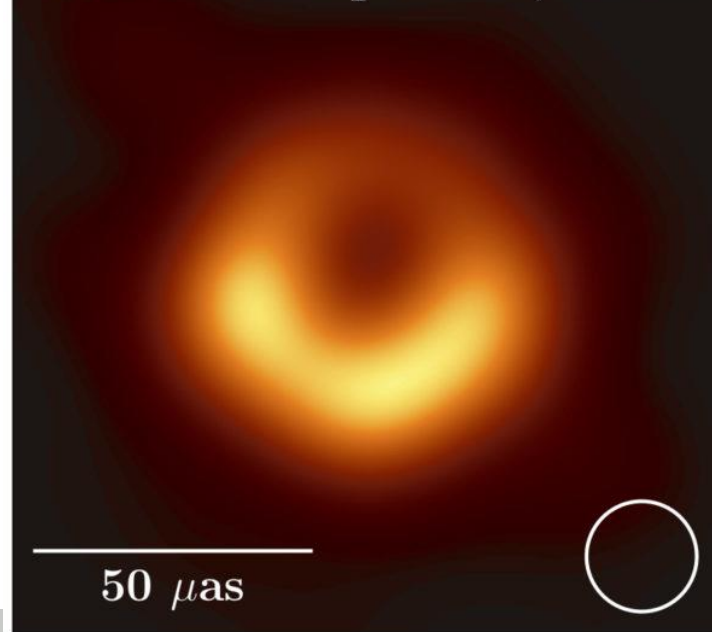


700,000 TB rádiómérésből az első kép egy fekete lyuk "árnyékáról"!



M87: 50 millió fényévre egy hatalmas galaxis; ~6 milliárd naptömeg!

M87\* April 11, 2017

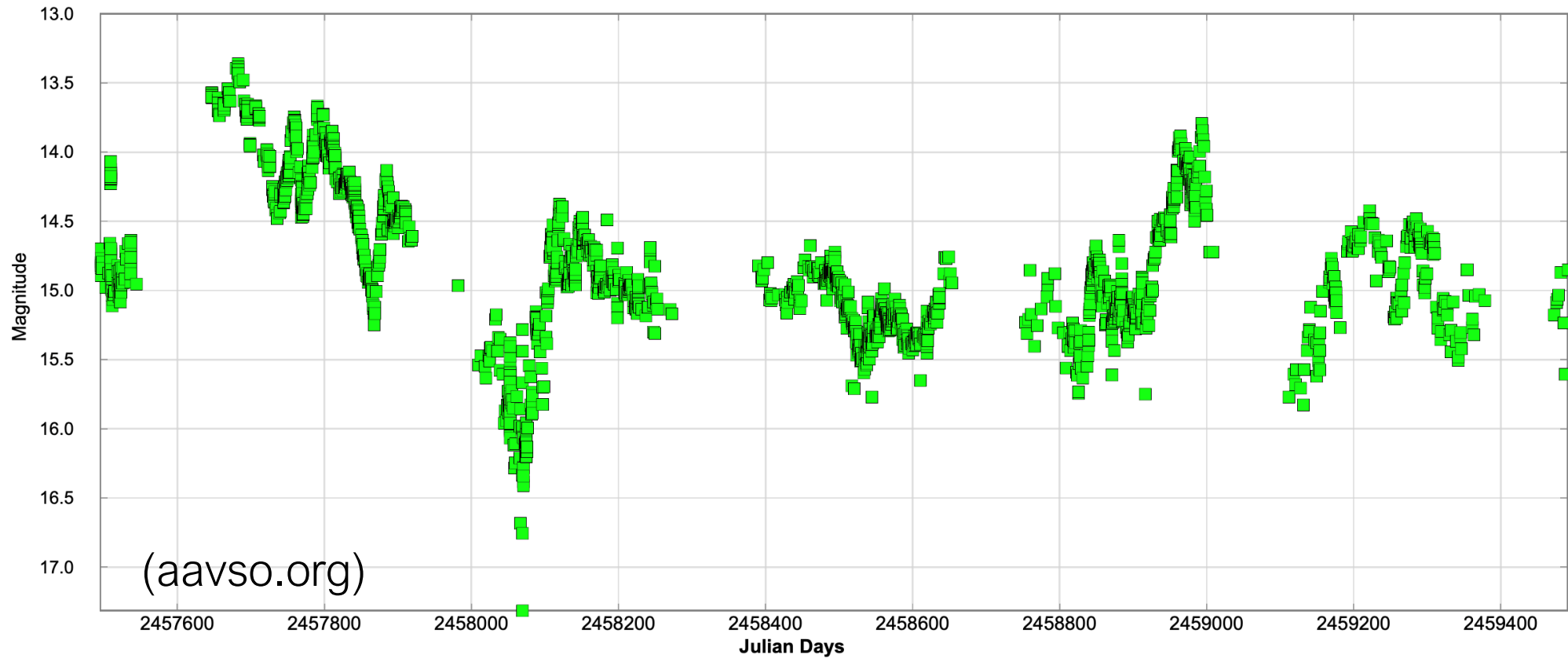


# OJ 287 Cnc (z=0,306, ~3,3 milliárd fényév)

Plot Another Curve Preferences Zoom Back ? Adopt This Star OJ 287 2016/04/15 to 2021/10/06 Annotate Print

Mean

:All (6184)  (696)  Vis  (111)  Faint  (459)  B  (2300)  V  (930)  R  (185)  I  (774)  CV  (15)  CR  (22)  TG  (213)  SG  (406)  SR  (184)  SI

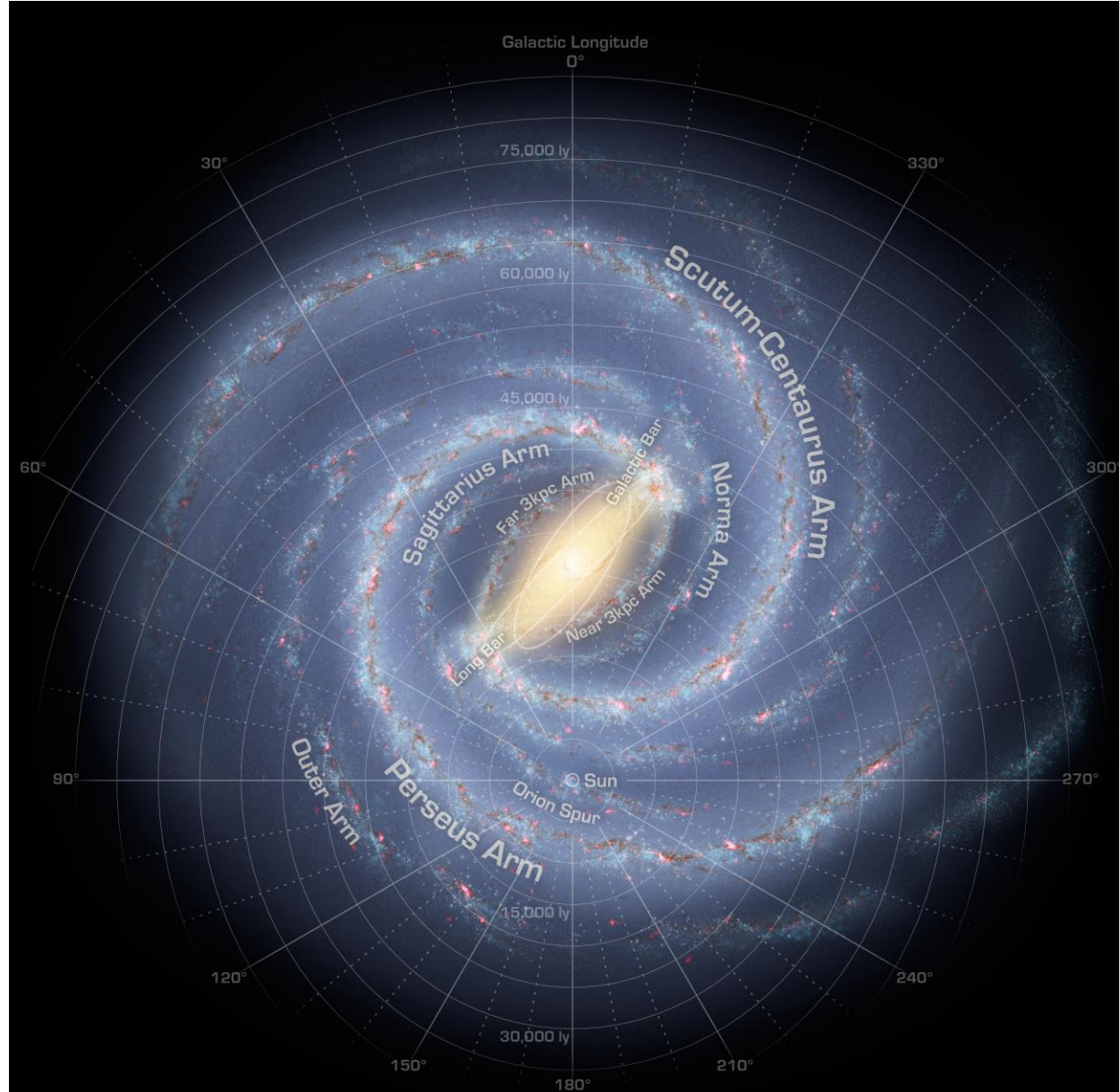


# OJ 287 Cnc ( $z=0,306$ , ~3,3 milliárd fényév)

Galaxy OJ 287 hosts one of the largest black holes ever found – over 18 billion times the mass of our Sun. Orbiting this behemoth is another massive black hole.



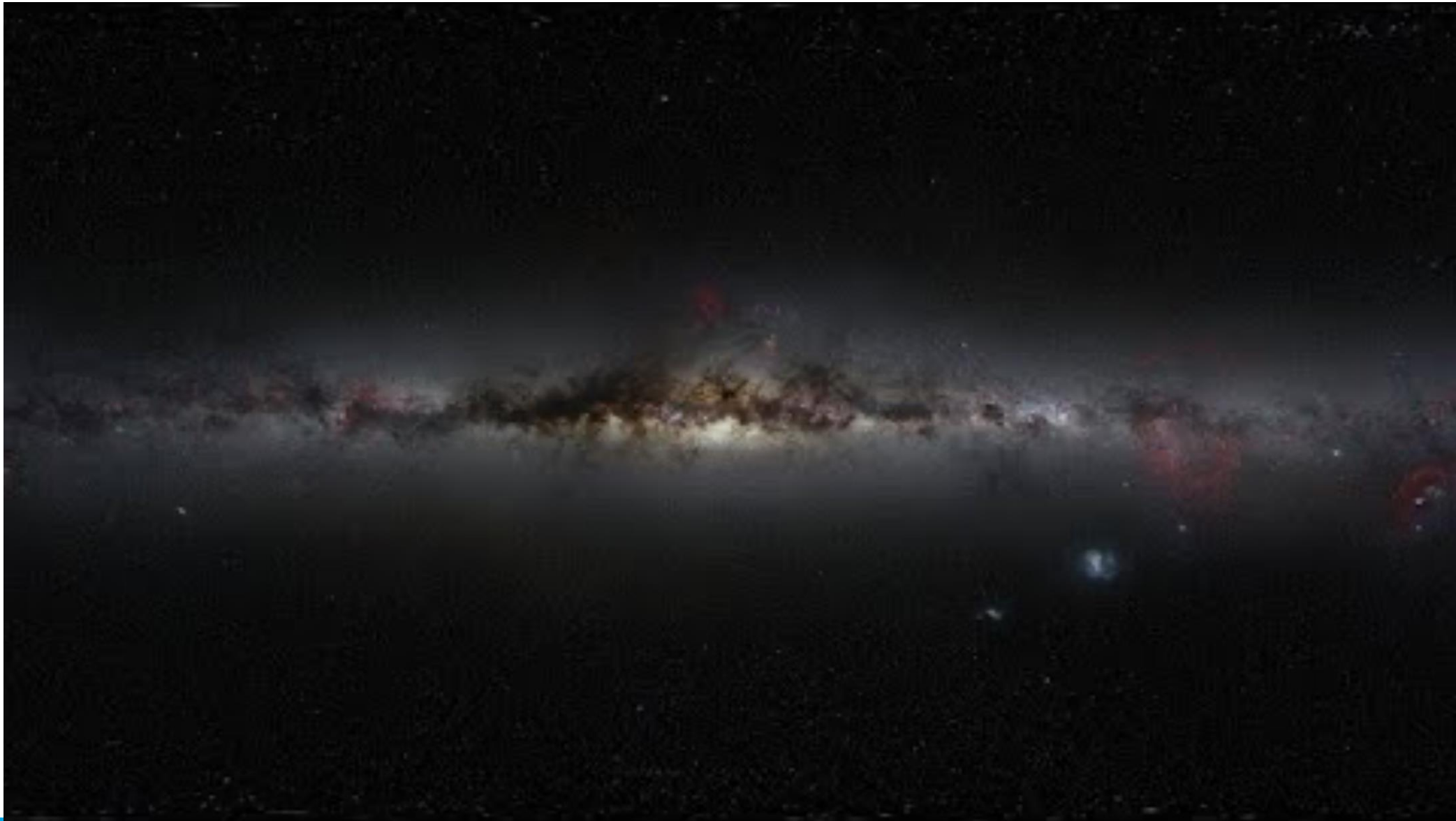
# Mi van a Tejútrendszerben?

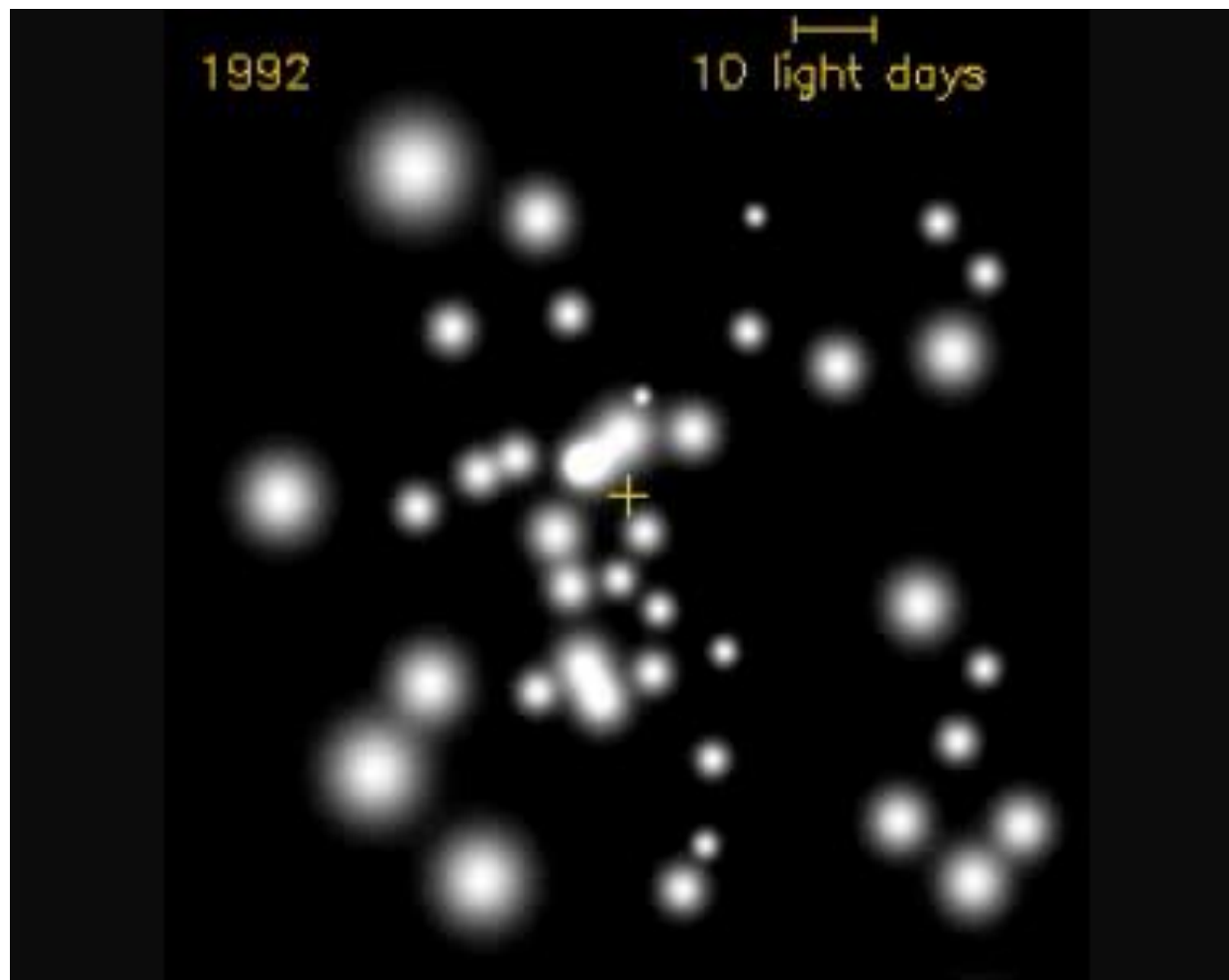


# Sgr A\* - szupermasszív fekete lyuk a Tejútrendszer magjában



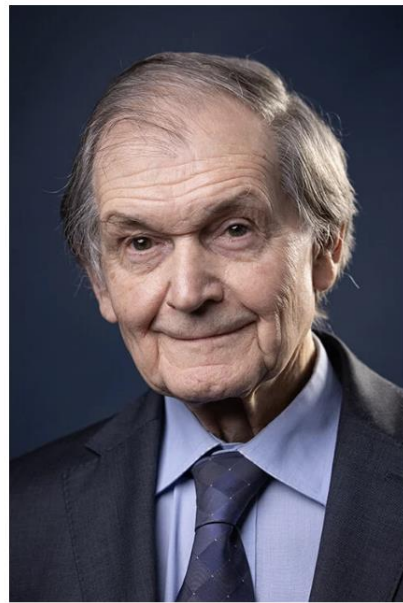
Az Európai Unió  
támogatásával





~30 ezer fényév  
~4 millió naptömeg

Sgr A\* - szupermasszív fekete lyuk a  
Tejútrendszerben



© Nobel Prize Outreach. Photo:  
Fergus Kennedy

**Roger Penrose**

Prize share: 1/2



© Nobel Prize Outreach. Photo:  
Bernhard Ludewig

**Reinhard Genzel**

Prize share: 1/4



© Nobel Prize Outreach. Photo:  
Stefan Bladh.

**Andrea Ghez**

Prize share: 1/4

---

The Nobel Prize in Physics 2020 was divided, one half awarded to Roger Penrose "for the discovery that black hole formation is a robust prediction of the general theory of relativity", the other half jointly to Reinhard Genzel and Andrea Ghez "for the discovery of a supermassive compact object at the centre of our galaxy"

## 5. Mire lehetne jó egy fekete lyuk?

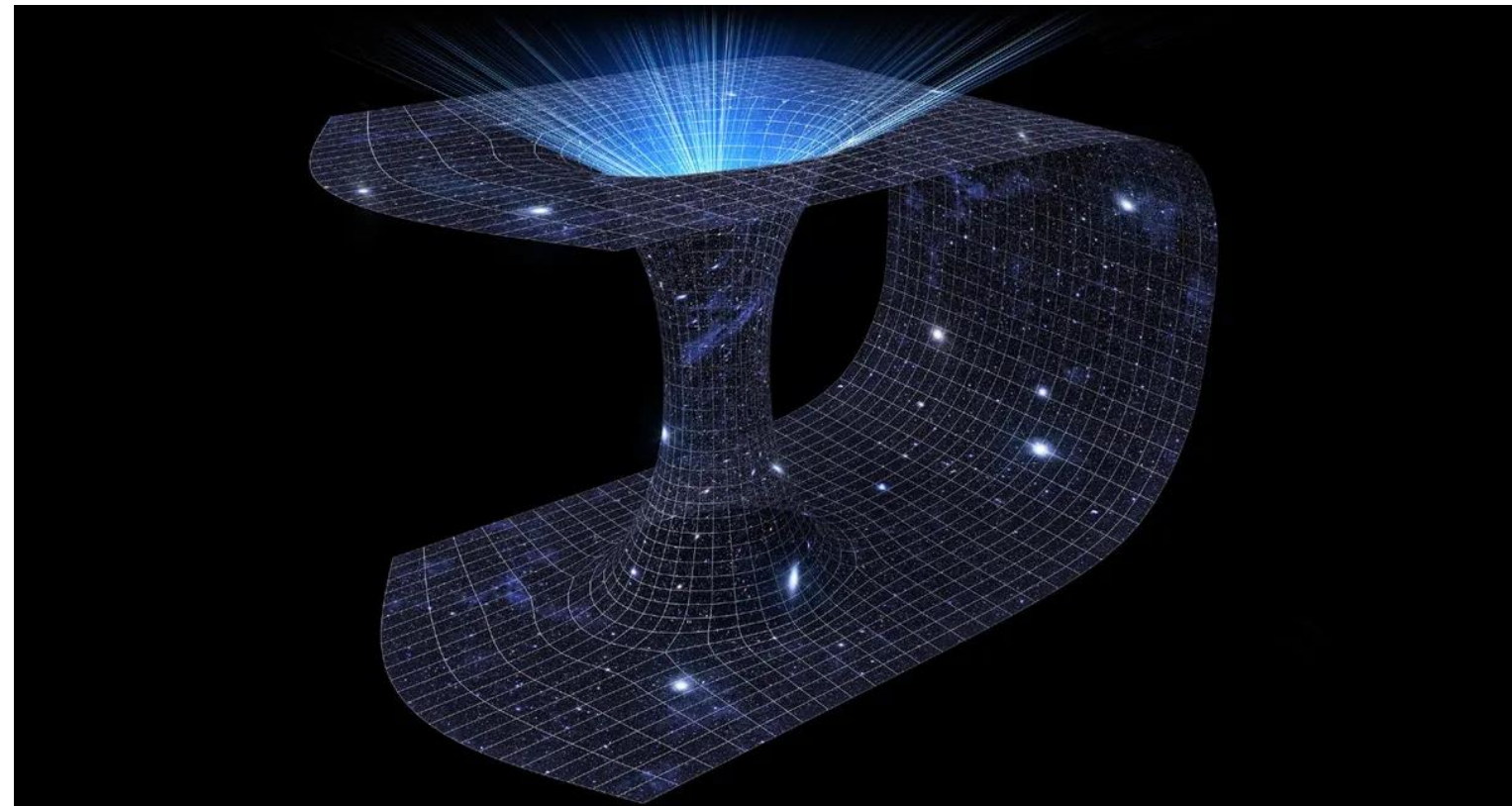
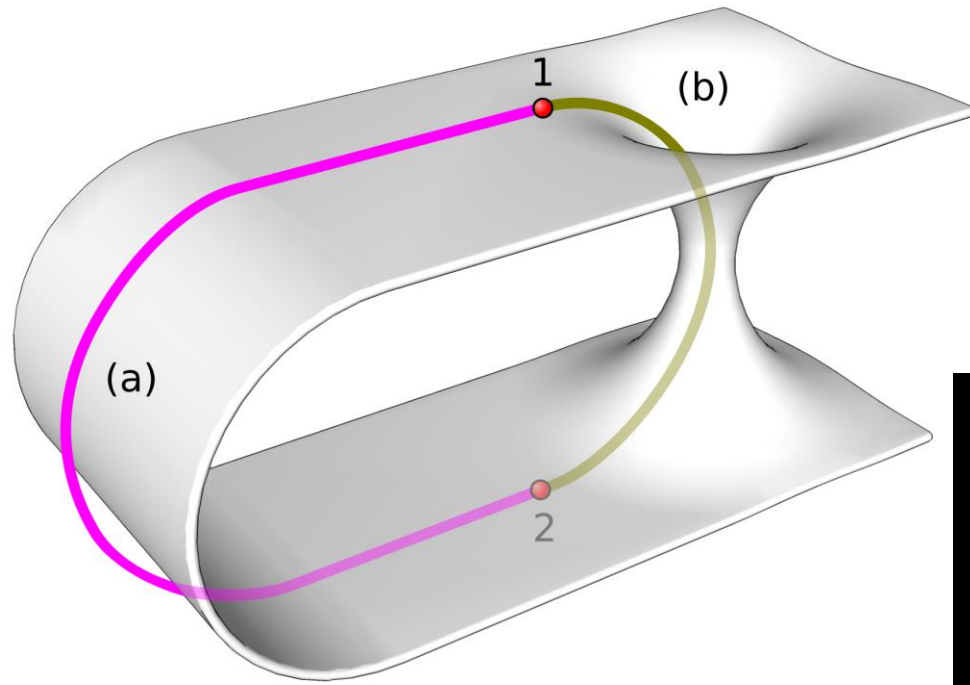
# Fekete lyukak közelről



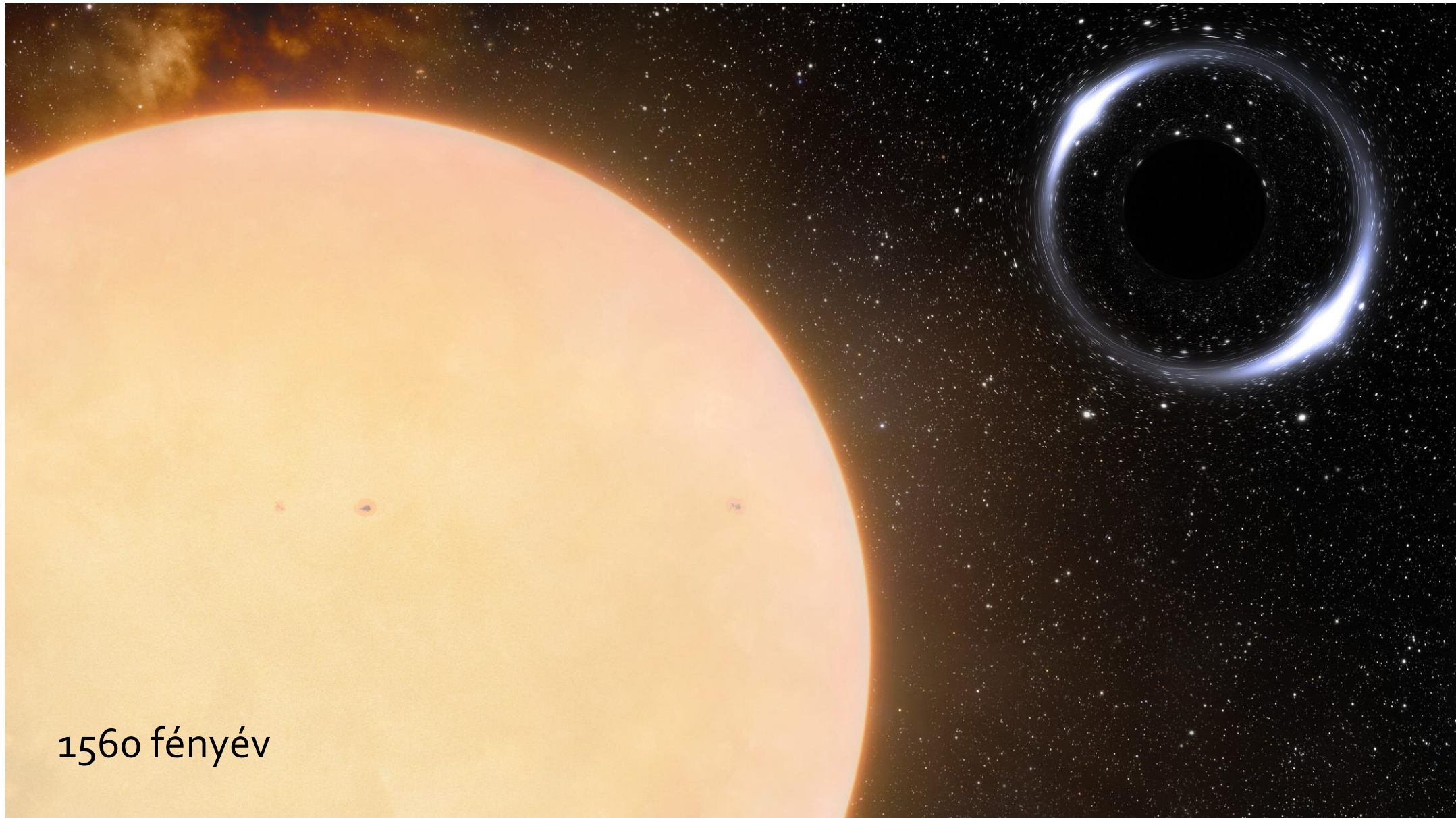
- egyre erősebb gravitáció
- pontról-pontra változik
- a testek megnyúlnak, majd szétszakadnak ("spagettifikáció")

(Vinkó J.)

# Fekete lyuk – féreglyuk – fehér lyuk?



# Legközelebbi fekete lyuk: Gaia BH<sub>1</sub>



1560 fényév

