

VIAJANDO ENTRE LOS MONSTRUOS MAGNÉTICOS Y GRAVITATORIOS DE NUESTRA GALAXIA

Nanda Rea
INSTITUTO DE CIENCIAS DEL ESPACIO
Barcelona



MARTES 14 DE JULIO 2020



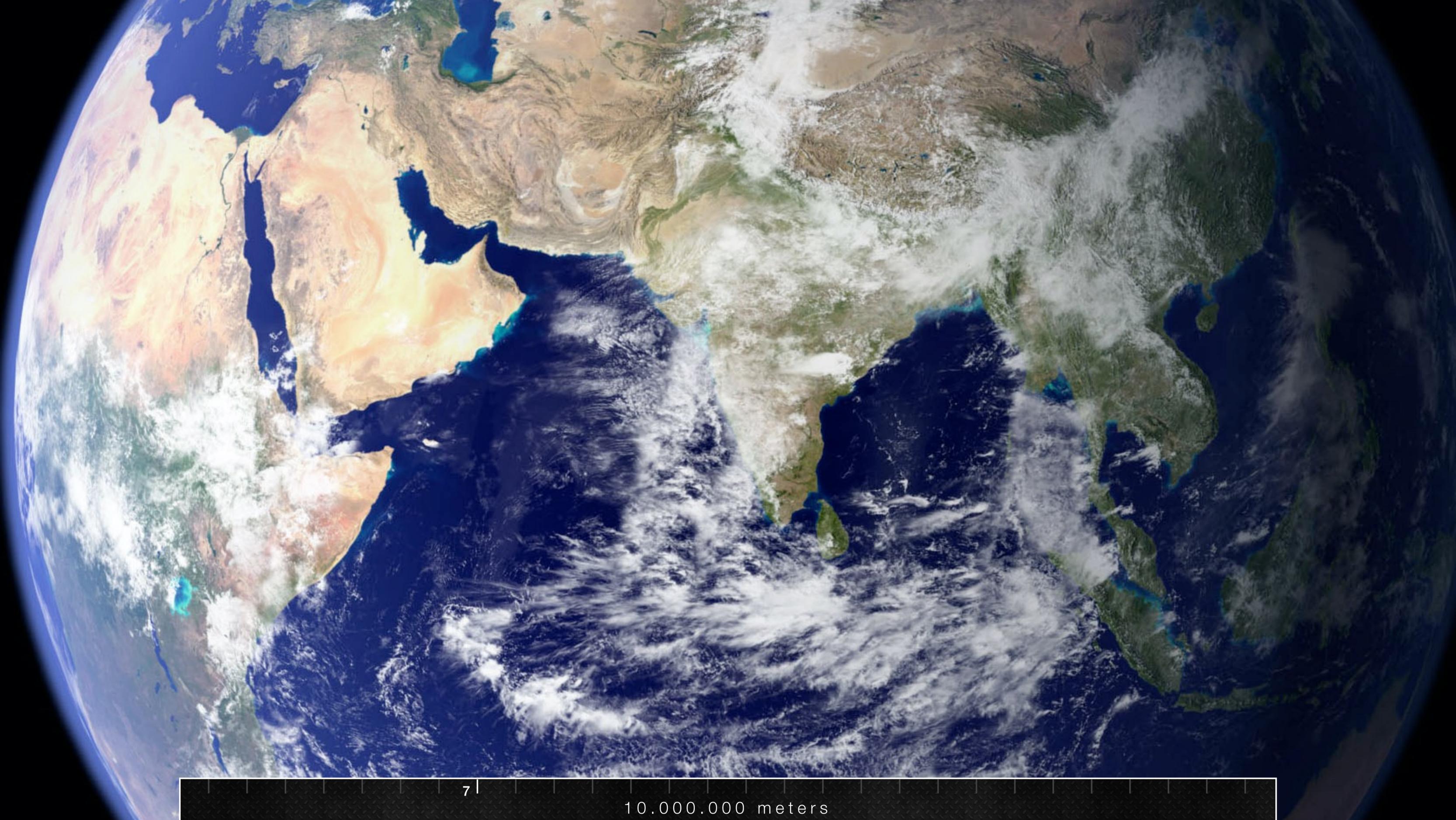
GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE CIENCIA, INNOVACIÓN
Y UNIVERSIDADES



European Research Council
Established by the European Commission

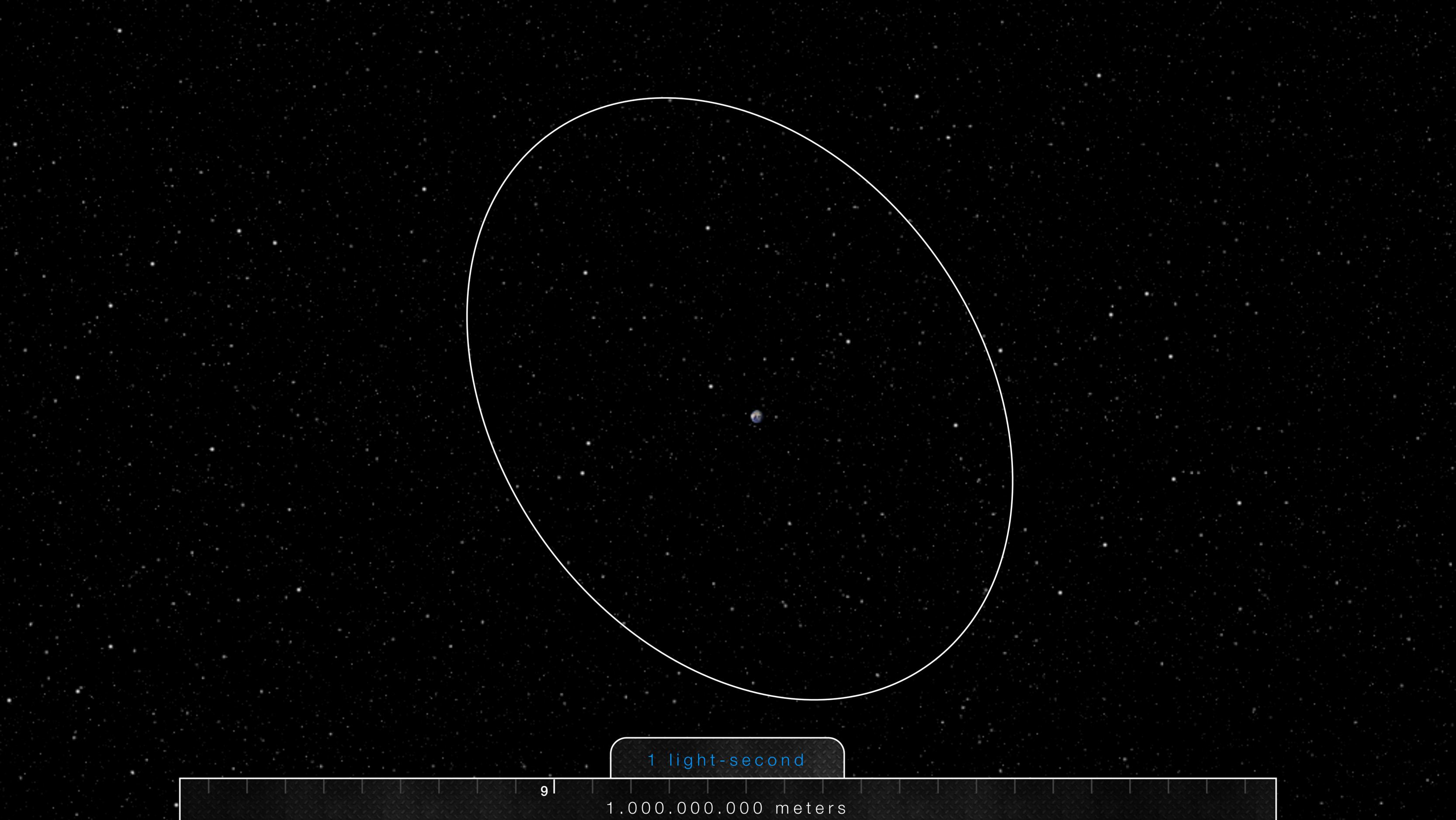




7

10.000.000 meters

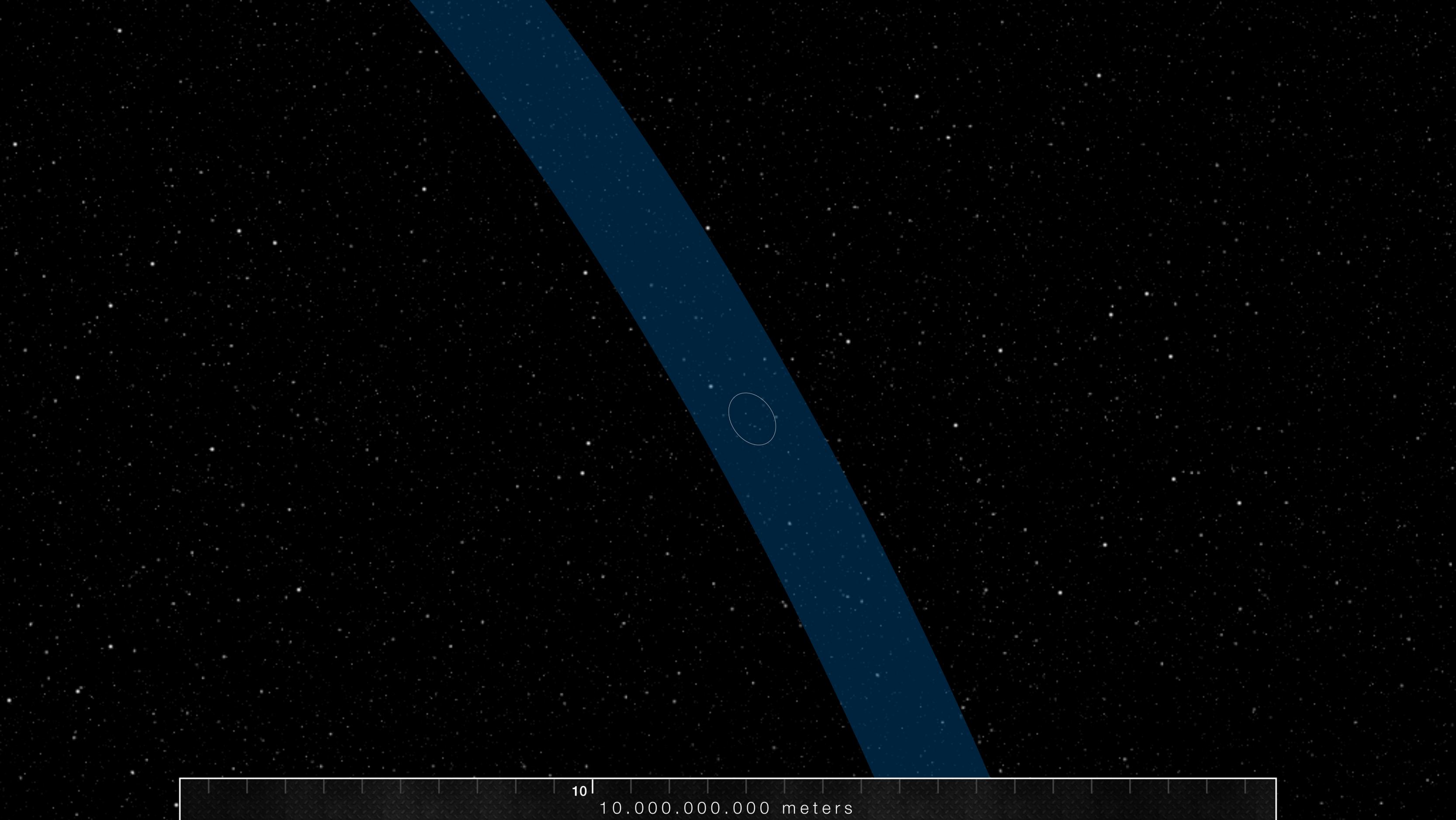


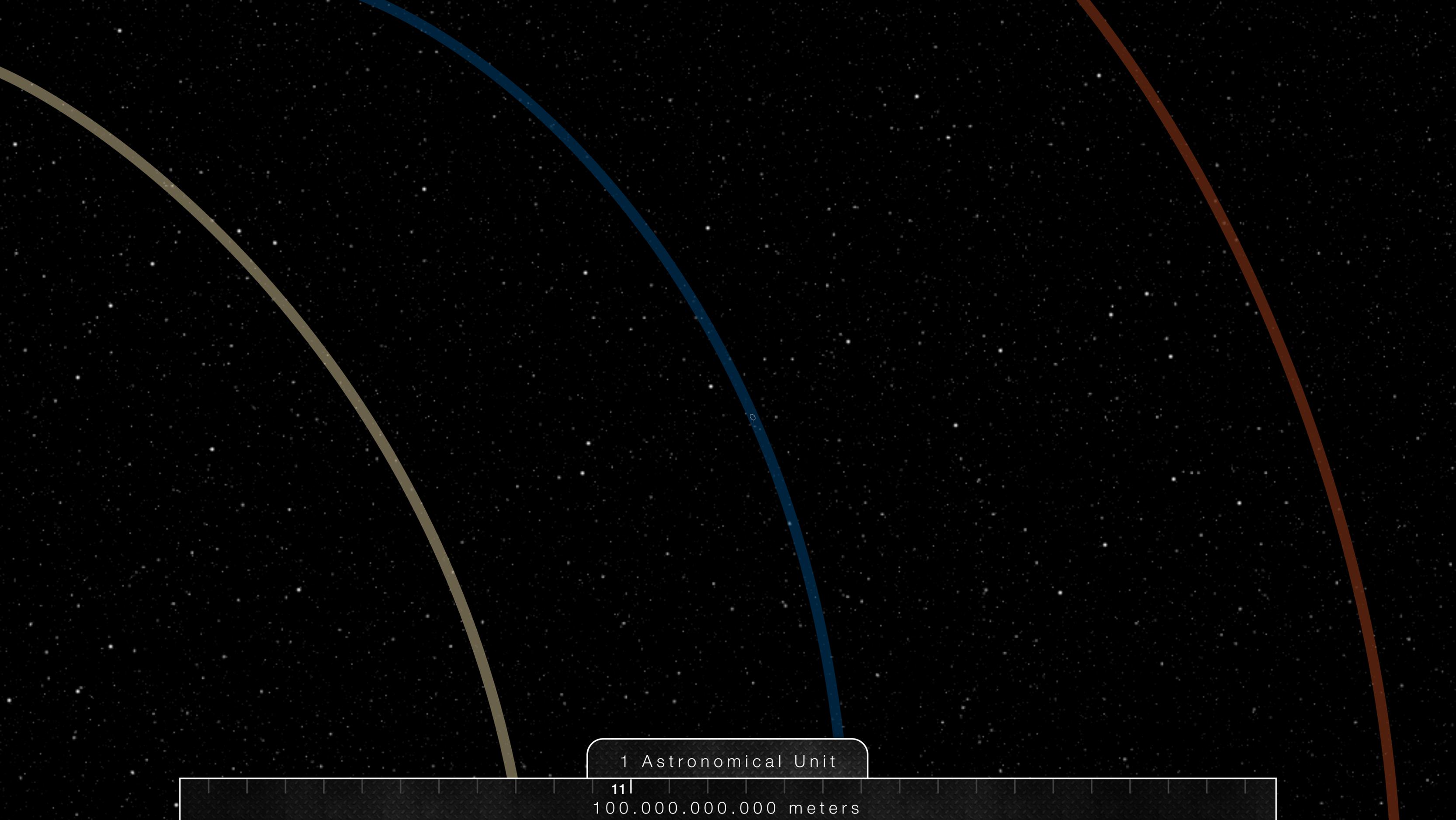


1 light-second

9

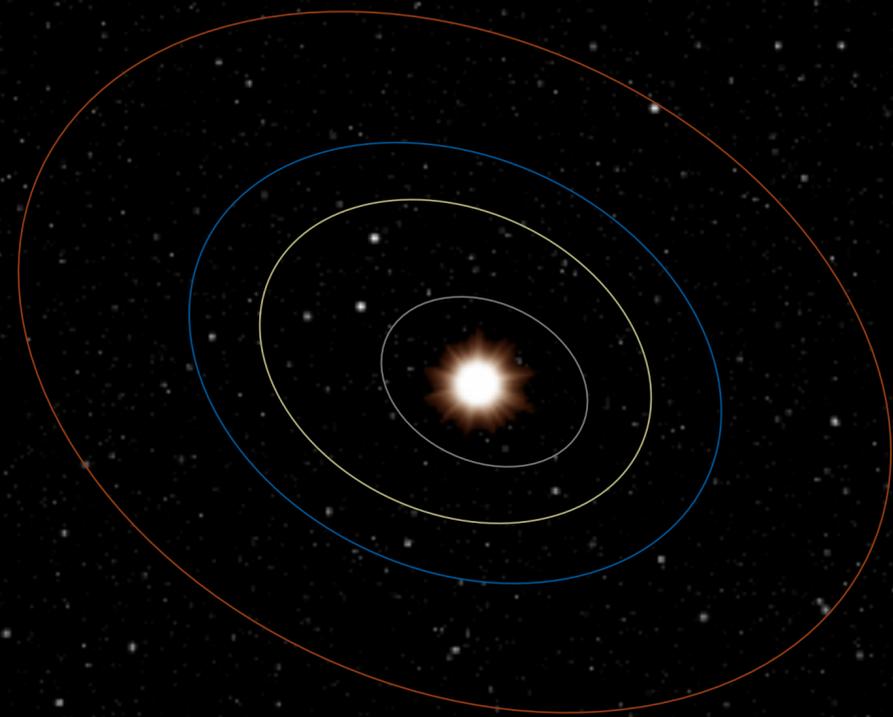
1.000.000.000 meters





1 Astronomical Unit

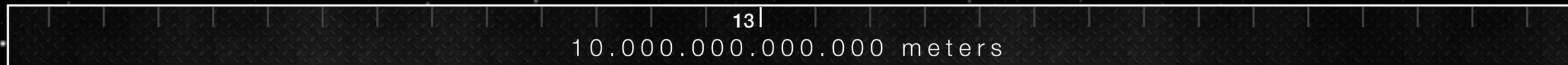
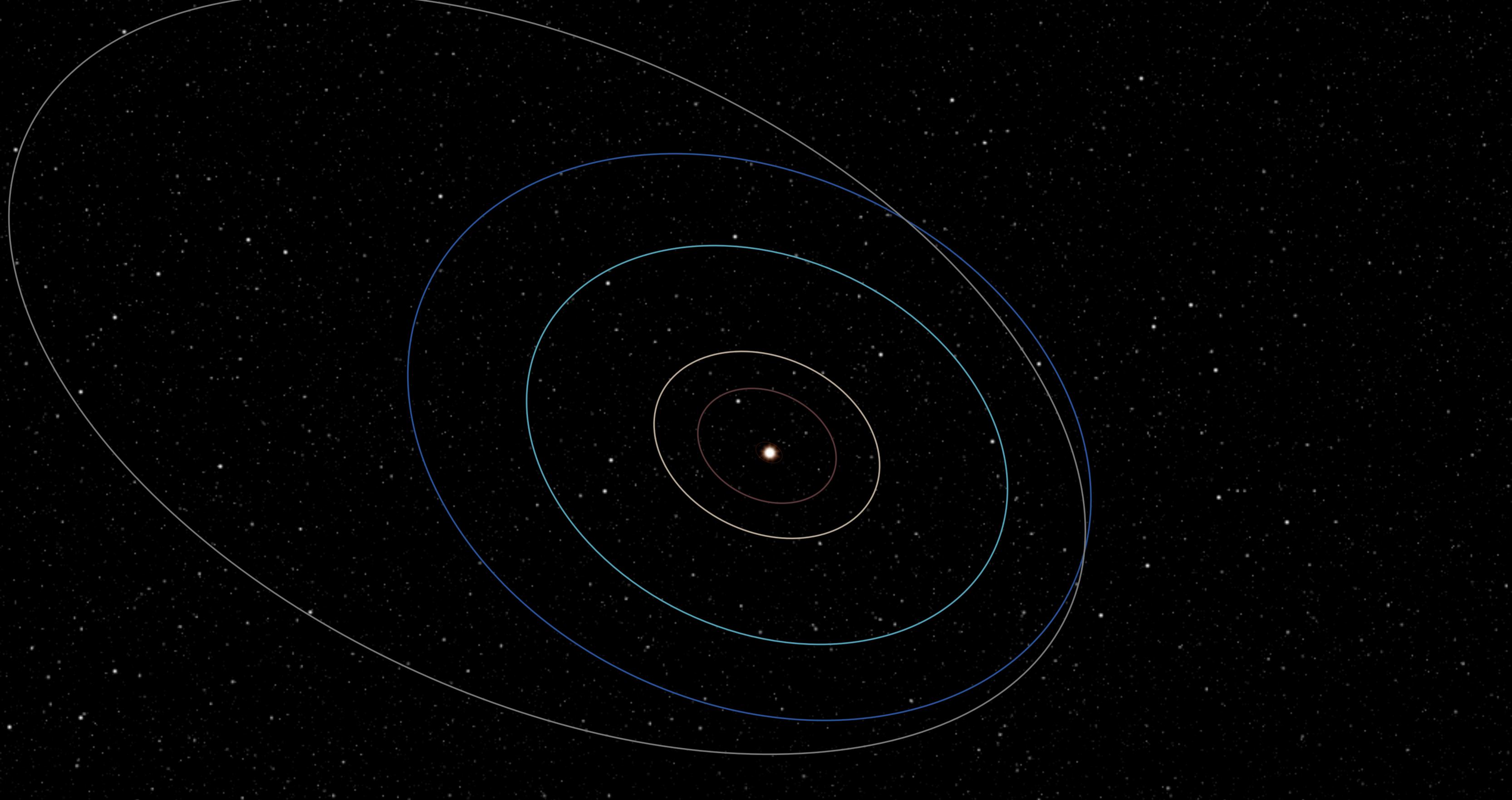
100.000.000.000 meters



1 light-hour

12 |
1.000.000.000.000 meters





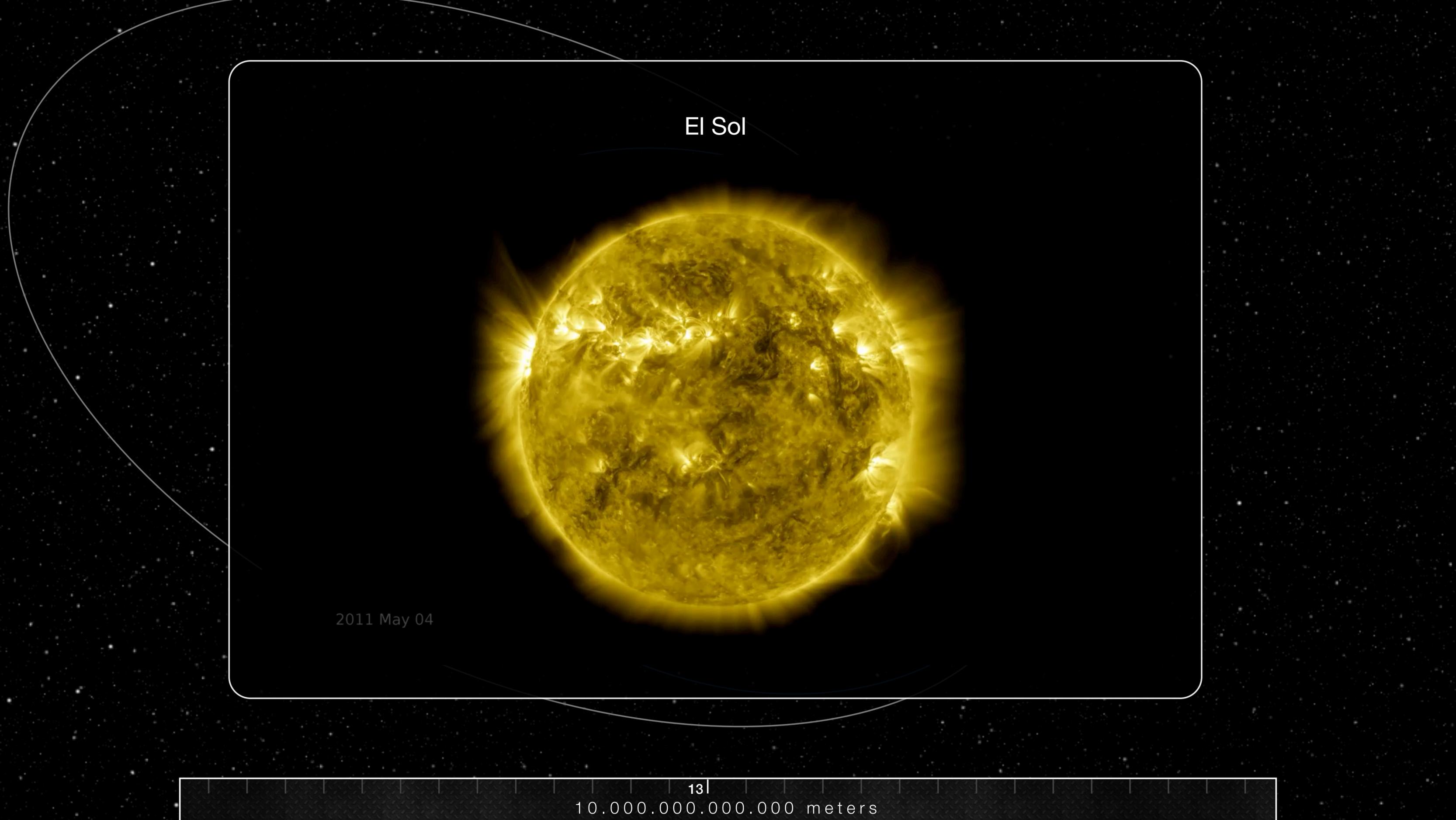
13 |

10.000.000.000.000 meters

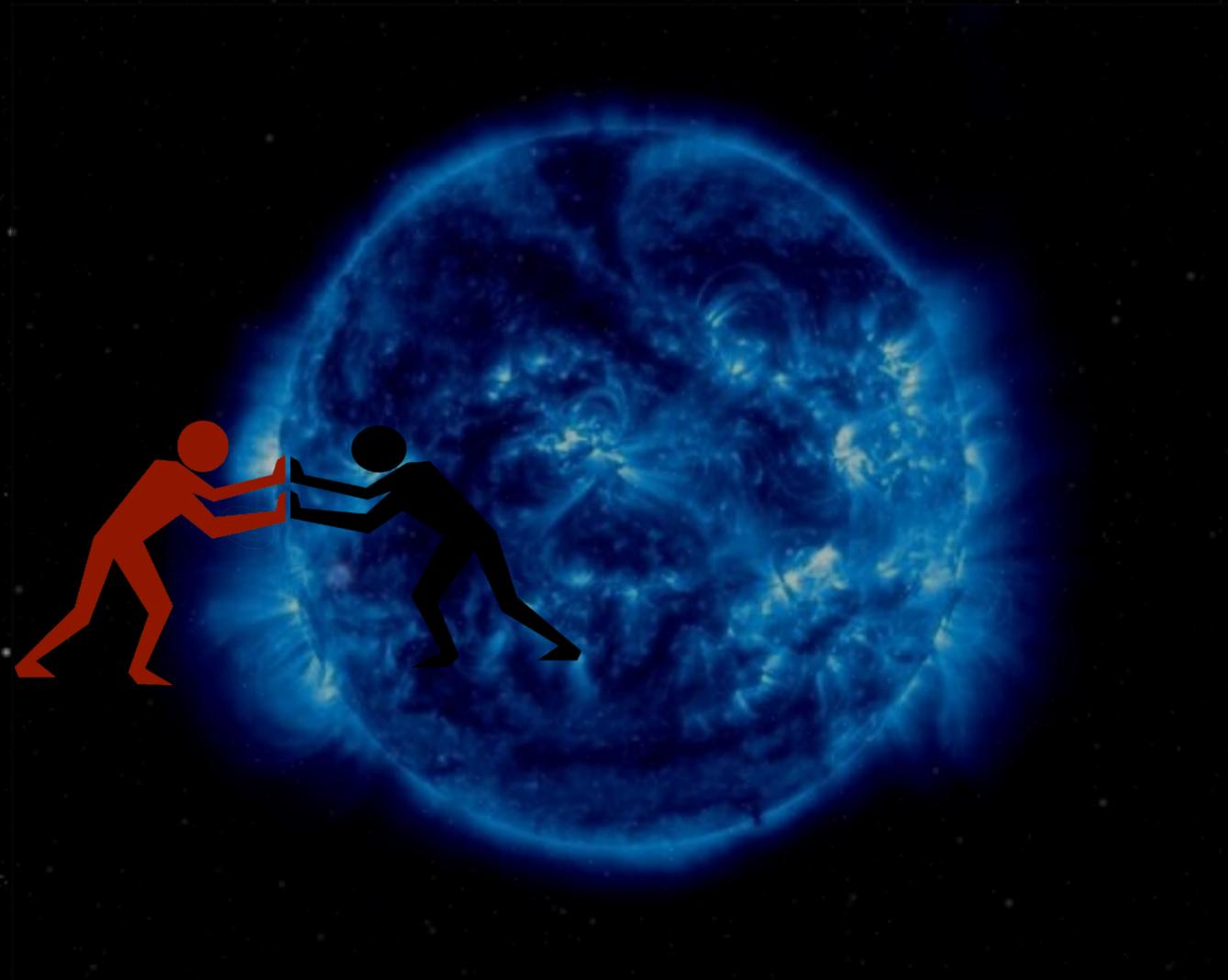
El Sol

2011 May 04

13 | 10.000.000.000.000 meters

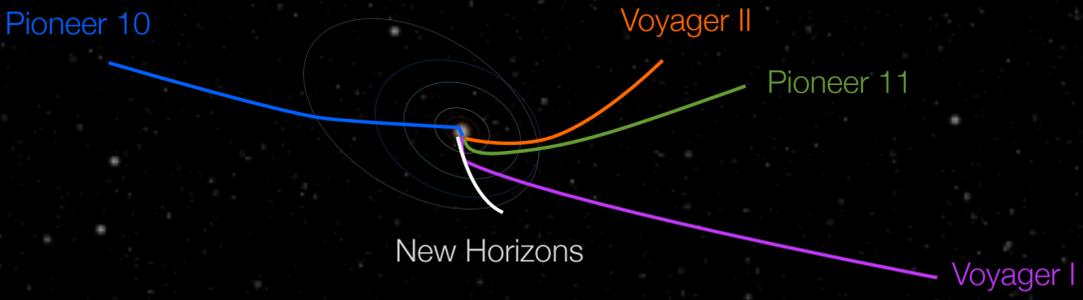


Las estrellas tienen un tamaño dictado por el balance entre la **gravedad** y la **presión** debida a la producción de energía por fusión nuclear



Sondas Espaciales

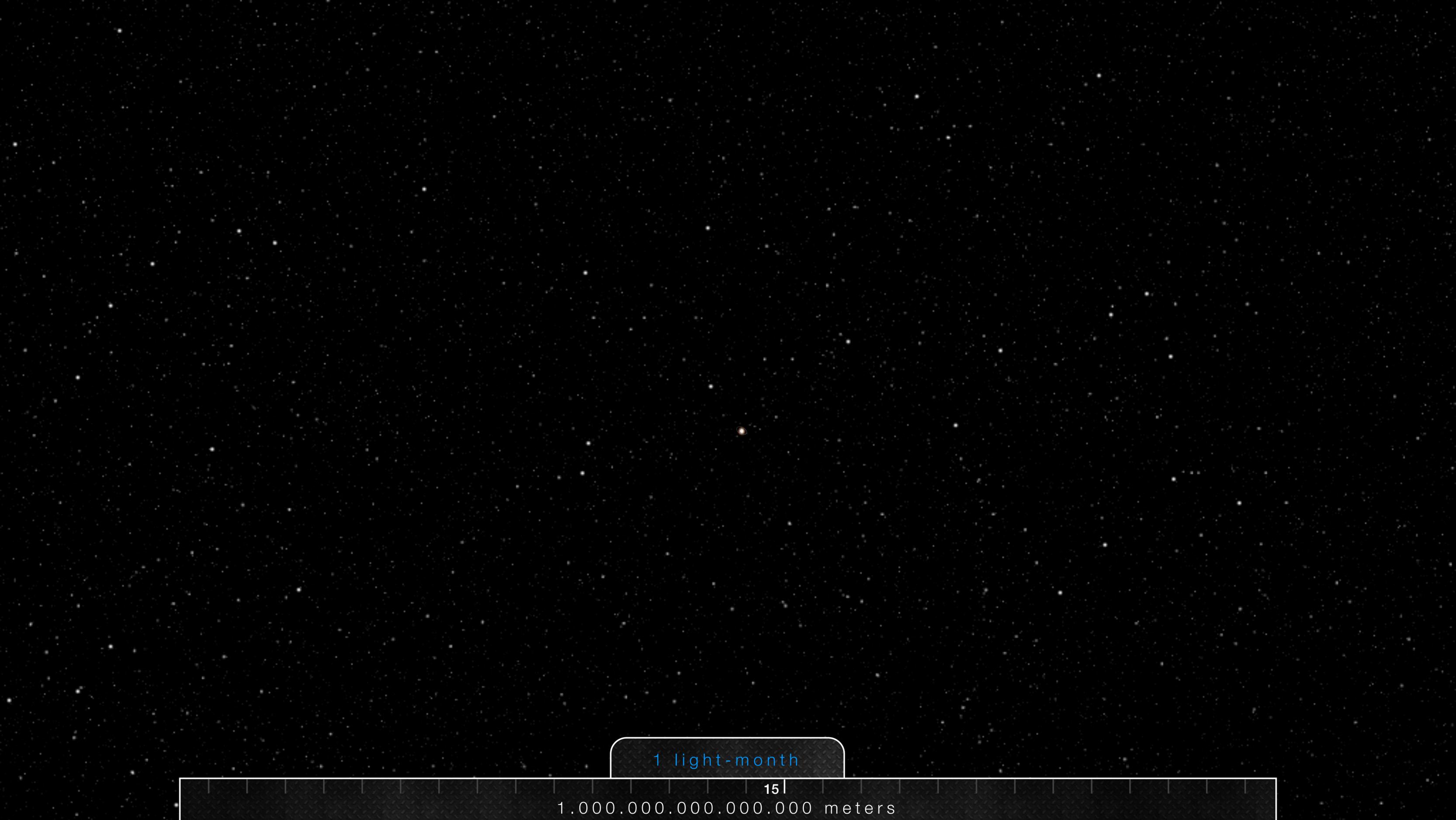
posición actual



3 light-days

100.000.000.000.000 meters

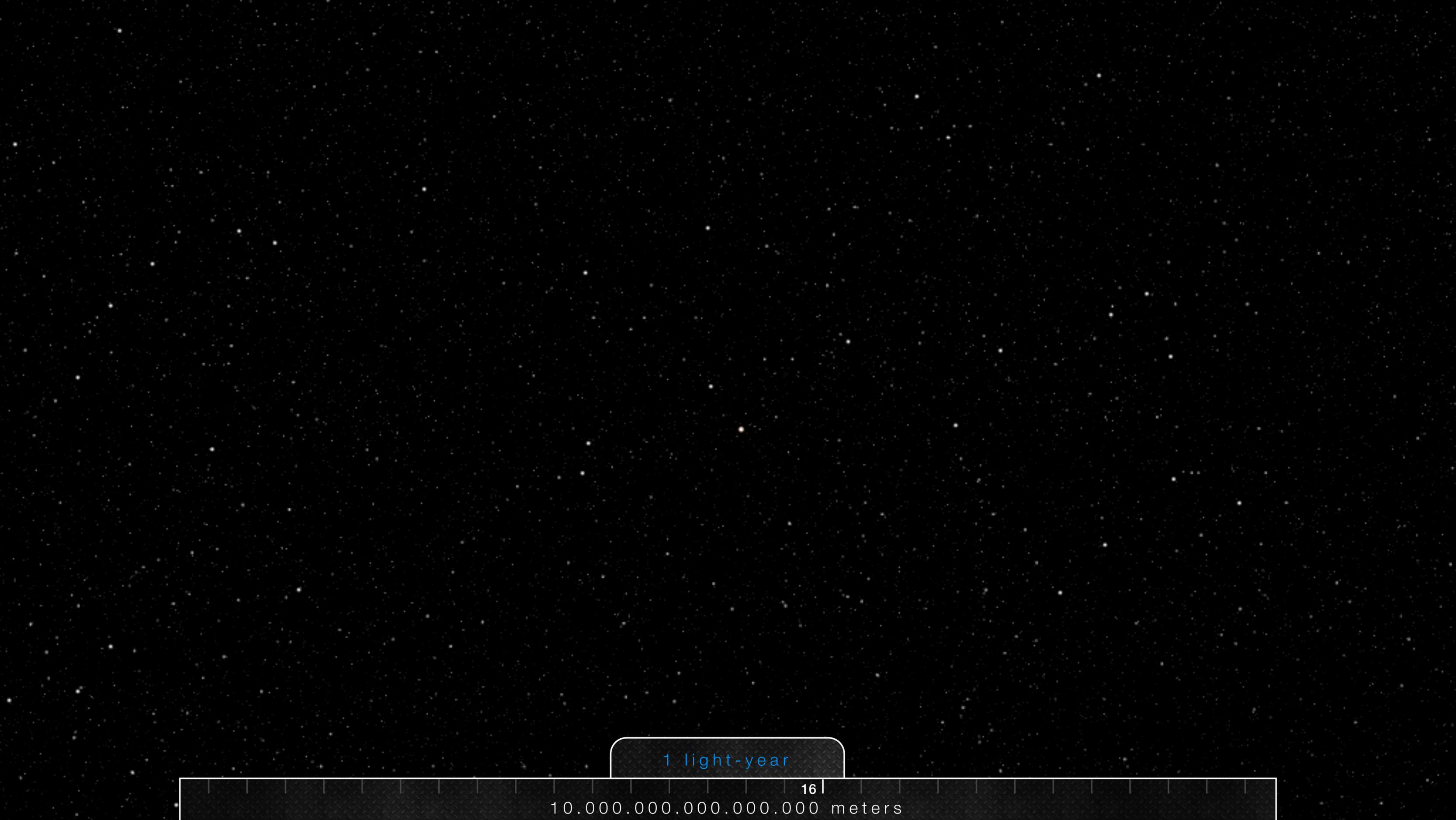
14 |



1 light-month

15

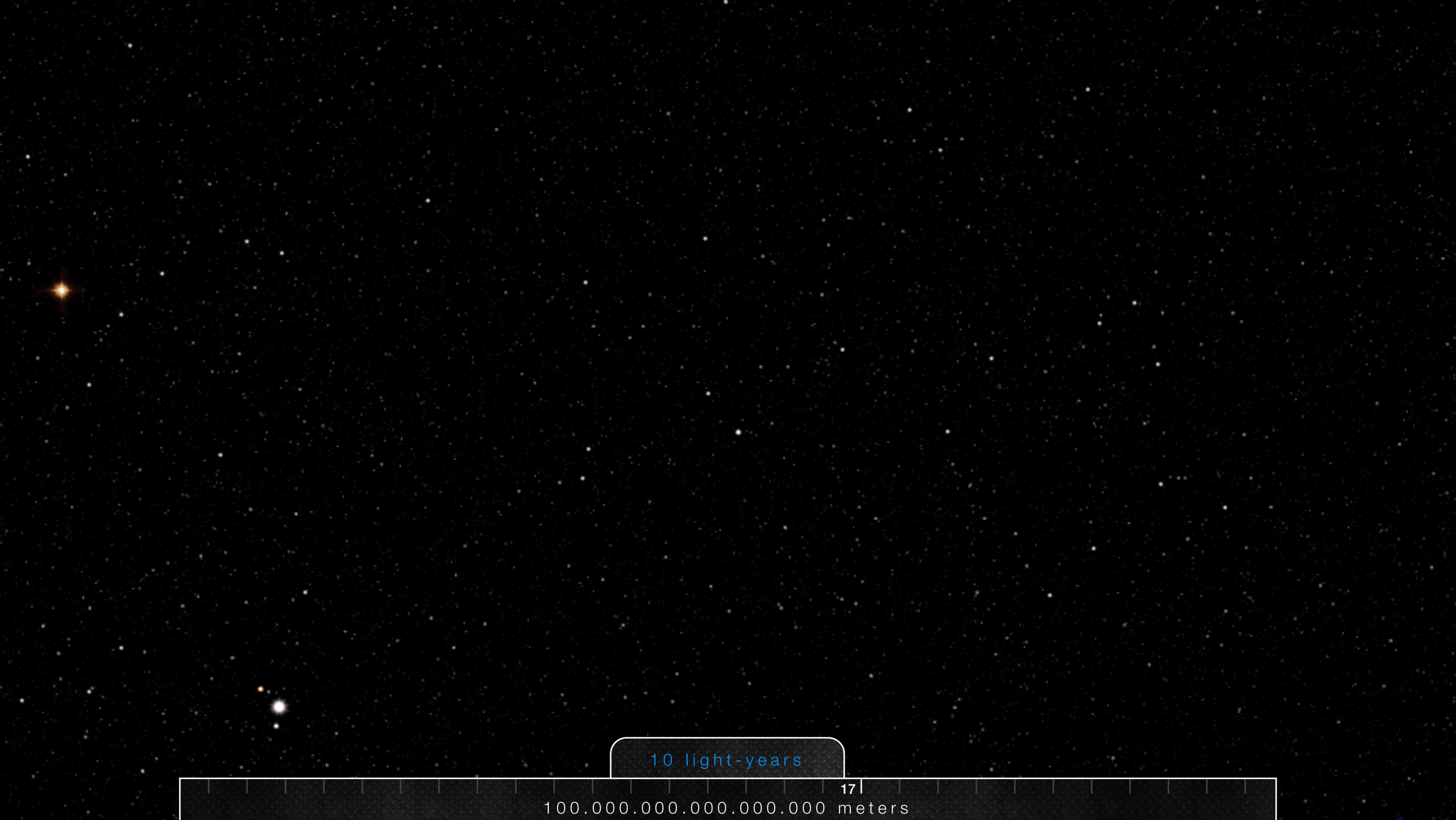
1.000.000.000.000.000 meters



1 light-year

10.000.000.000.000.000 meters

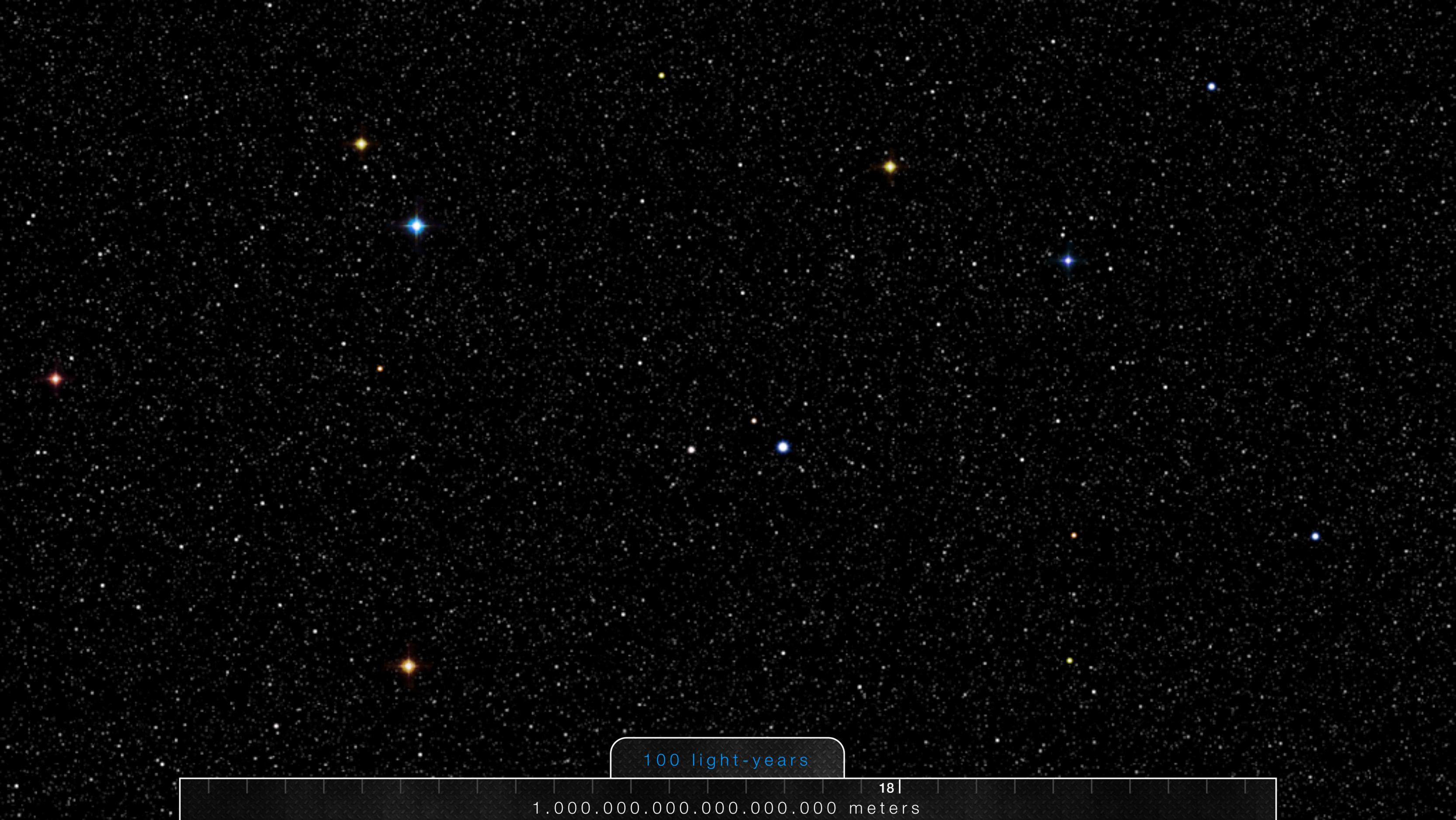
16



10 light-years

171

100.000.000.000.000.000 meters

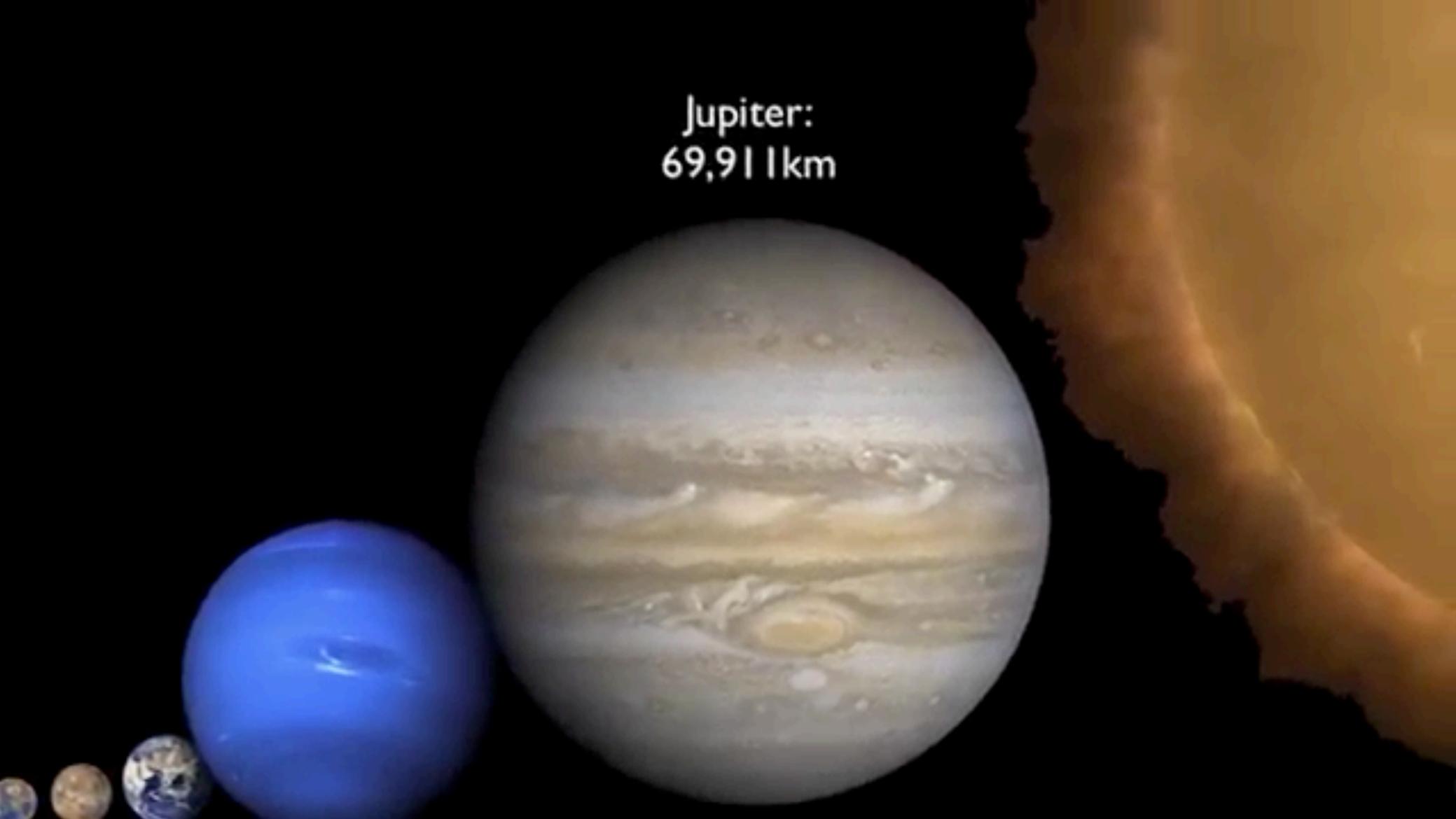


100 light-years

1.000.000.000.000.000.000 meters

18

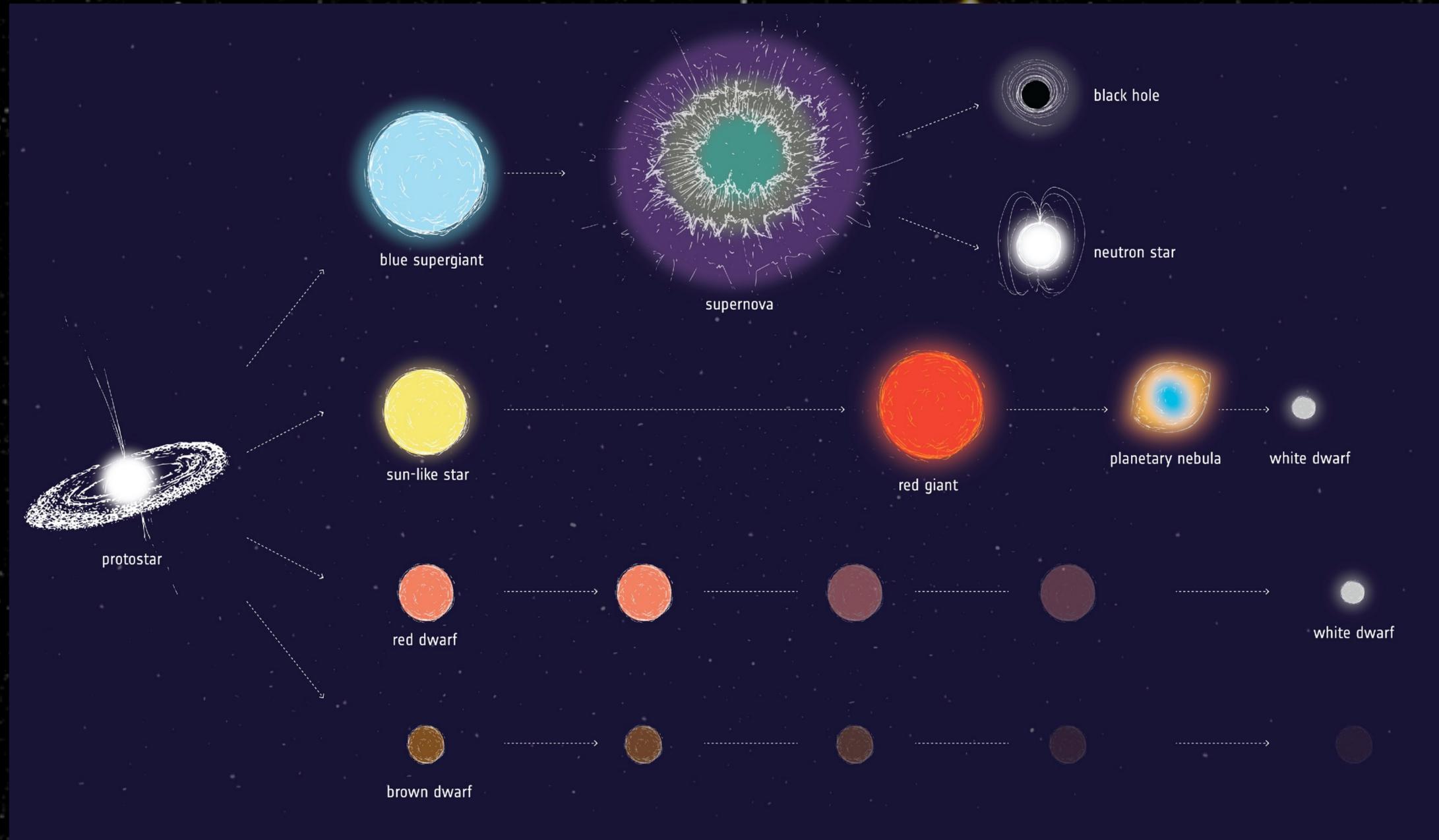
La dimensión de las estrellas



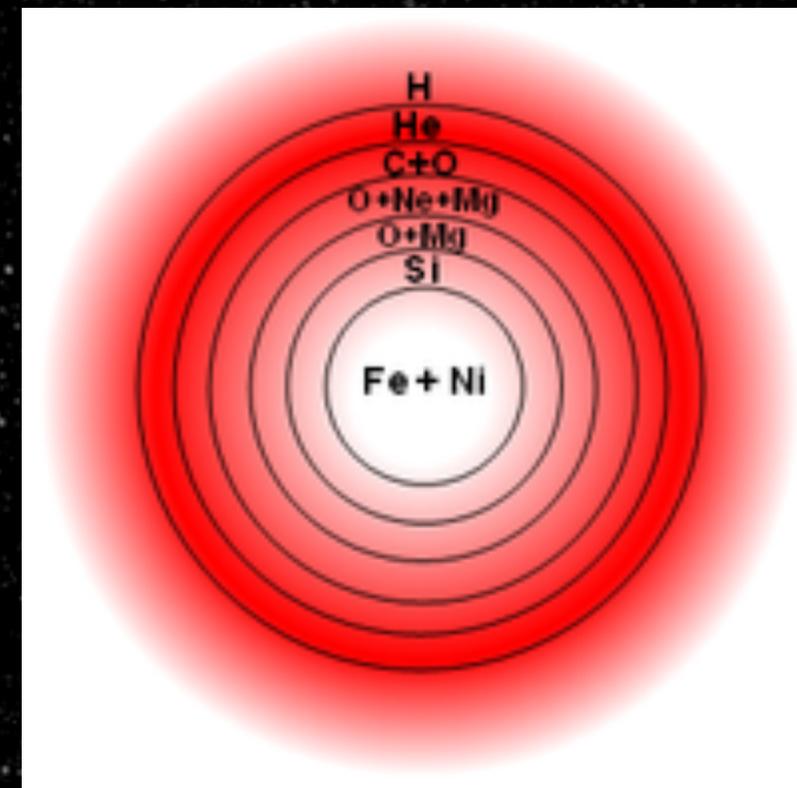
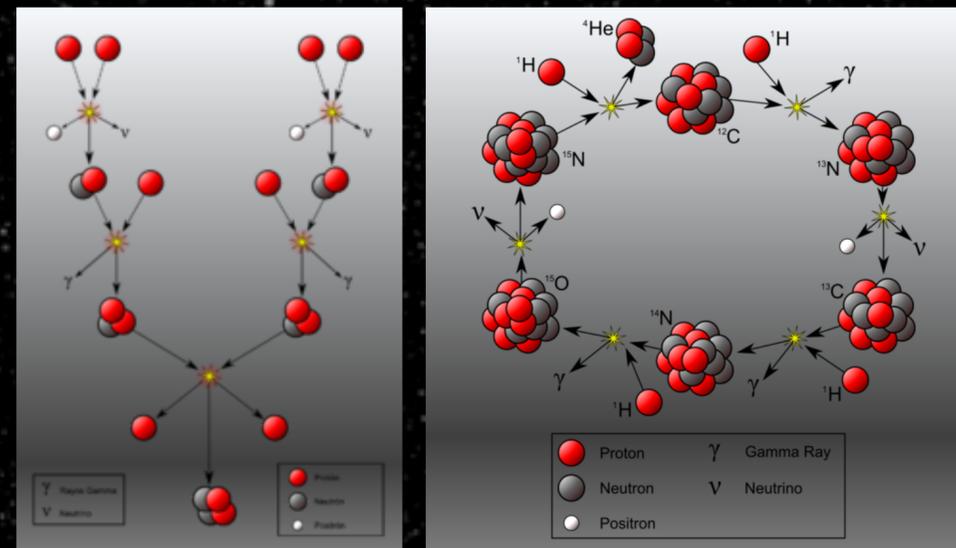
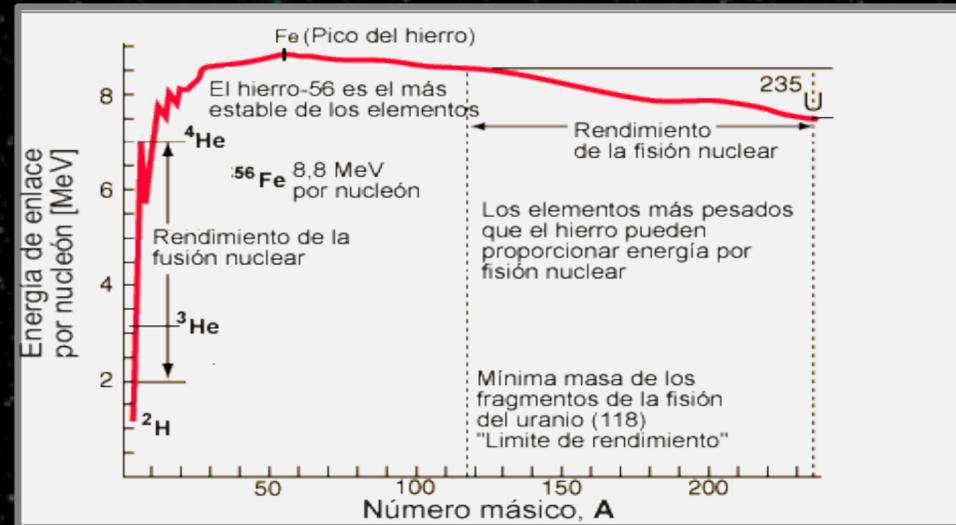
Jupiter:
69,911 km



La evolución de las estrellas



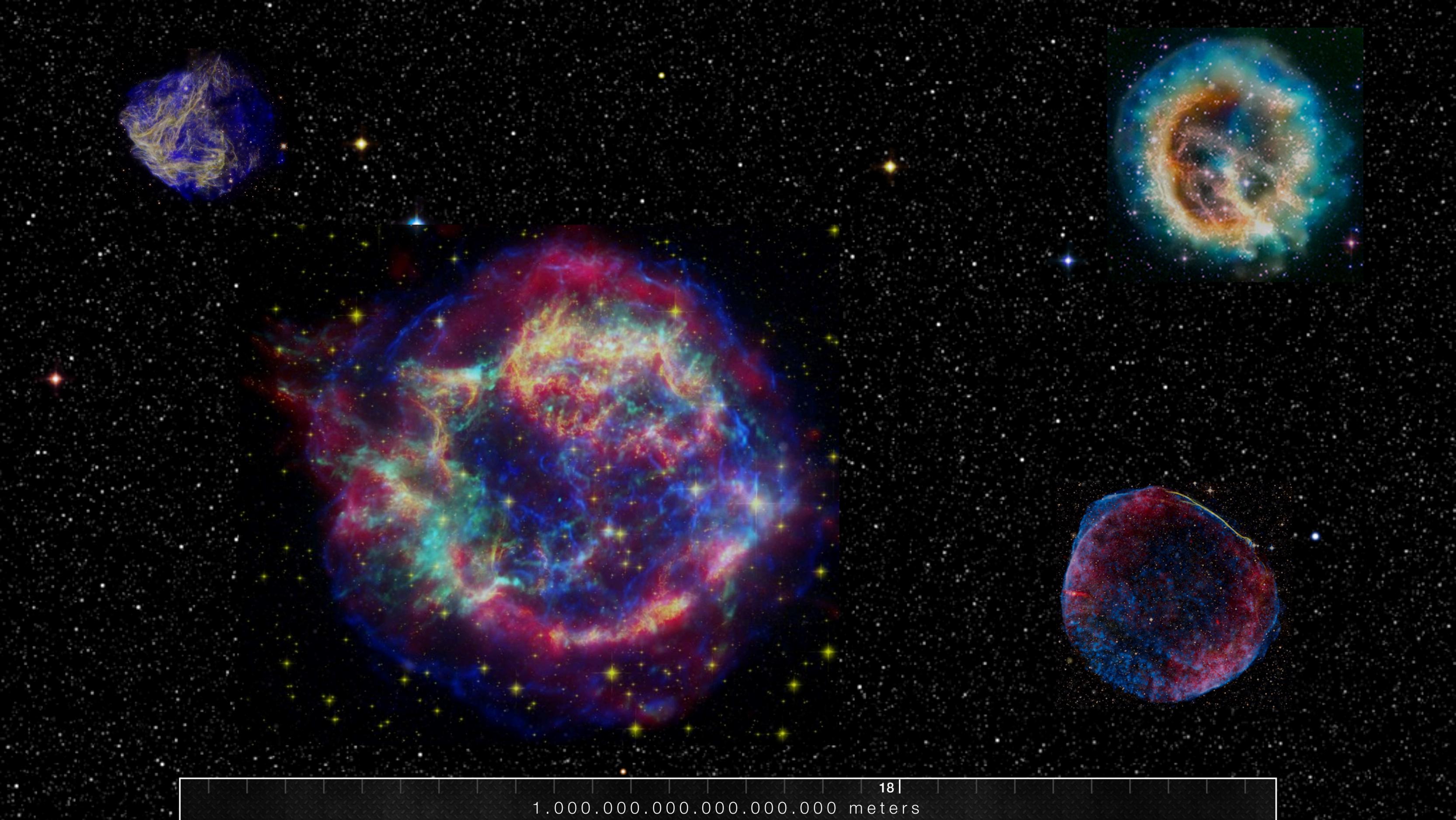
Fusión nuclear en estrellas





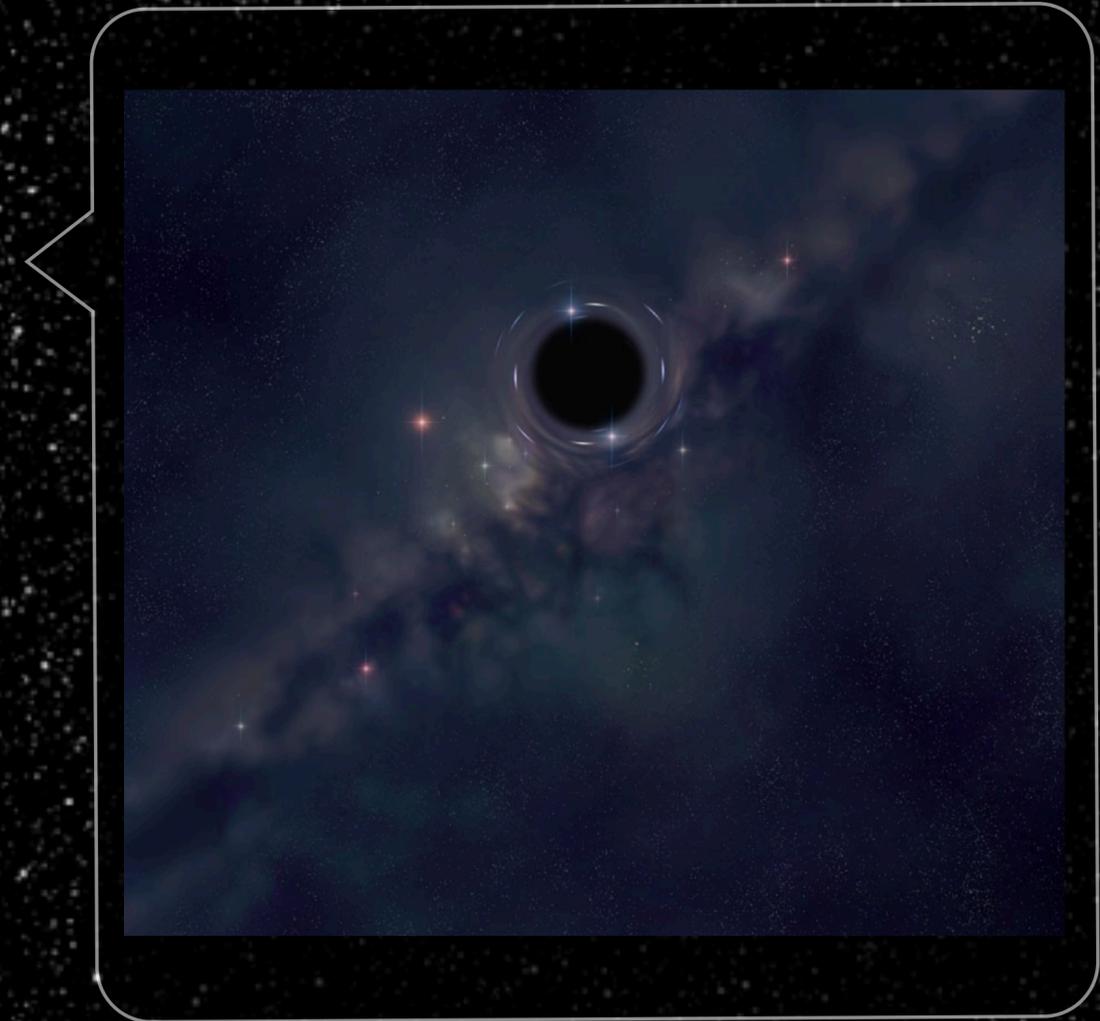
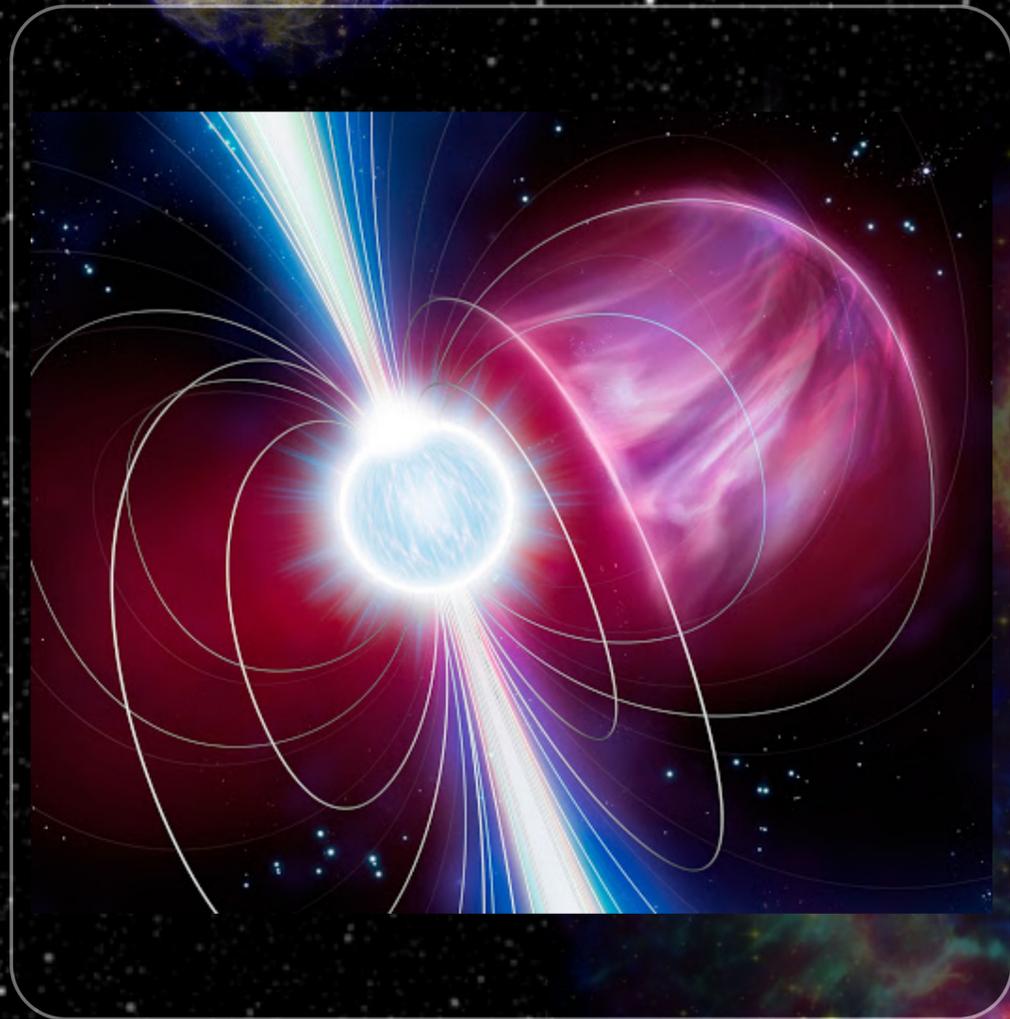
Explosión de Supernova de Tipo II o Ib,c



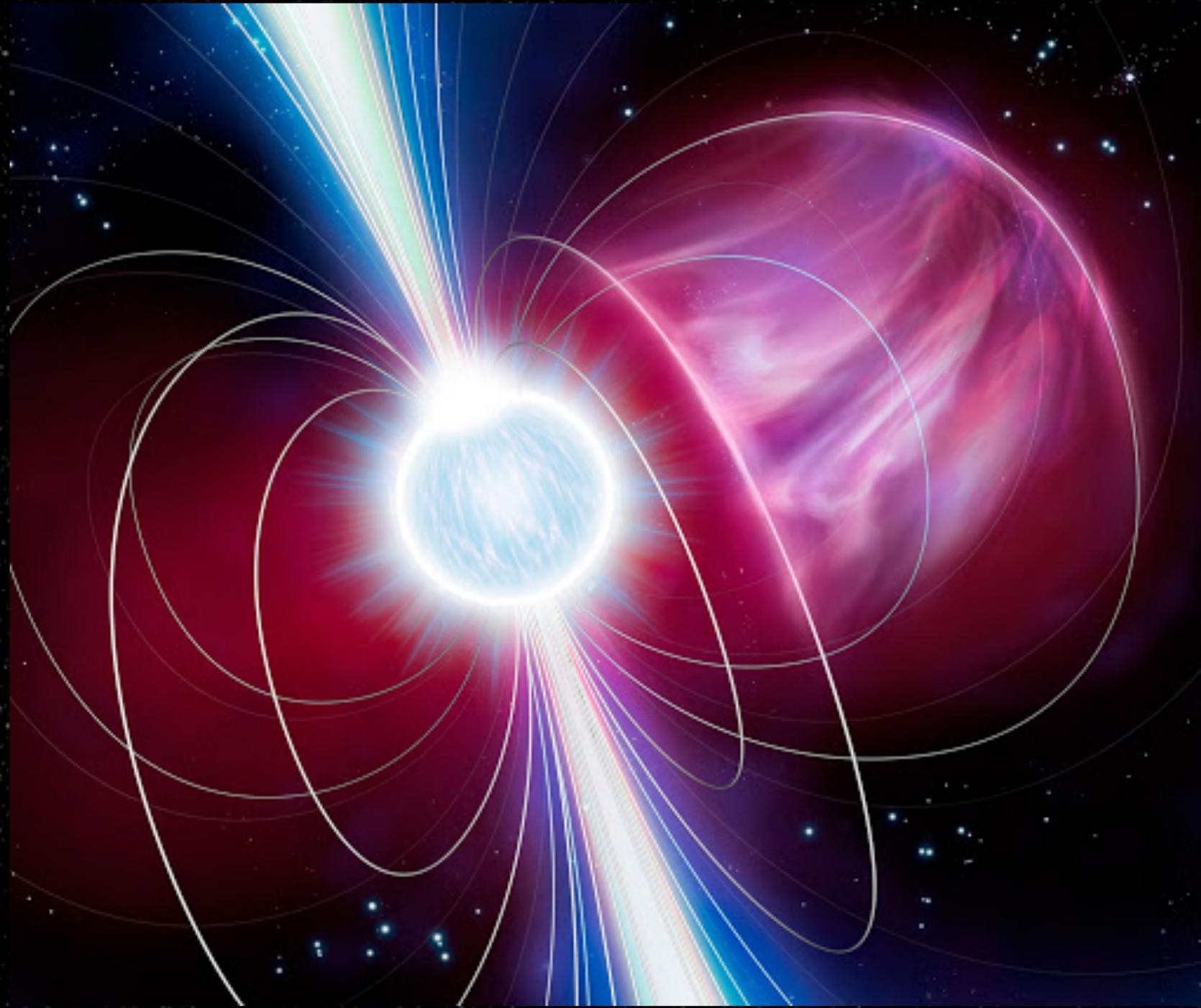


1.000.000.000.000.000.000 meters 18

Púlsares y agujeros negros

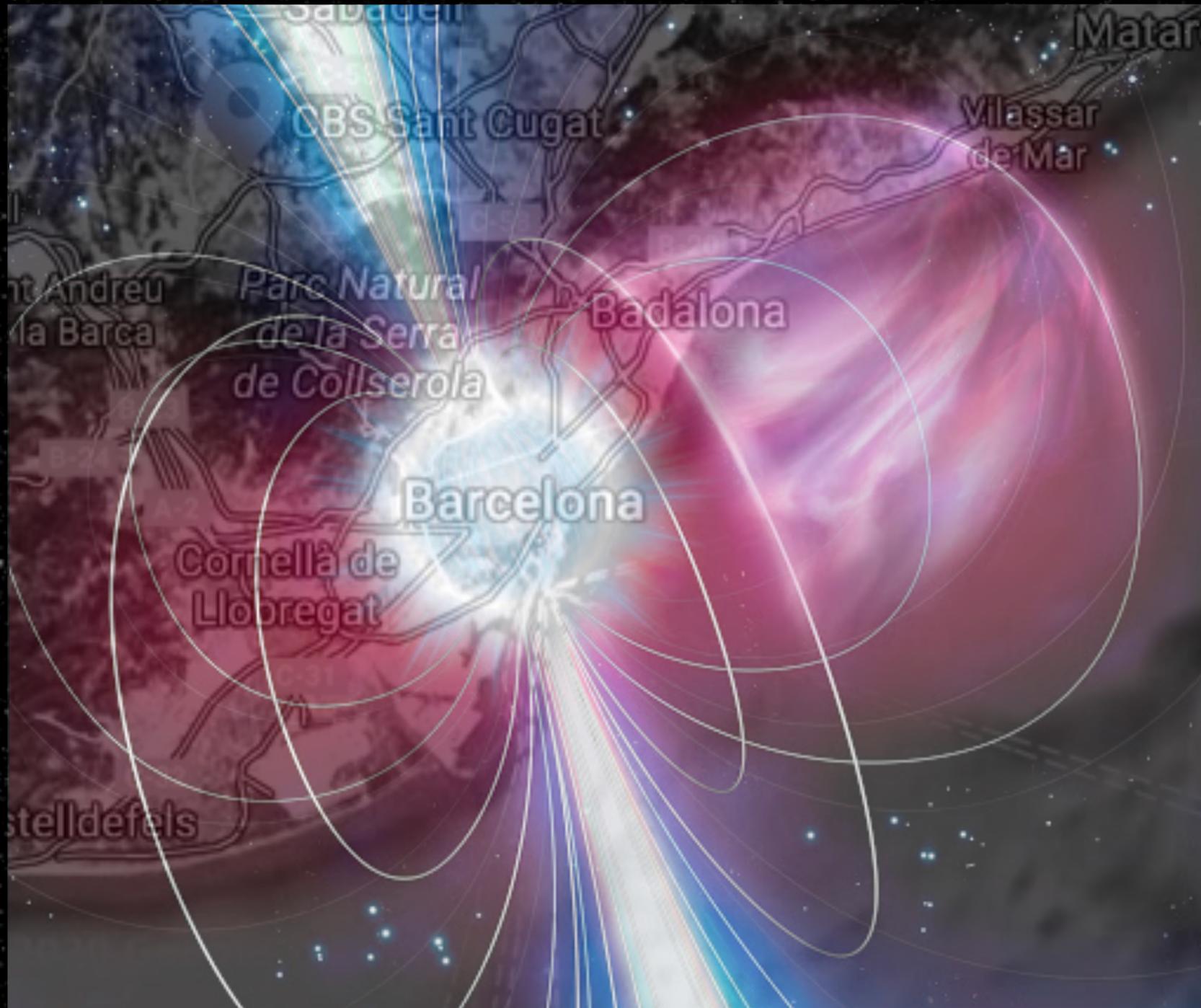


Púlsares



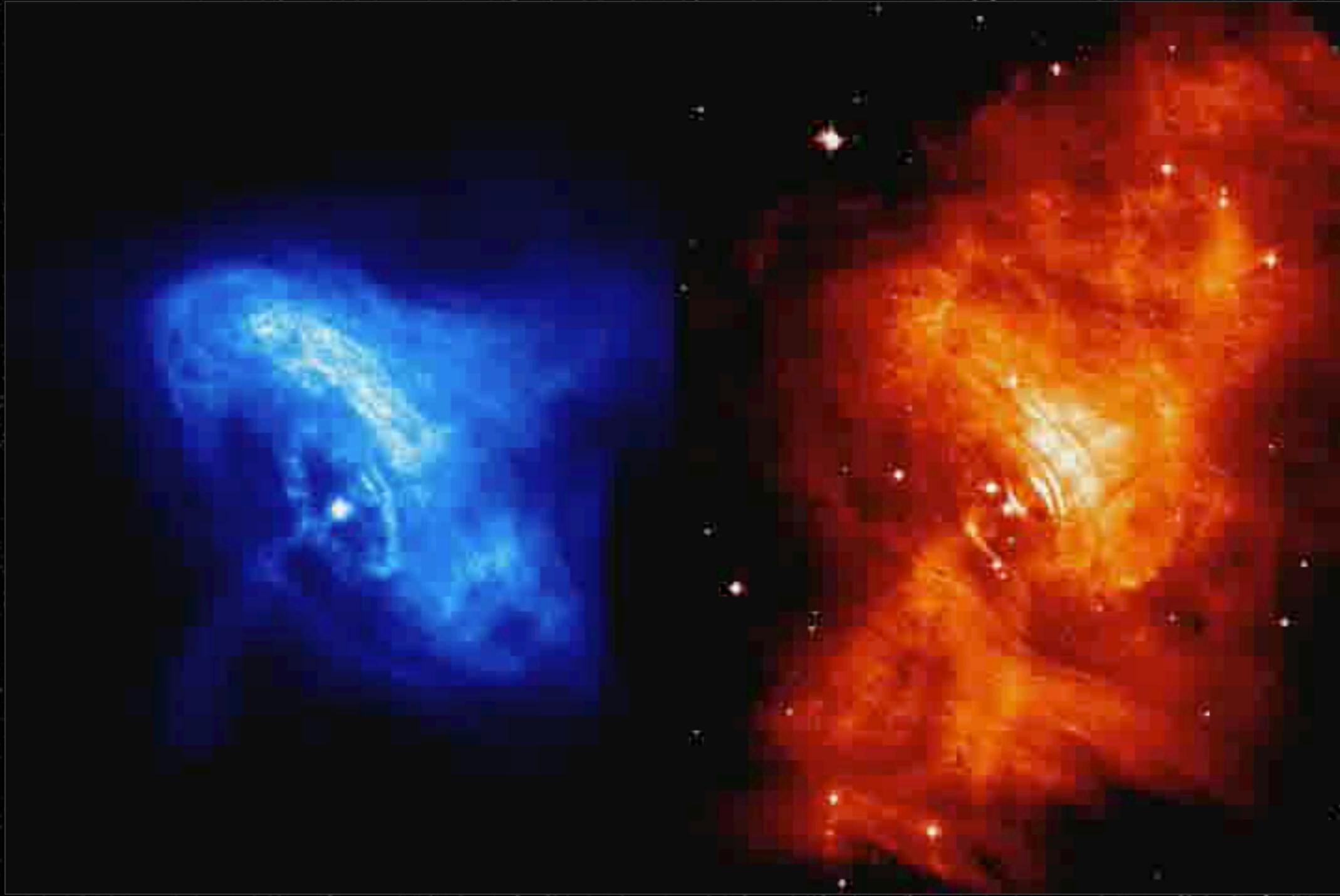
Premio Nobel 1974 a Ryle and Hewish por sus observaciones e invenciones, en particular por la técnica de síntesis de apertura, y Hewish por su papel decisivo en el descubrimiento de los púlsares.

Púlsares



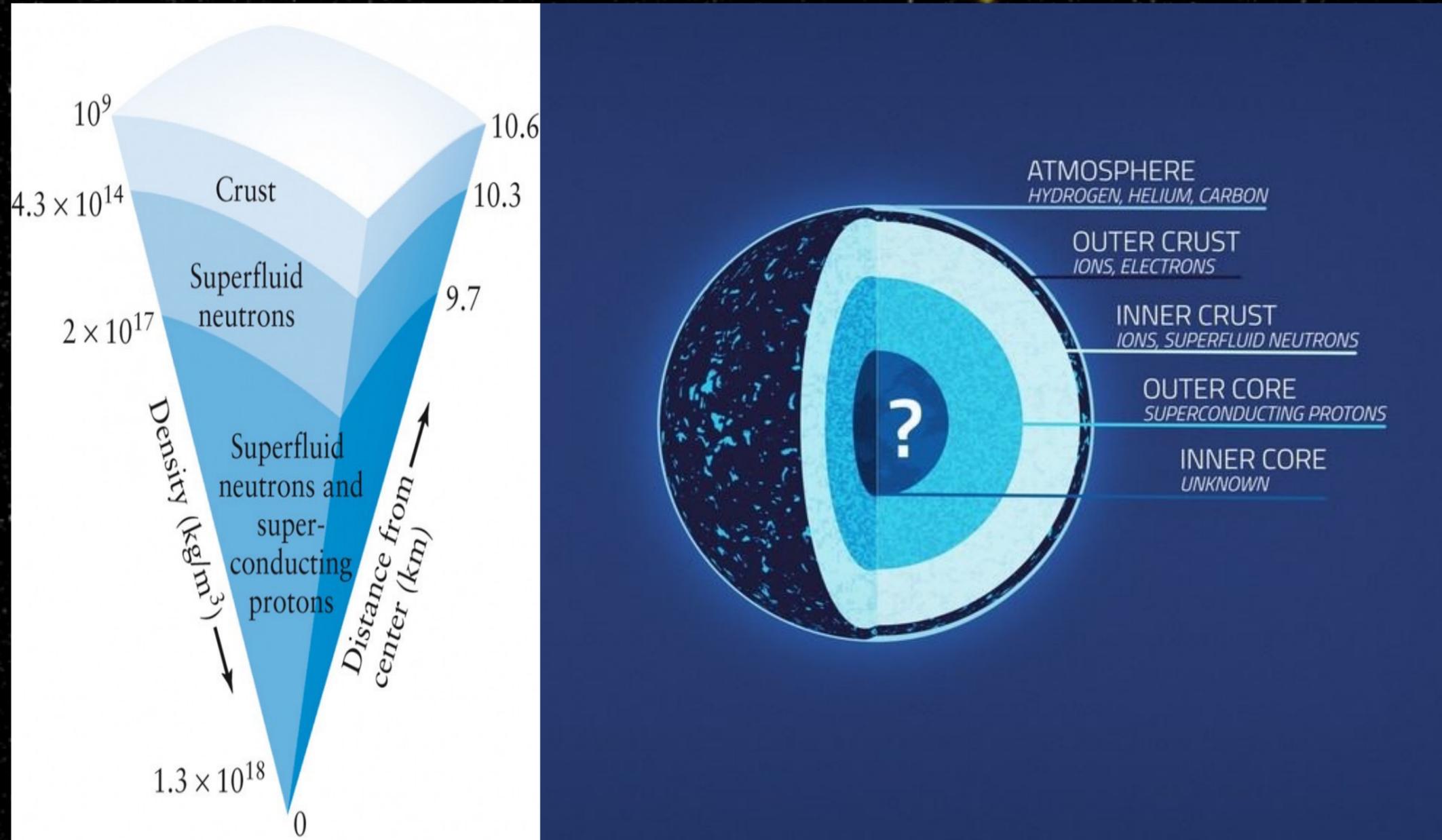
La masa del Sol
en una esfera
de 20km

Chandra X-ray Observatory: banda X

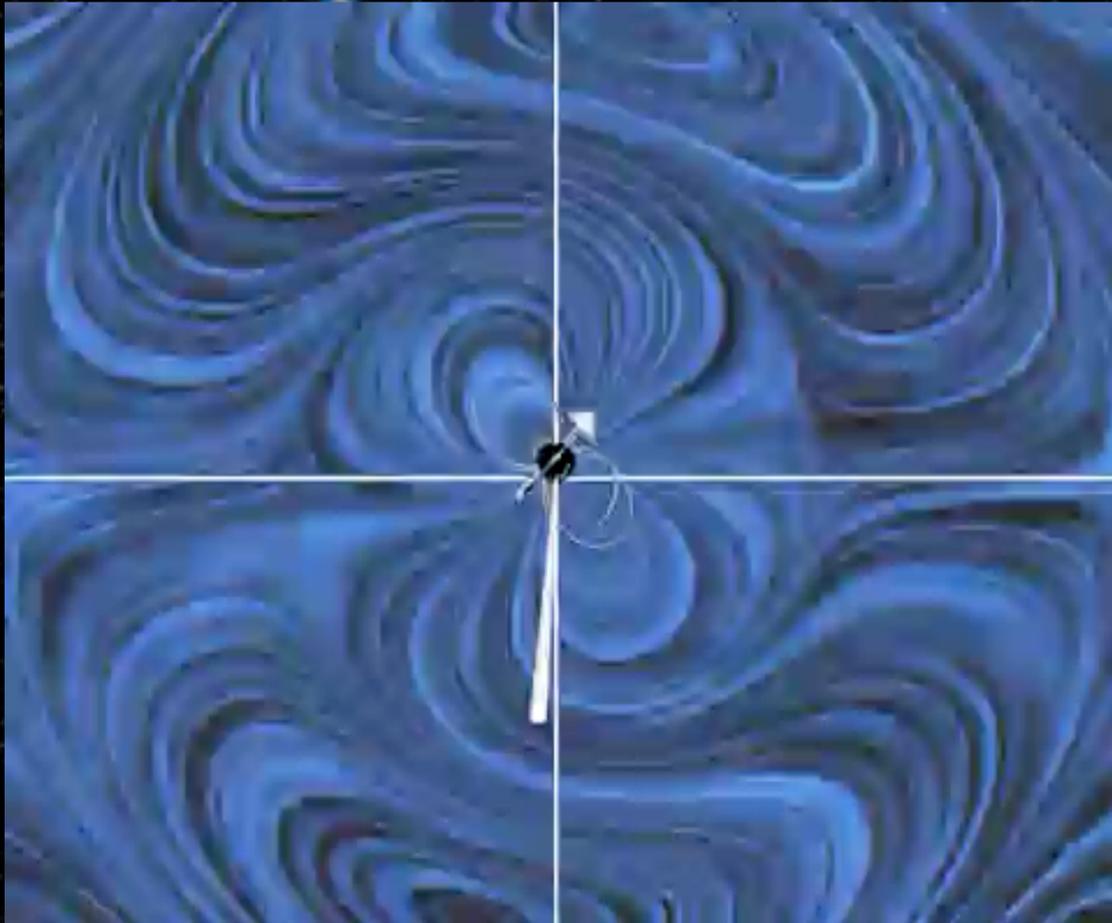


Hubble Space Telescope: banda óptica

Materia tan densa como un núcleo atómico



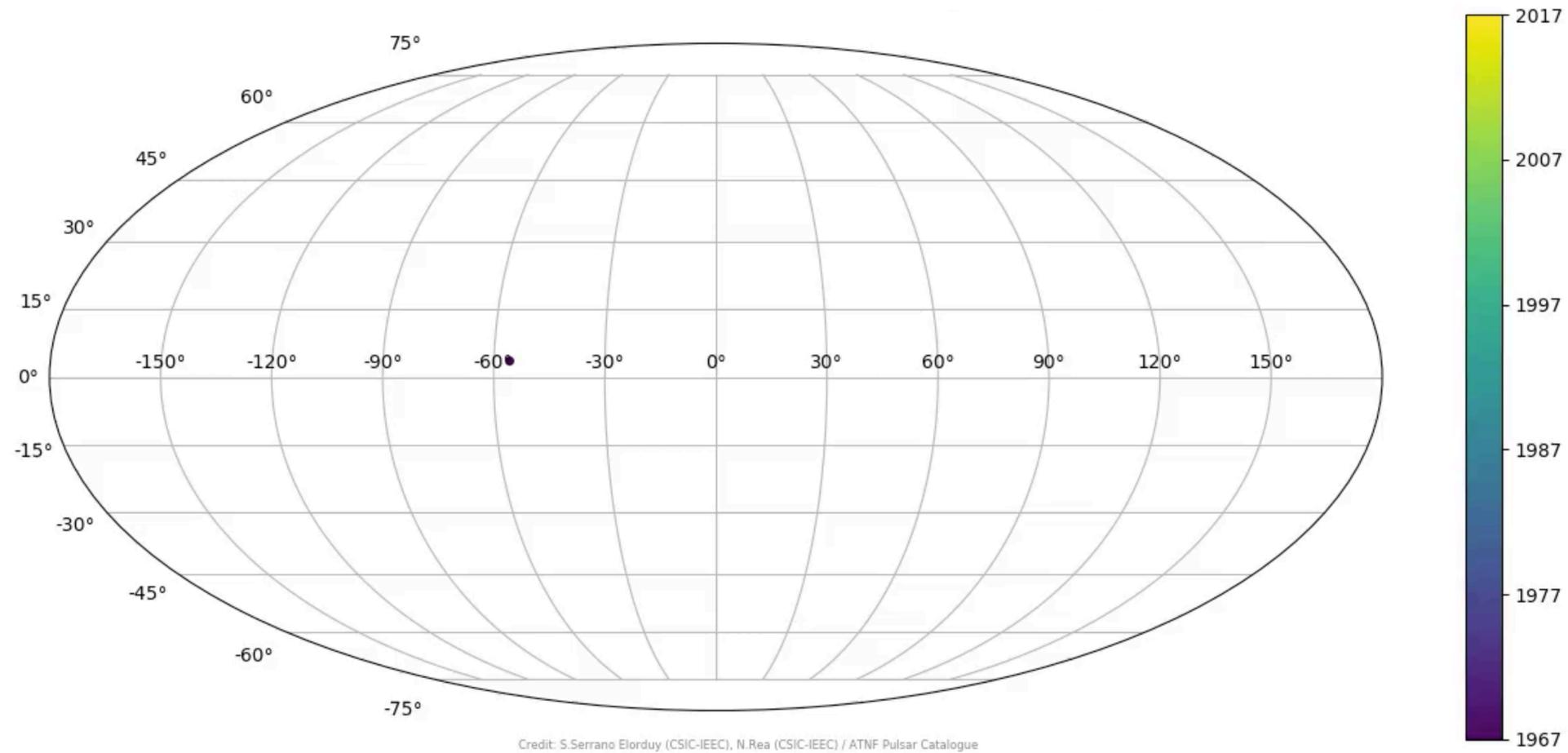
Dipolos magnéticos rotantes



$$\dot{E}_{rot} = I_{ns} \Omega_s \dot{\Omega}_s = -\frac{4\pi^2 I_{ns} \dot{P}_s}{P_s^3}$$
$$P_{dip-rad} = -\frac{2}{3c^3} |\ddot{u}_d|^2 = -\frac{2(B_d R_{ns}^3 \sin(1+\alpha))^2 \left(\frac{4\pi^2}{P_s^2}\right)^2}{3c^3}$$

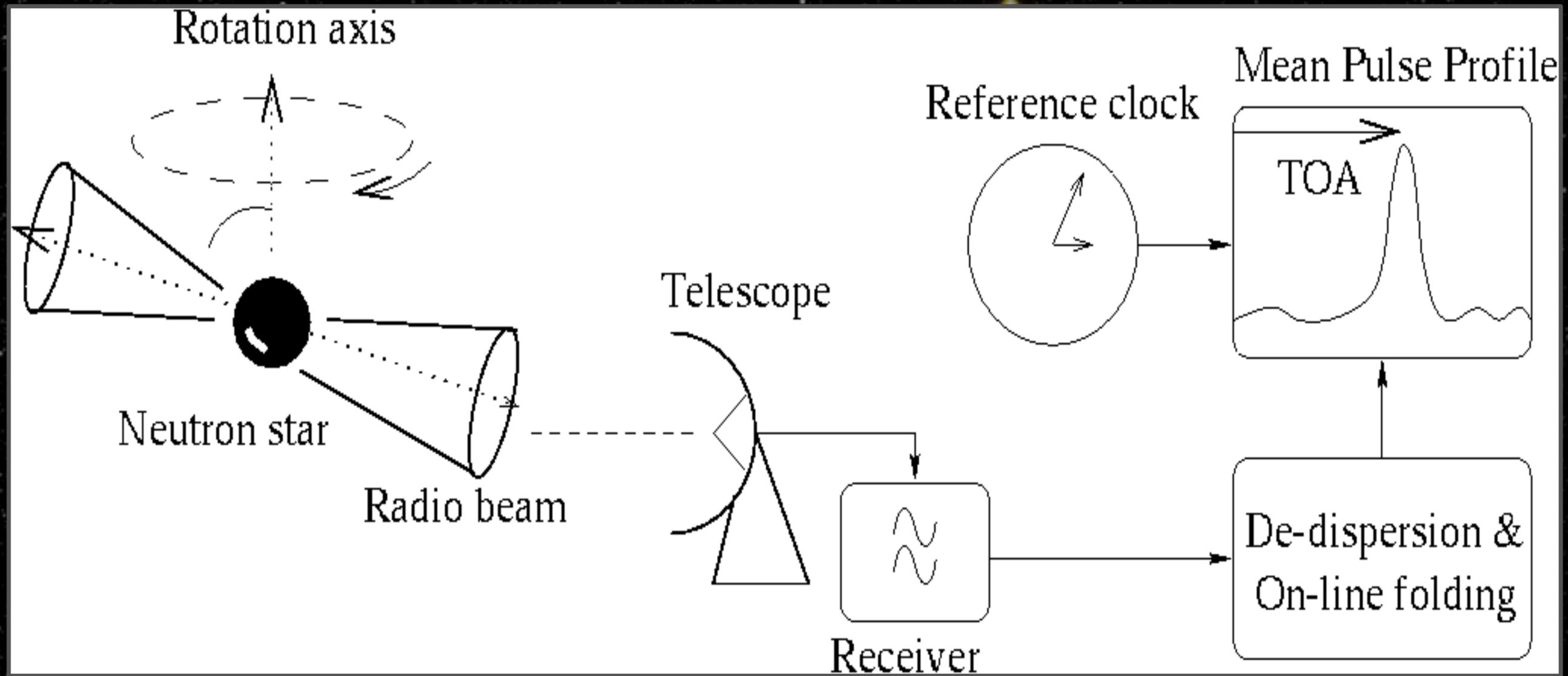


$$B = 3.2 \cdot 10^{19} \sqrt{P \dot{P}} \text{ Gauss.}$$



Credit: S.Serrano Elorduy (CSIC-IEEC), N.Rea (CSIC-IEEC) / ATNF Pulsar Catalogue

1967
1 discovered
PSR J1921+2153



Los púlsares son los relojes más precisos!



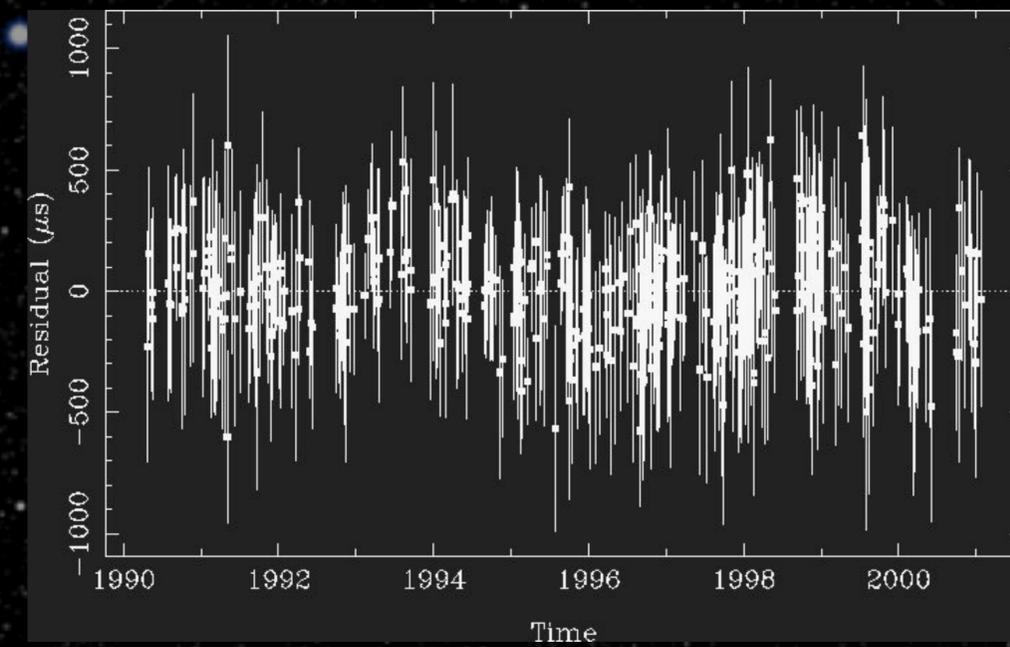
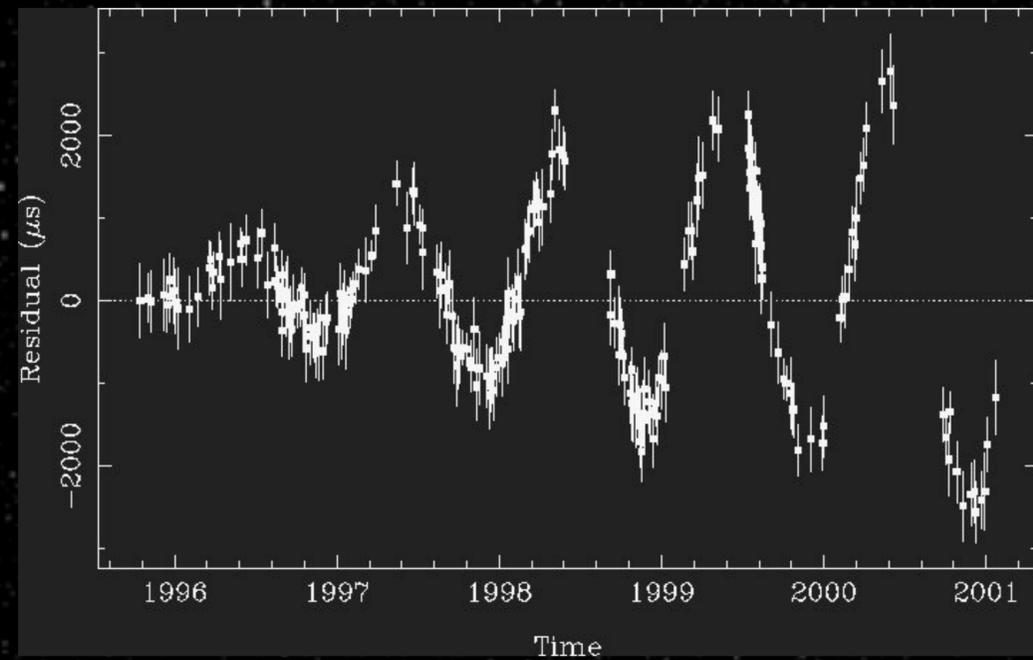
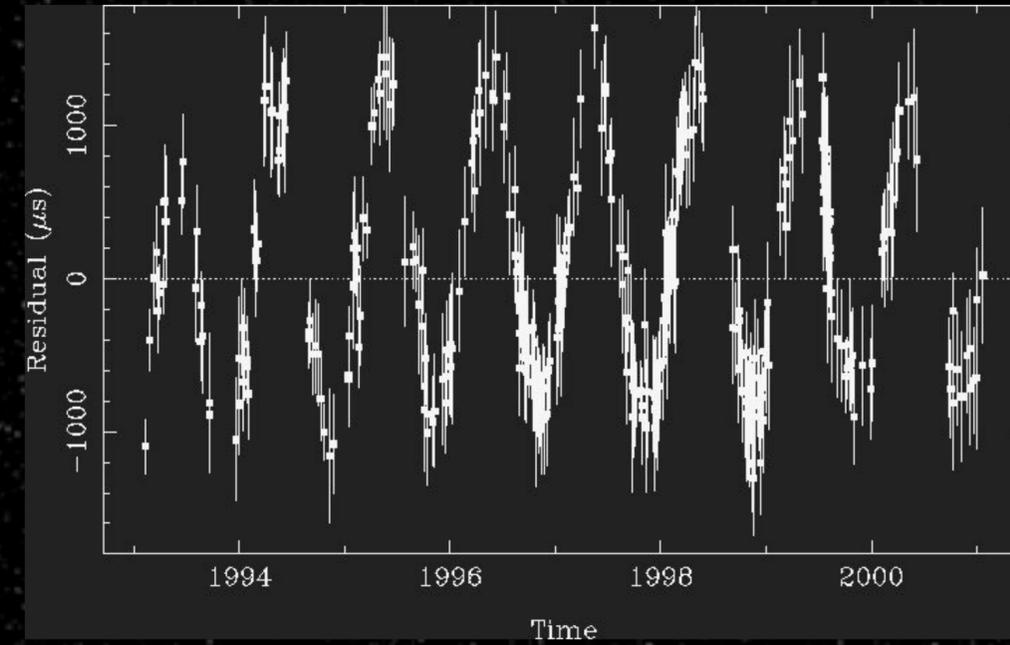
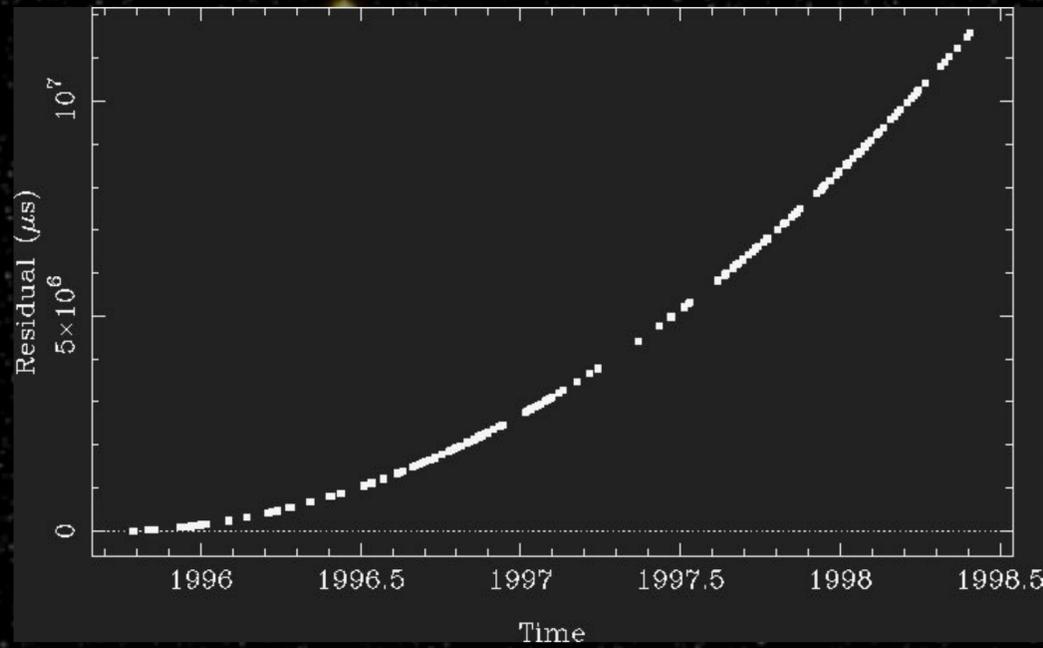
PSR J0437-4715 por ejemplo tiene un periodo de:

0.00575745192436238 ± 0.000000000000000005 s



17 dígitos!

Observando los relojes interestelares



El sonido de los púlsares



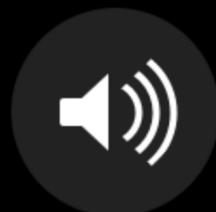
PSR B0833-45 (Vela Pulsar): rotando con un periodo de 89 milisegundos (11 veces por segundo).



PSR B0531+21 (Crab Pulsar): rotando con un periodo de 33 milisegundos (30 veces por segundo).

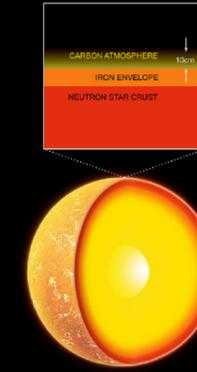


PSR J0437-4715: sistema binario rotando 174 veces por segundo.

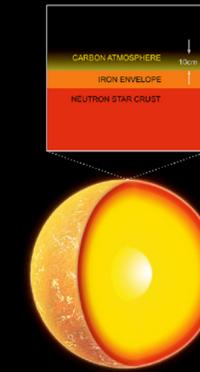


PSR B1937+21 (el púlsar en Fa bemol): rotando con un periodo de 0.00155780644887275 segundos (642 veces por segundo).

1. El cuerpo celeste más denso conocido hasta la fecha:
Tan denso como el núcleo atómico, con una presión central de 1000000000000000000000000000000 veces la de la atmósfera terrestre.

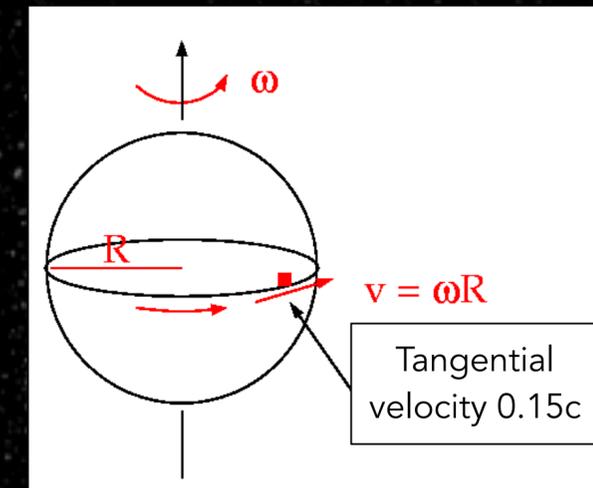


1. El cuerpo celeste más denso conocido hasta la fecha:
 Tan denso como el núcleo atómico, con una presión central de 1000000000000000000000000000000 veces la de la atmósfera terrestre.

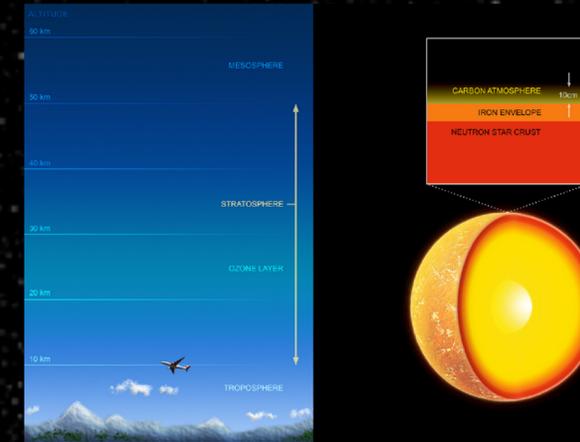


2. El cuerpo celeste con mayor velocidad de rotación conocido en el Universo:

1.3959546744700354+/-0.000000000000000003 ms.

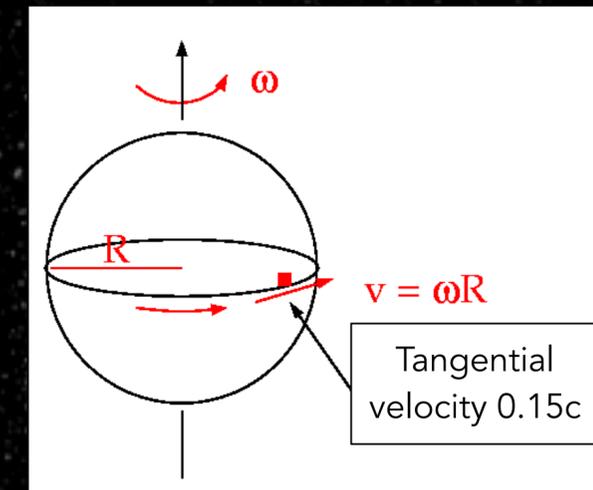


1. El cuerpo celeste más denso conocido hasta la fecha:
 Tan denso como el núcleo atómico, con una presión central de 1000000000000000000000000000000 veces la de la atmósfera terrestre.

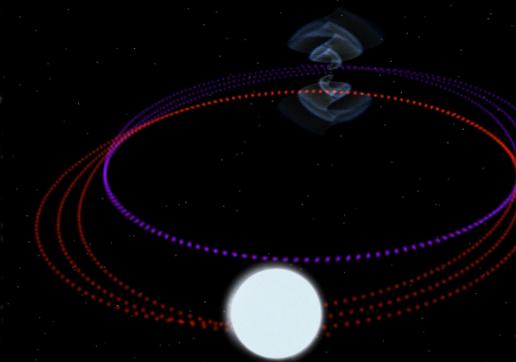


2. El cuerpo celeste con mayor velocidad de rotación conocido en el Universo:

1.3959546744700354+/-0.000000000000000003 ms.



3. El círculo más redondo conocido en el Universo:
 Corresponde a la órbita de un púlsar alrededor de una estrella convencional: La trayectoria del PSR J1909-3744 es circular con una precisión de 5 micras (1/10 del grosor de un cabello humano).



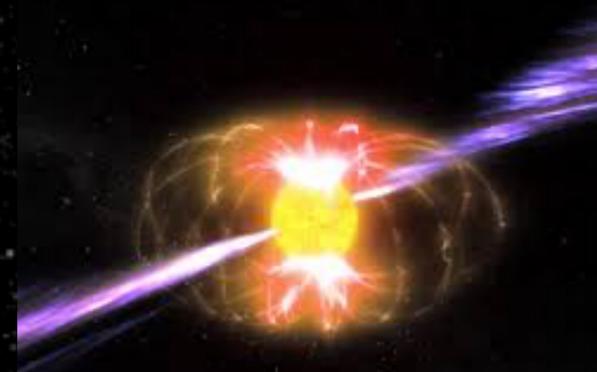
4. El reloj más estable del Universo: La señal de un púlsar es más precisa y estable que cualquier reloj atómico y cuántico construido.



4. **El reloj más estable del Universo:** La señal de un púlsar es más precisa y estable que cualquier reloj atómico y cuántico construido.



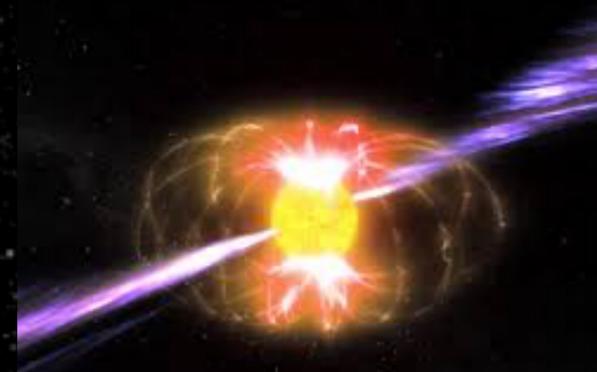
5. **Los objetos más magnéticos del Universo:** El magnetar SGR 1806-20 tiene un campo magnético 100.000.000 veces más intenso que el campo B más potente producido en la tierra.



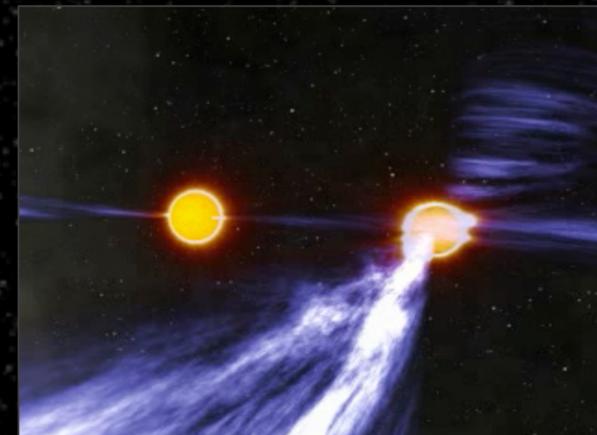
4. **El reloj más estable del Universo:** La señal de un púlsar es más precisa y estable que cualquier reloj atómico y cuántico construido.



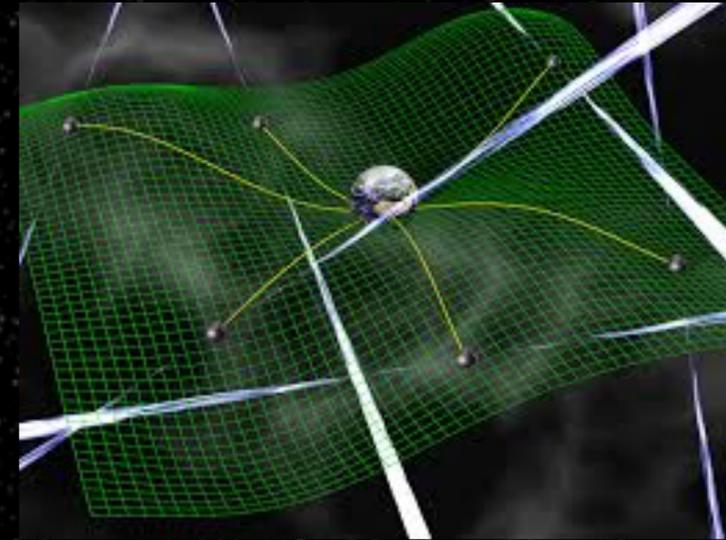
5. **Los objetos más magnéticos del Universo:** El magnetar SGR 1806-20 tiene un campo magnético 100.000.000 veces más intenso que el campo B más potente producido en la tierra.



6. **Los test de relatividad general más precisos:** Un sistema binario de púlsares sostiene el record Guinness de haber verificado la relatividad general a un 0.05% de nivel de confianza. Einstein está en lo cierto de momento...

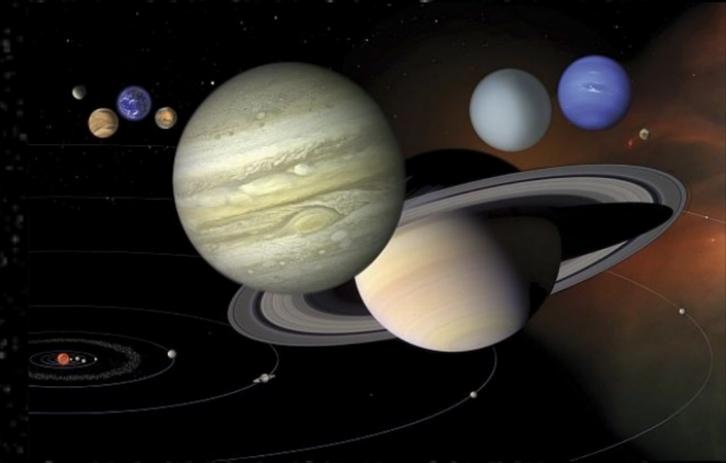
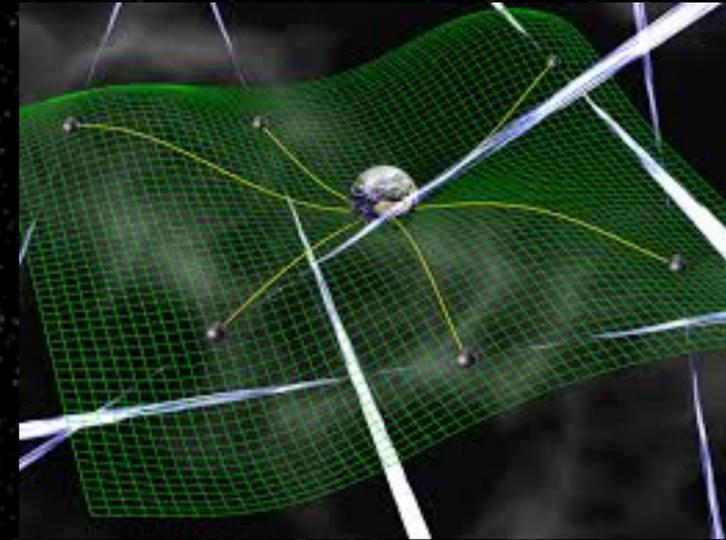


7. El detector de ondas gravitacionales más económico:
Observando de manera regular púlsares de
milisegundos podríamos detectar ondas gravitacionales
(International Pulsar Timing Array)



7. El detector de ondas gravitacionales más económico:
Observando de manera regular púlsares de
milisegundos podríamos detectar ondas gravitacionales
(International Pulsar Timing Array)

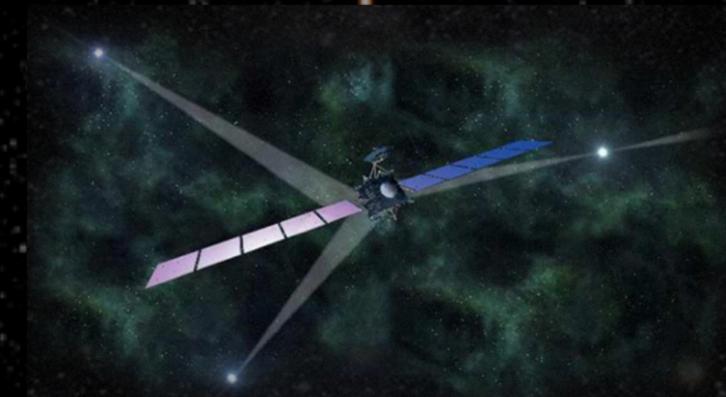
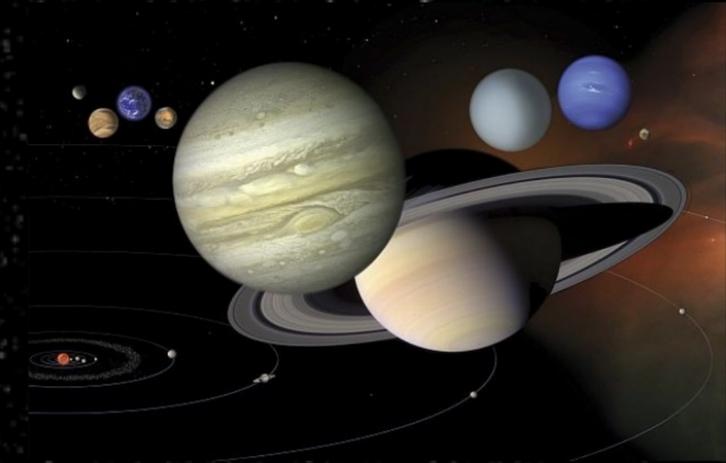
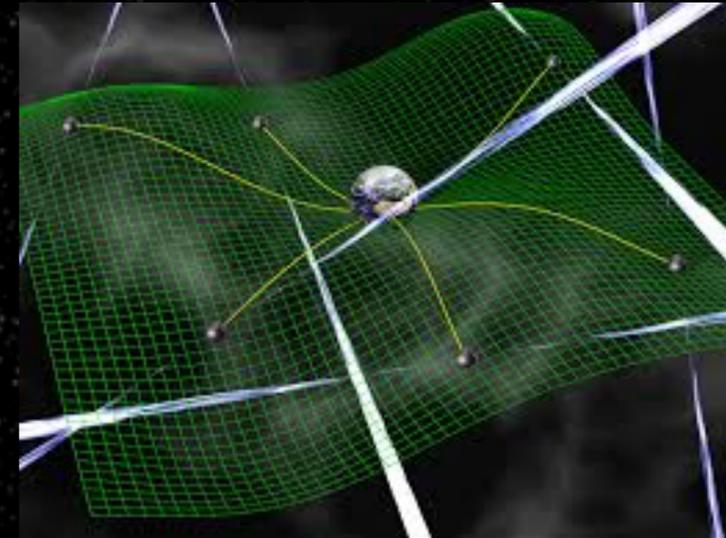
8. El sistema más económico para determinar masas de
planetas del Sistema Solar: Observando púlsares
periódicamente permite medir masas de planetas de
forma tan precisa como lo harían satélites dedicados a
esta tarea.



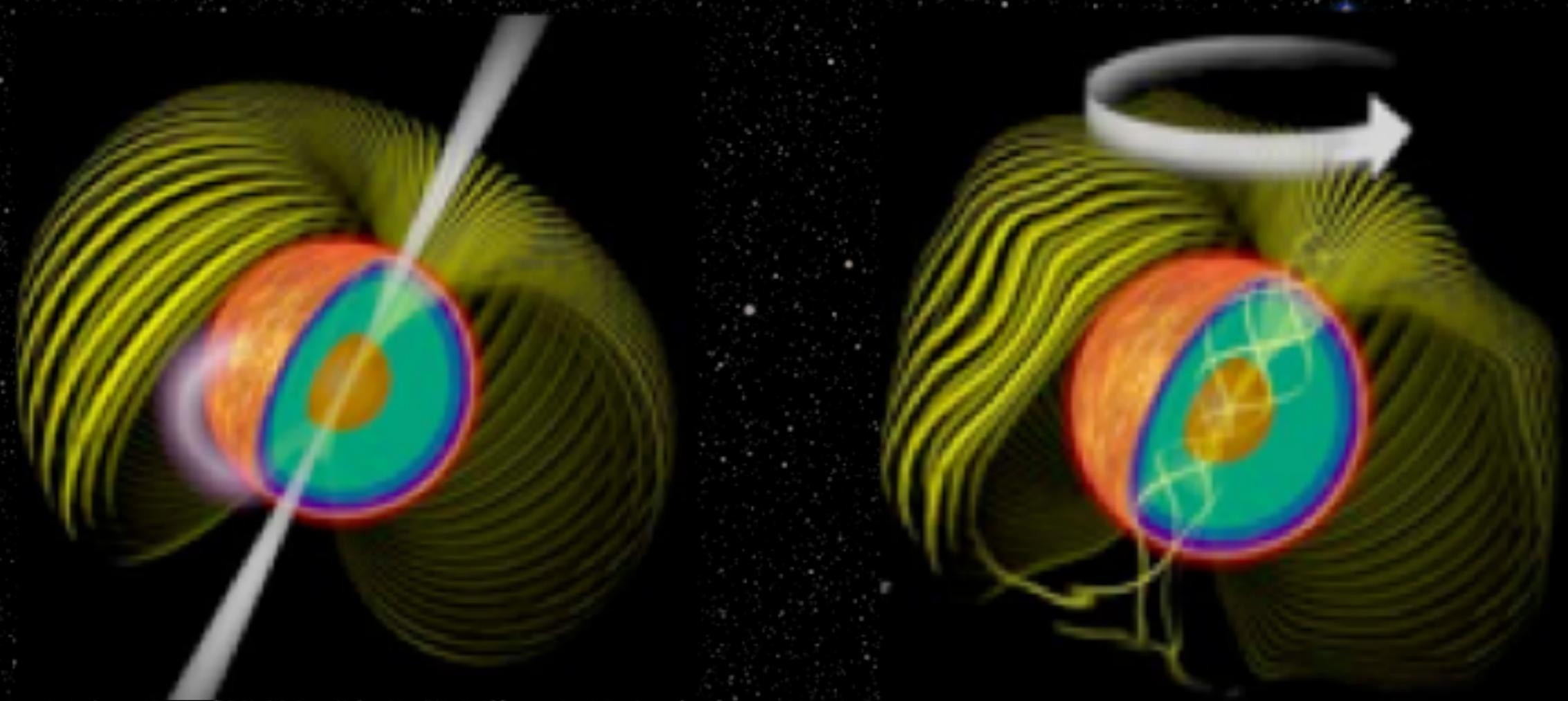
7. El detector de ondas gravitacionales más económico: Observando de manera regular púlsares de milisegundos podríamos detectar ondas gravitacionales (International Pulsar Timing Array)

8. El sistema más económico para determinar masas de planetas del Sistema Solar: Observando púlsares periódicamente permite medir masas de planetas de forma tan precisa como lo harían satélites dedicados a esta tarea.

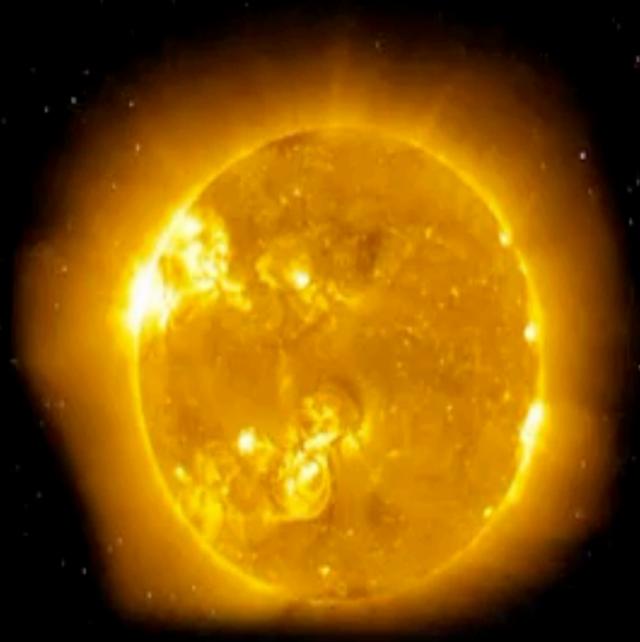
9. Nuestro futuro sistema de posicionamiento GPS en el espacio: Los púlsares proporcionan relojes tan precisos que servirán como nuestro único sistema de posicionamiento al viajar por el espacio sin conexión con la Tierra.



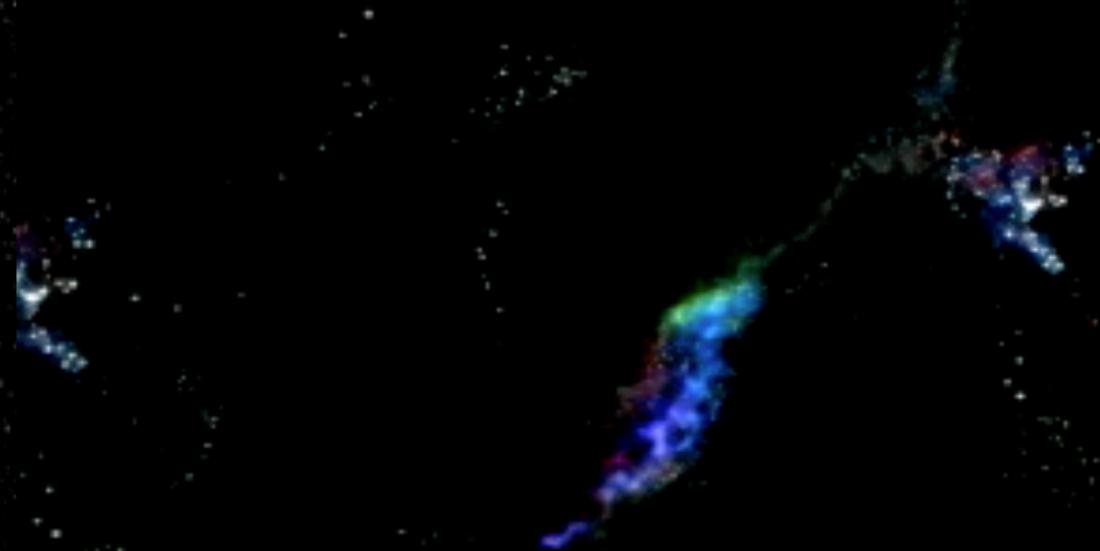
Los magnetares tienen
un campo magnético retorcido y enrollado!



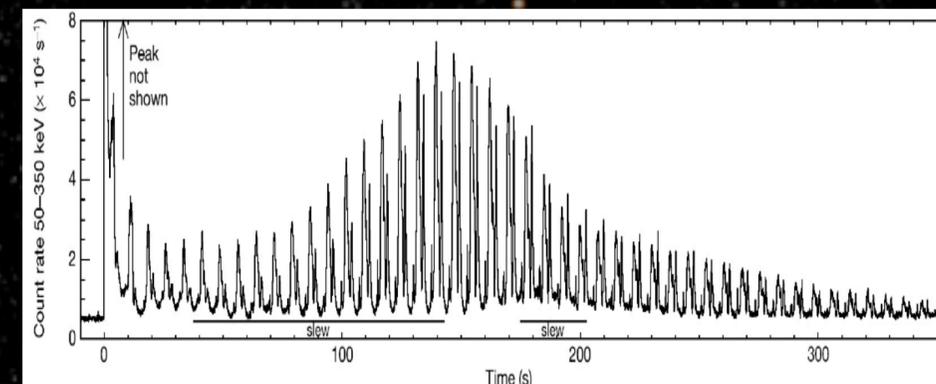
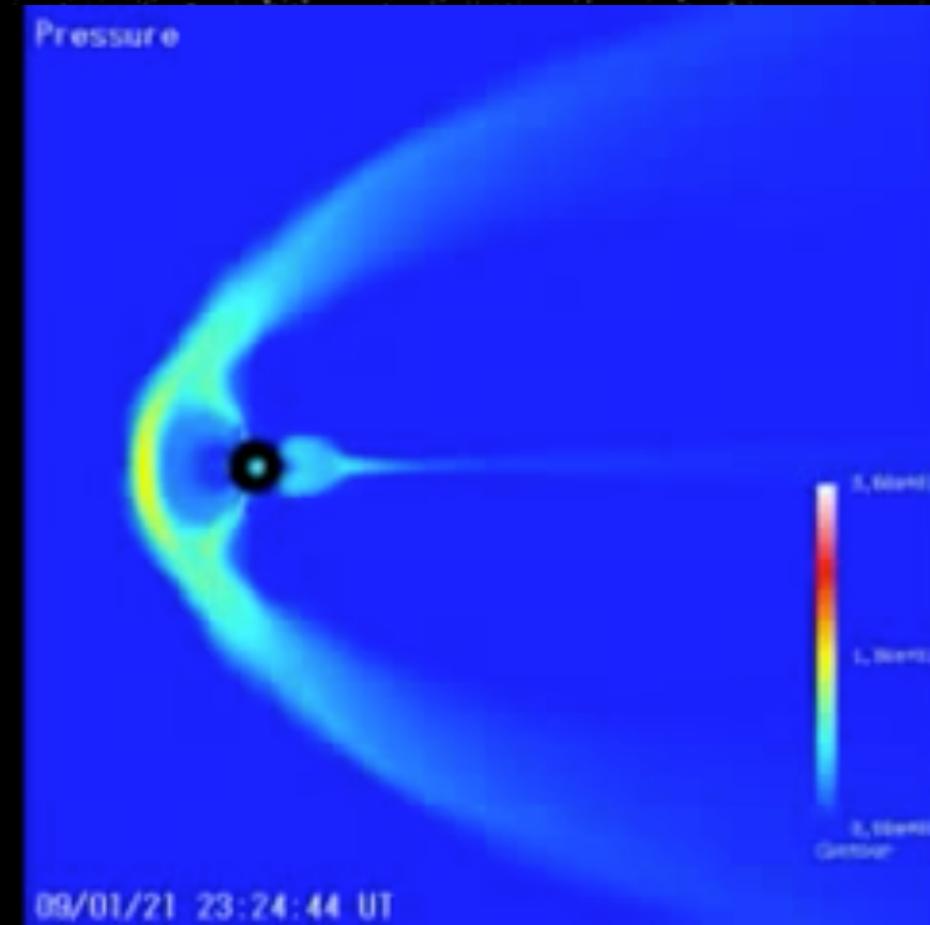
Estallidos de los magnetares

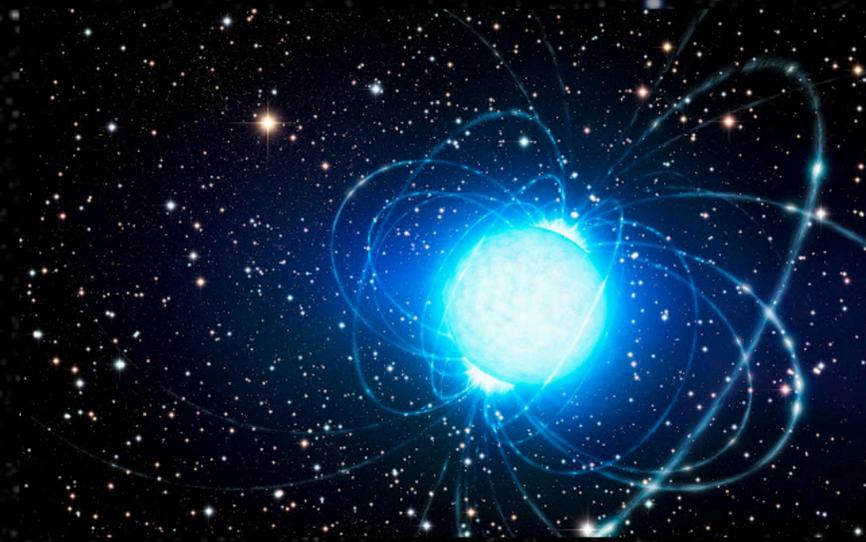
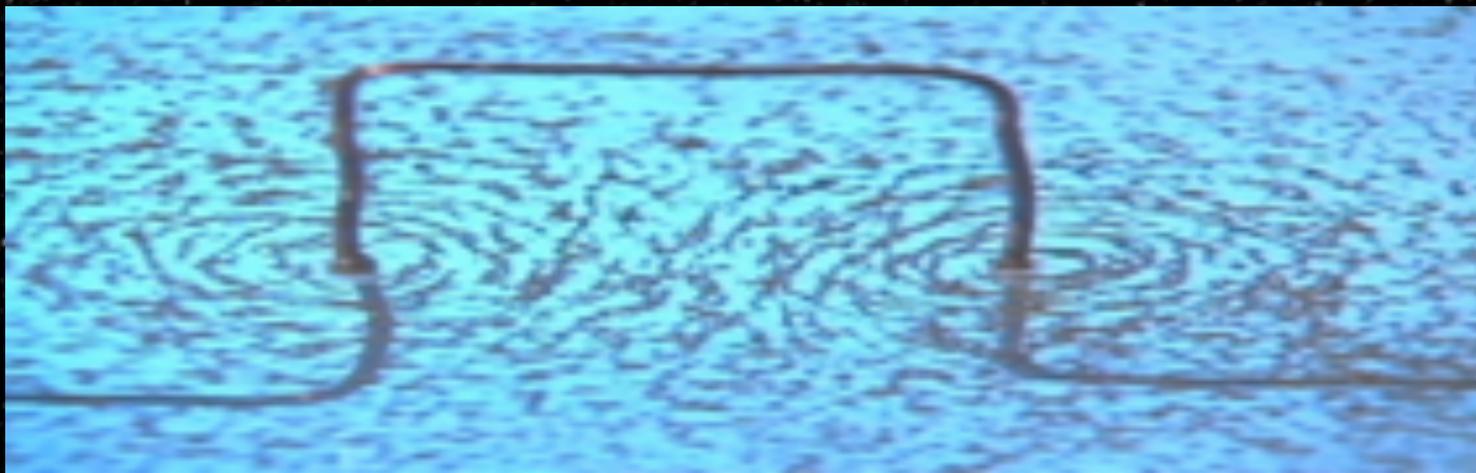
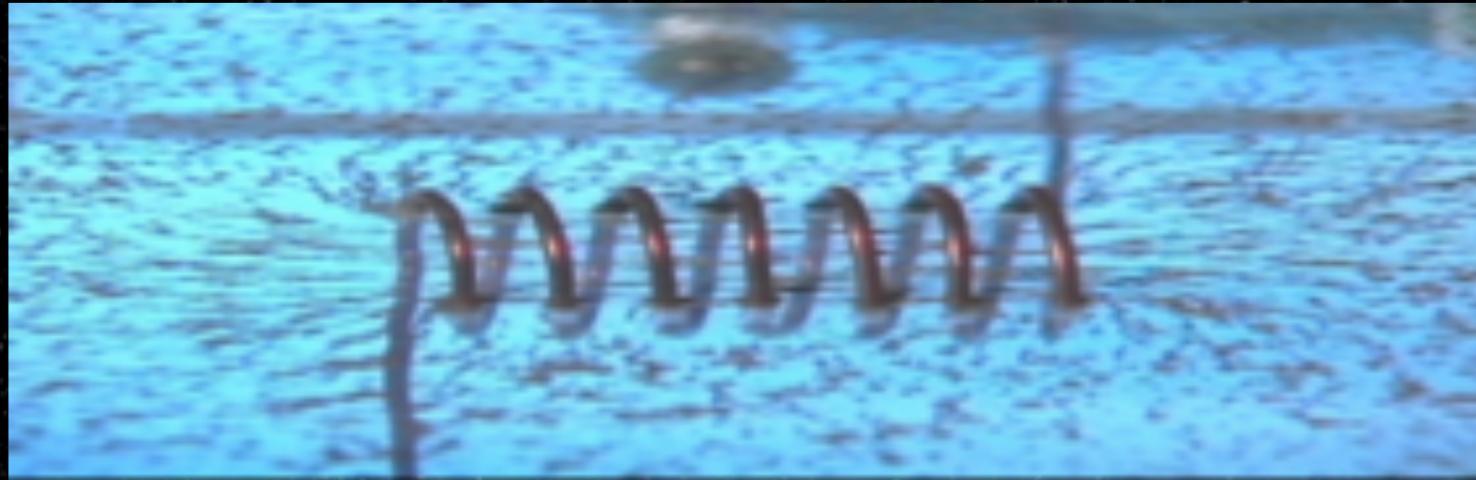


Explosiones magnéticas de los magnetares



La explosión del magnetar SGR 1806-20 del 27 de diciembre 2004 afectó la ionosfera de la Tierra.

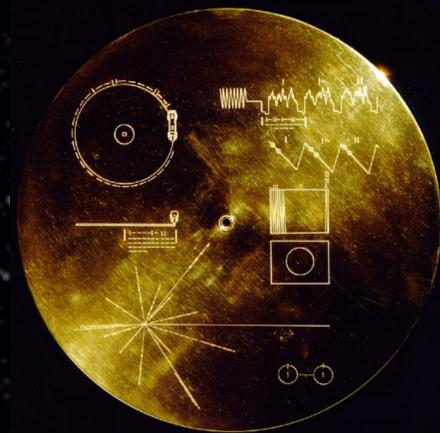




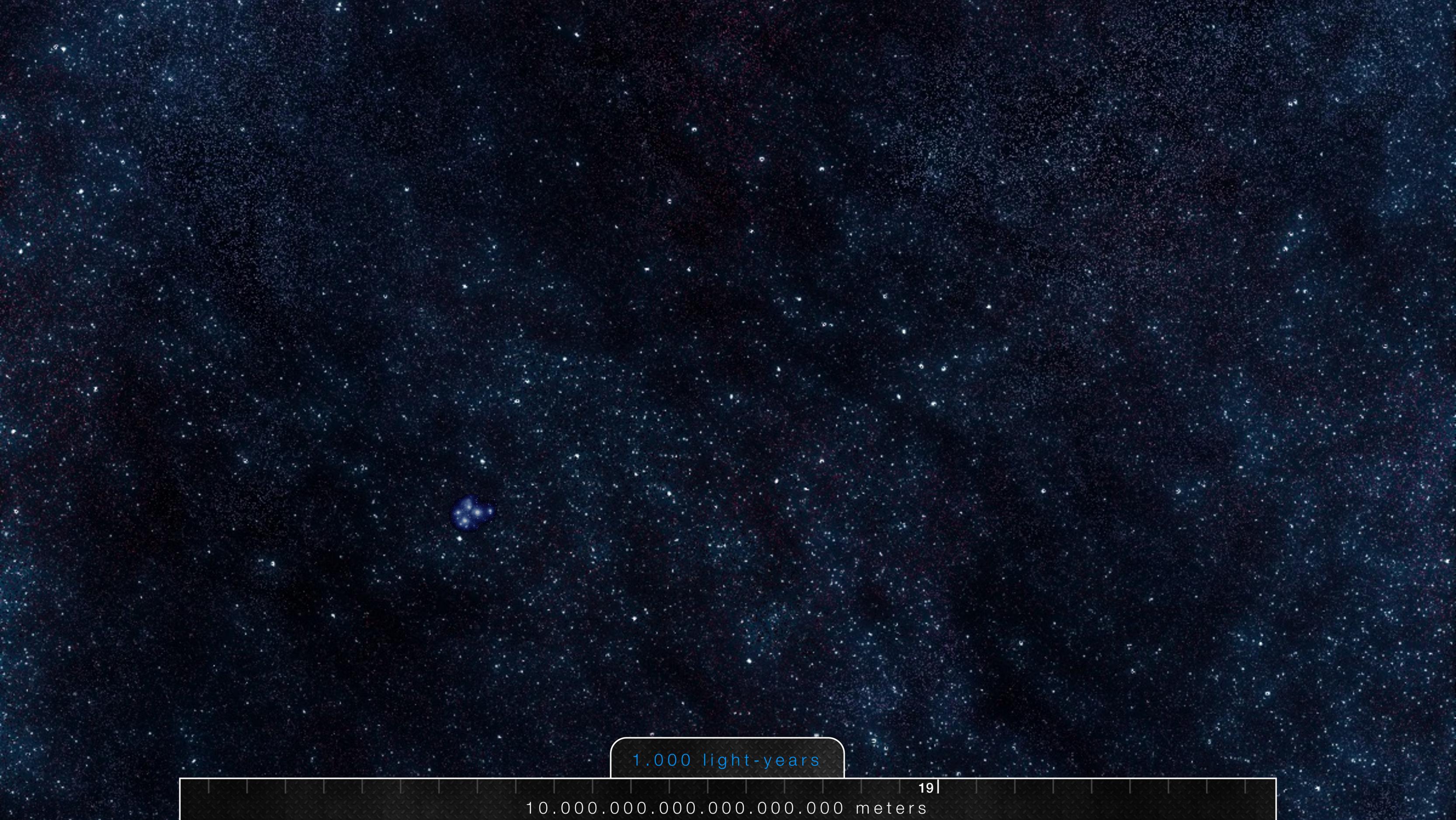
Los magnetares son laboratorios extremos, donde estudiar efectos de plasma altamente magnetizado, en un entorno con condiciones físicas extremas (gravedad, presión, densidad)

Púlsares como sistema GPS del espacio profundo

**X-RAY
NAVIGATION**
PULSARS: THE GPS OF THE UNIVERSE



En enero de 2018 se llevó a cabo el primer experimento de GPS púlsar, empleando el instrumento SEXTANT en la misión NICER, a bordo de la Estación Espacial Internacional, que orbita la Tierra a unos 28.000 km/h. En 8 horas desde el inicio del experimento con 14 púlsares de rayos X, se logró determinar una posición en el espacio con un error de tan solo 10 millas.



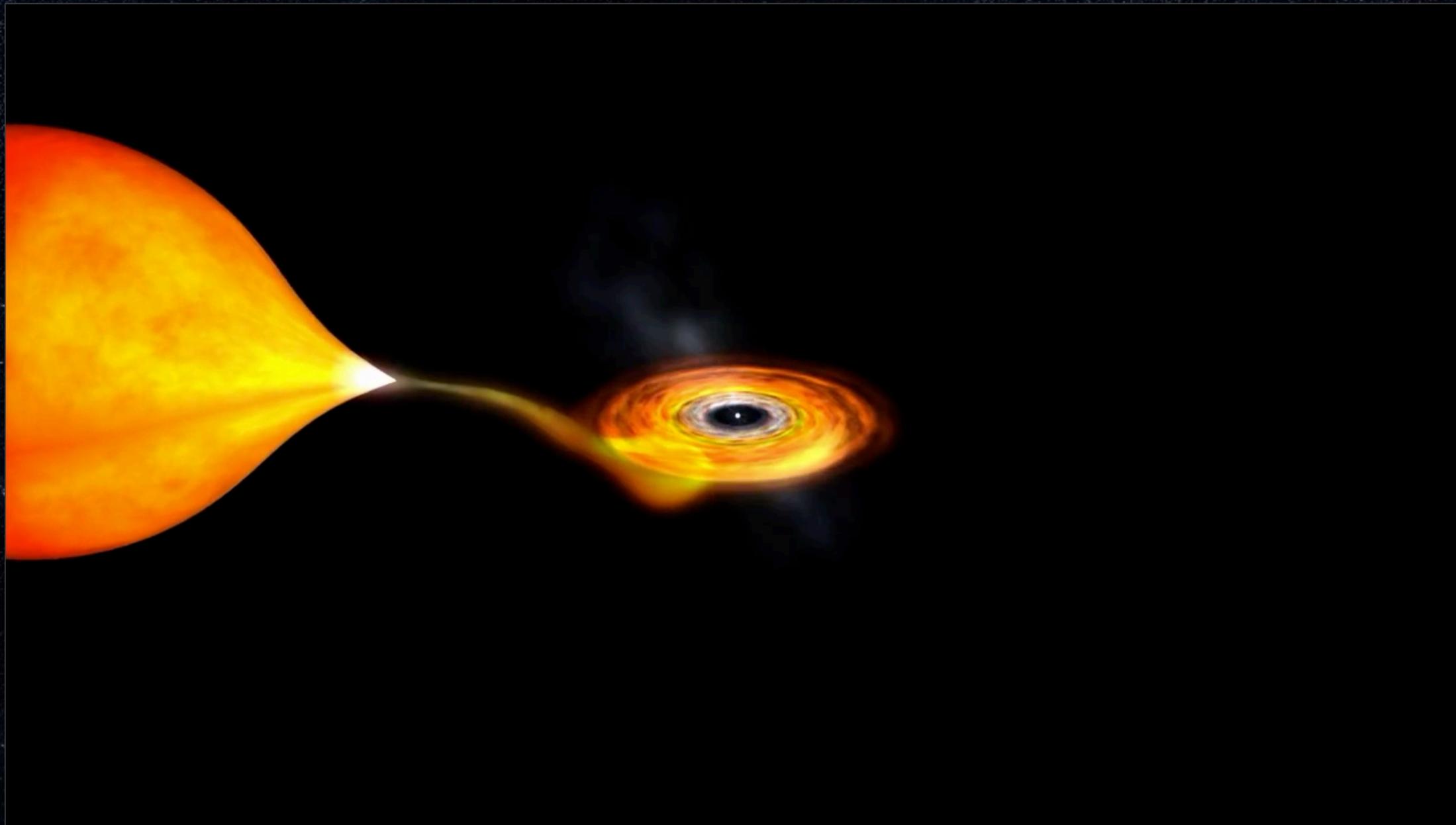
1.000 light-years



10.000.000.000.000.000.000 meters

19

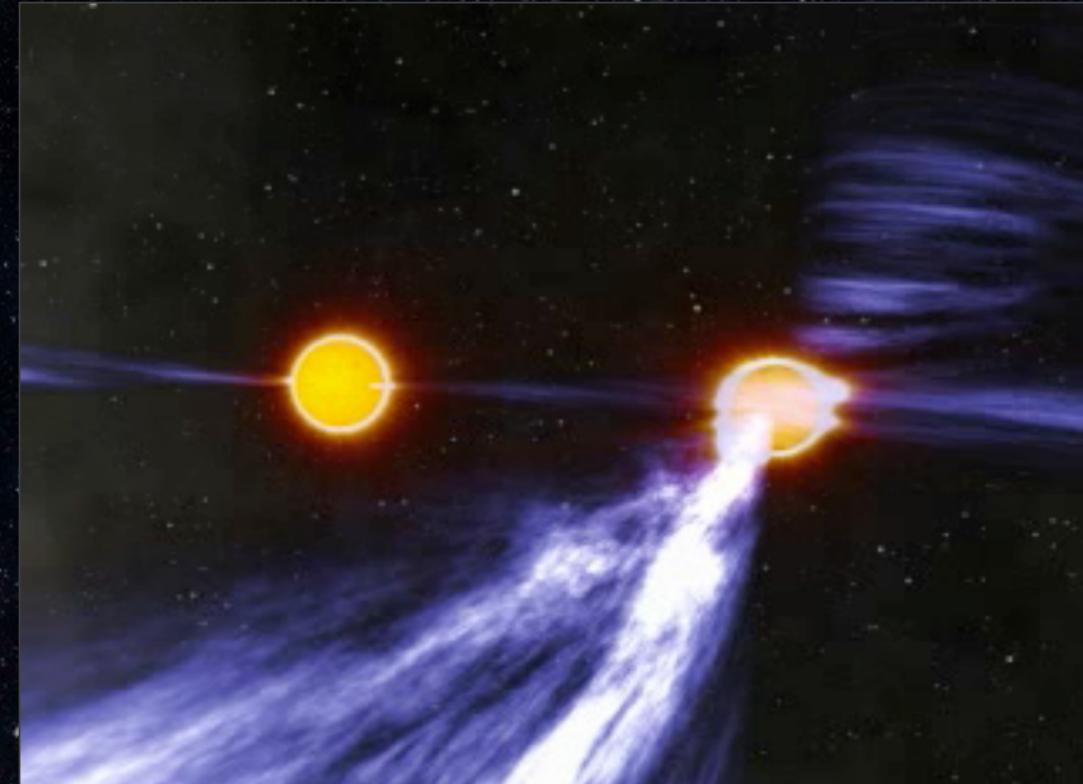
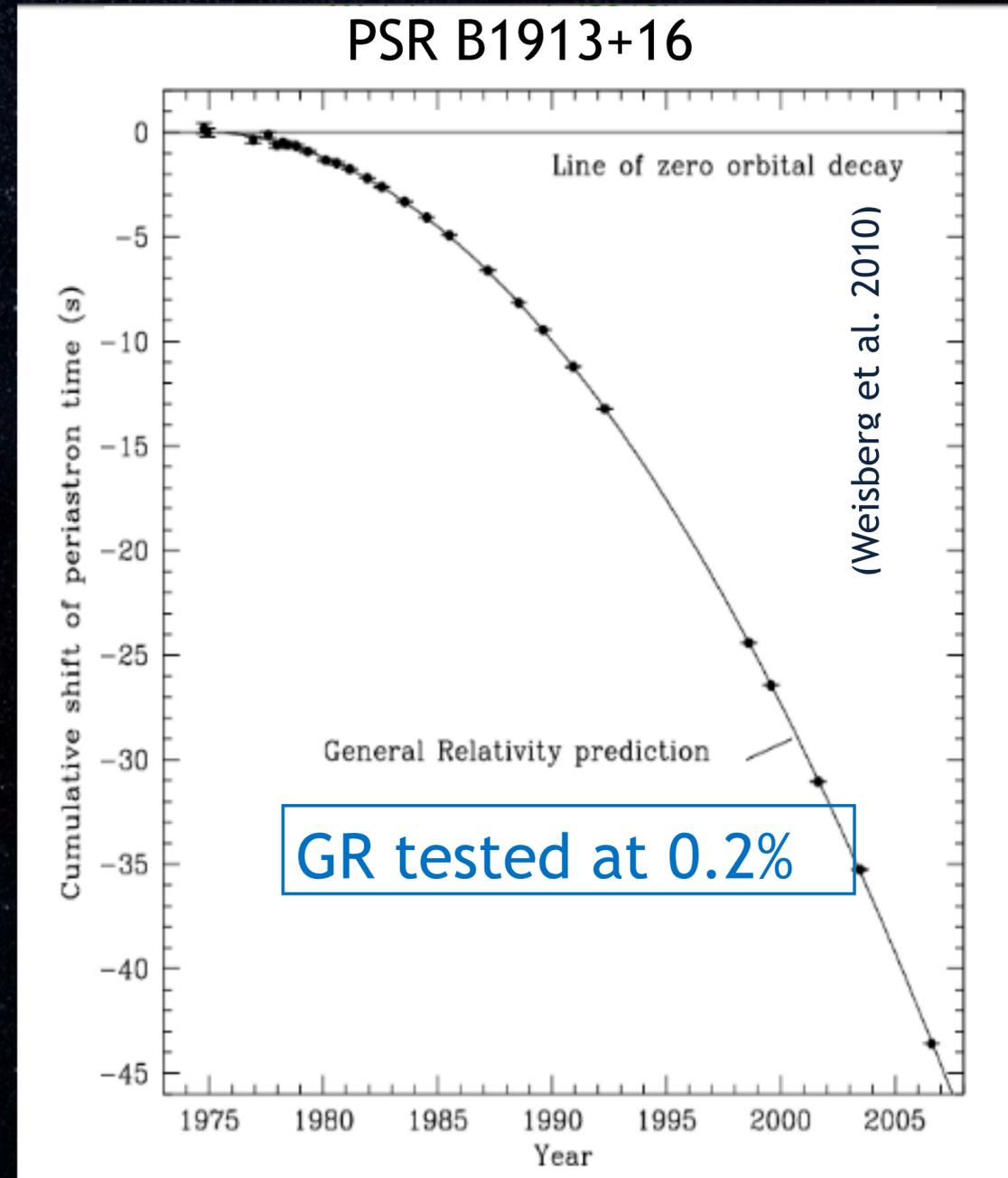
Sistemas binarios de púlsares con estrellas normales



1.000 light-years

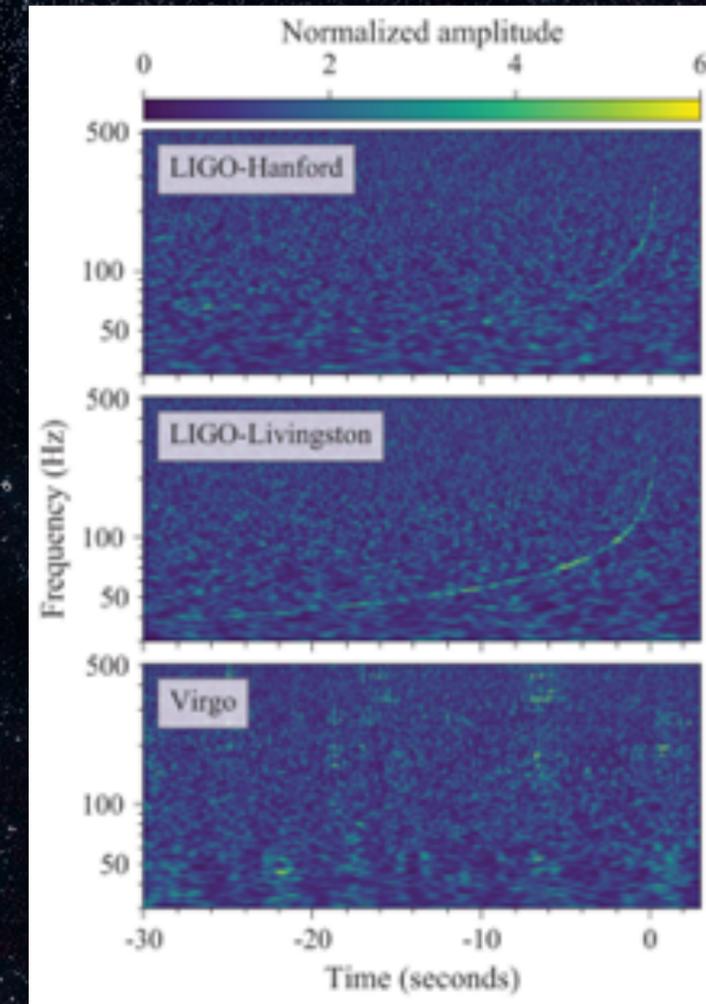
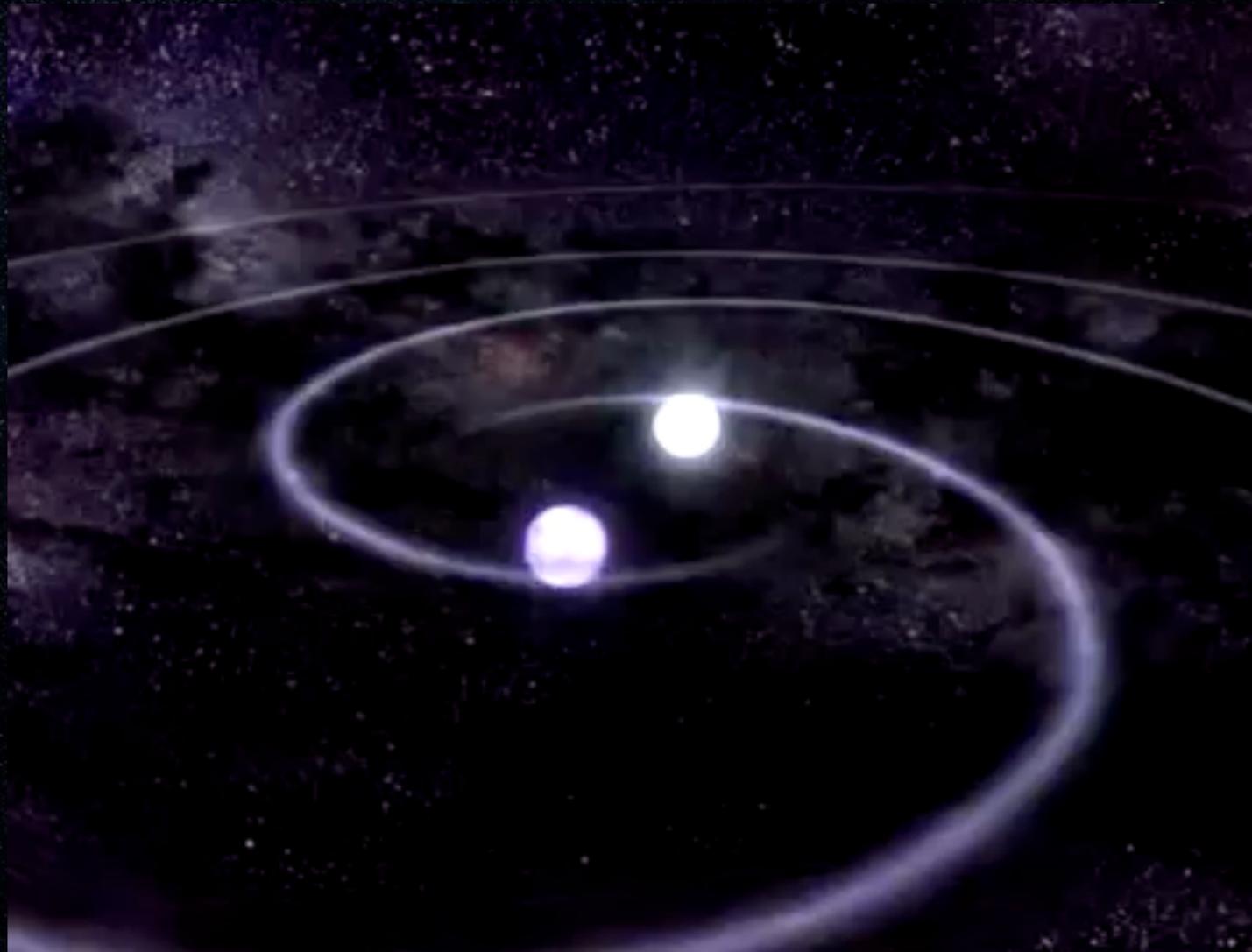
10.000.000.000.000.000.000 meters

Sistema binario de púlsares y tests de Relatividad General de Einstein



Premio Nobel 1993 a Hulse y Taylor por el descubrimiento de un nuevo tipo de púlsar, que ha abierto nuevas posibilidades para el estudio de la gravitación.

Colisiones de estrellas de neutrones: explosiones de rayos gamma y ondas gravitacionales

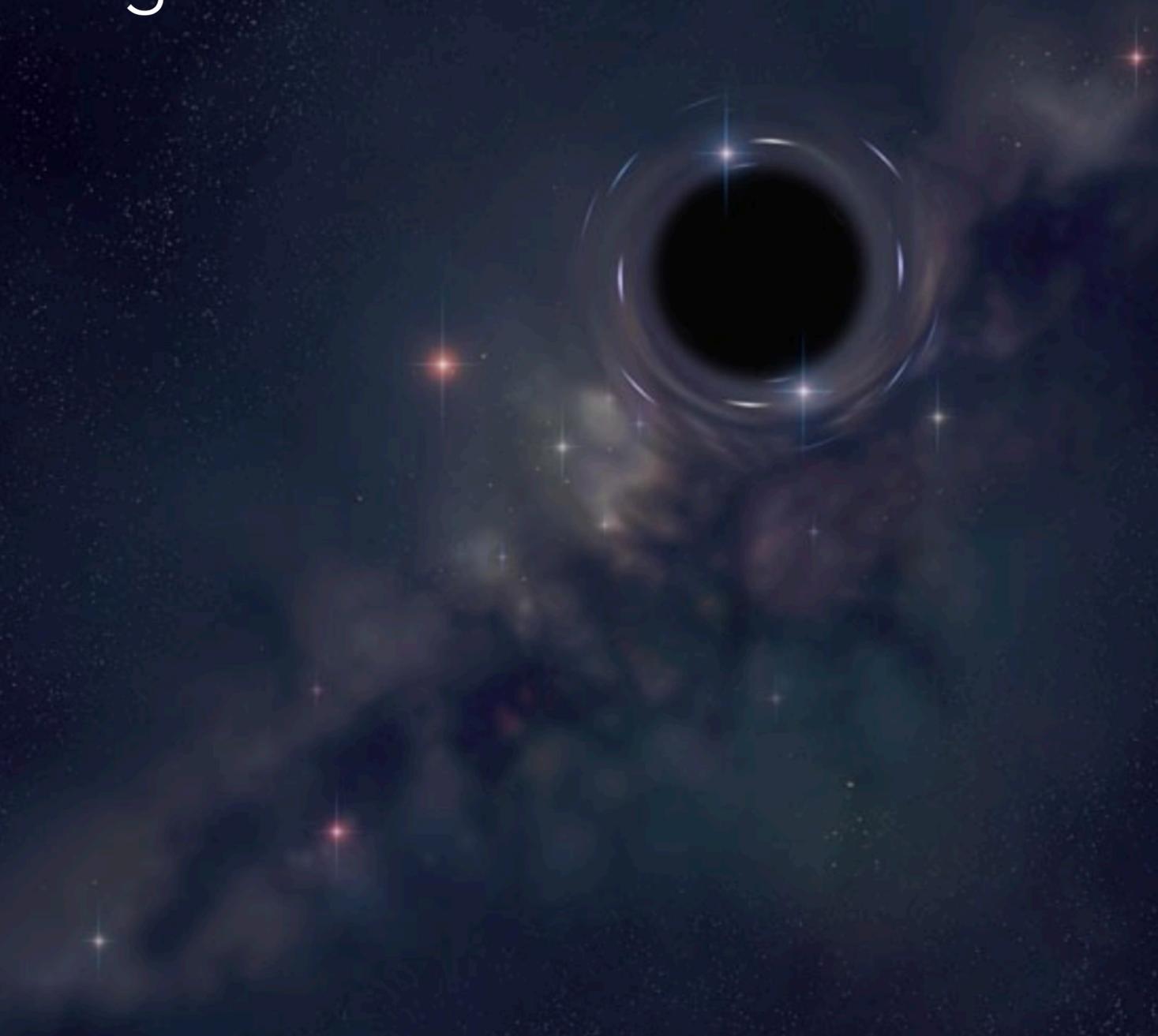


(LIGO and VIRGO collaborations 2017)



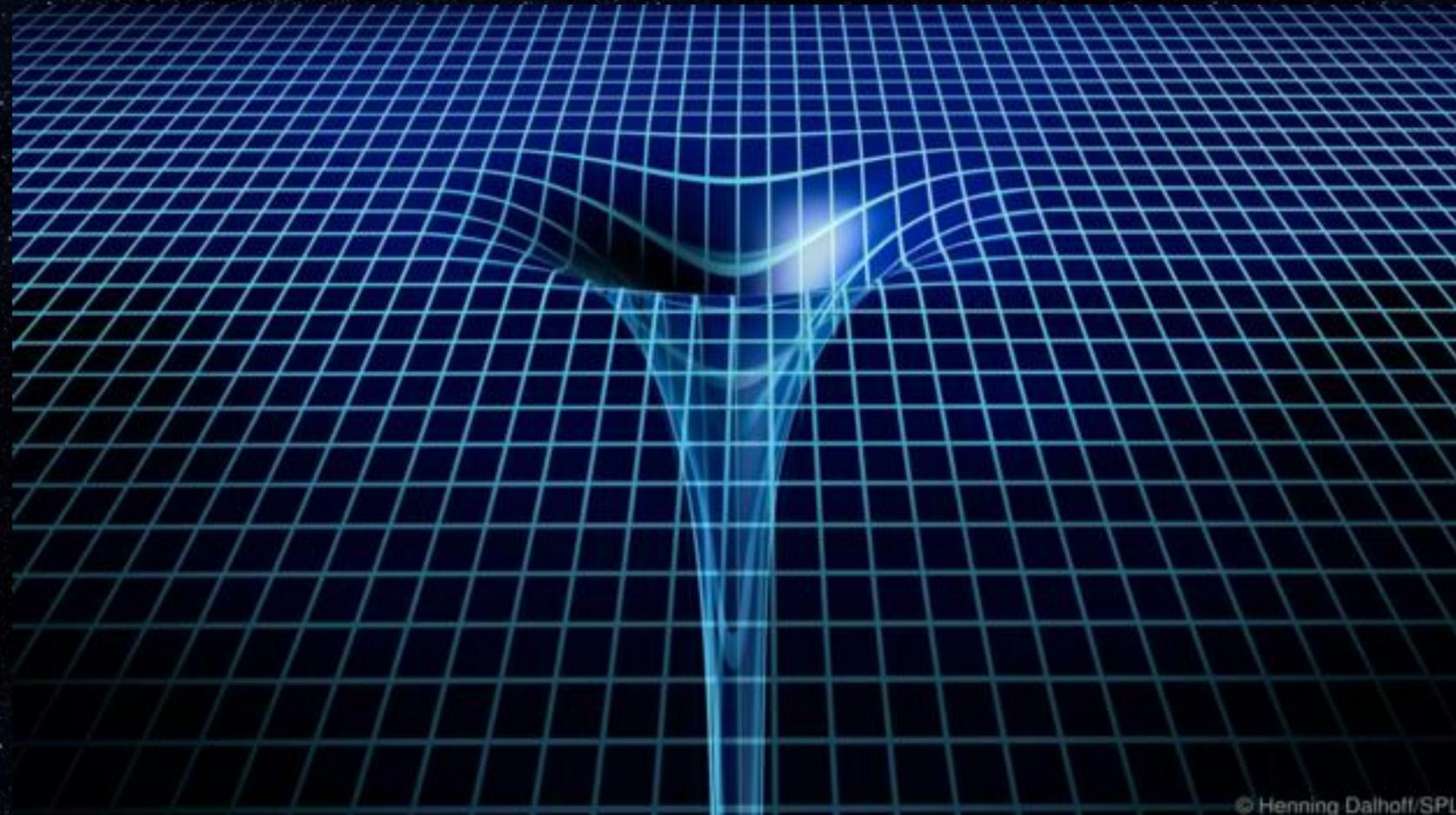
Premio Nobel 2017 a Weiss, Barish & Thorne Por sus contribuciones decisivas al detector LIGO y por la observación de ondas gravitatorias.

Los Agujeros Negros



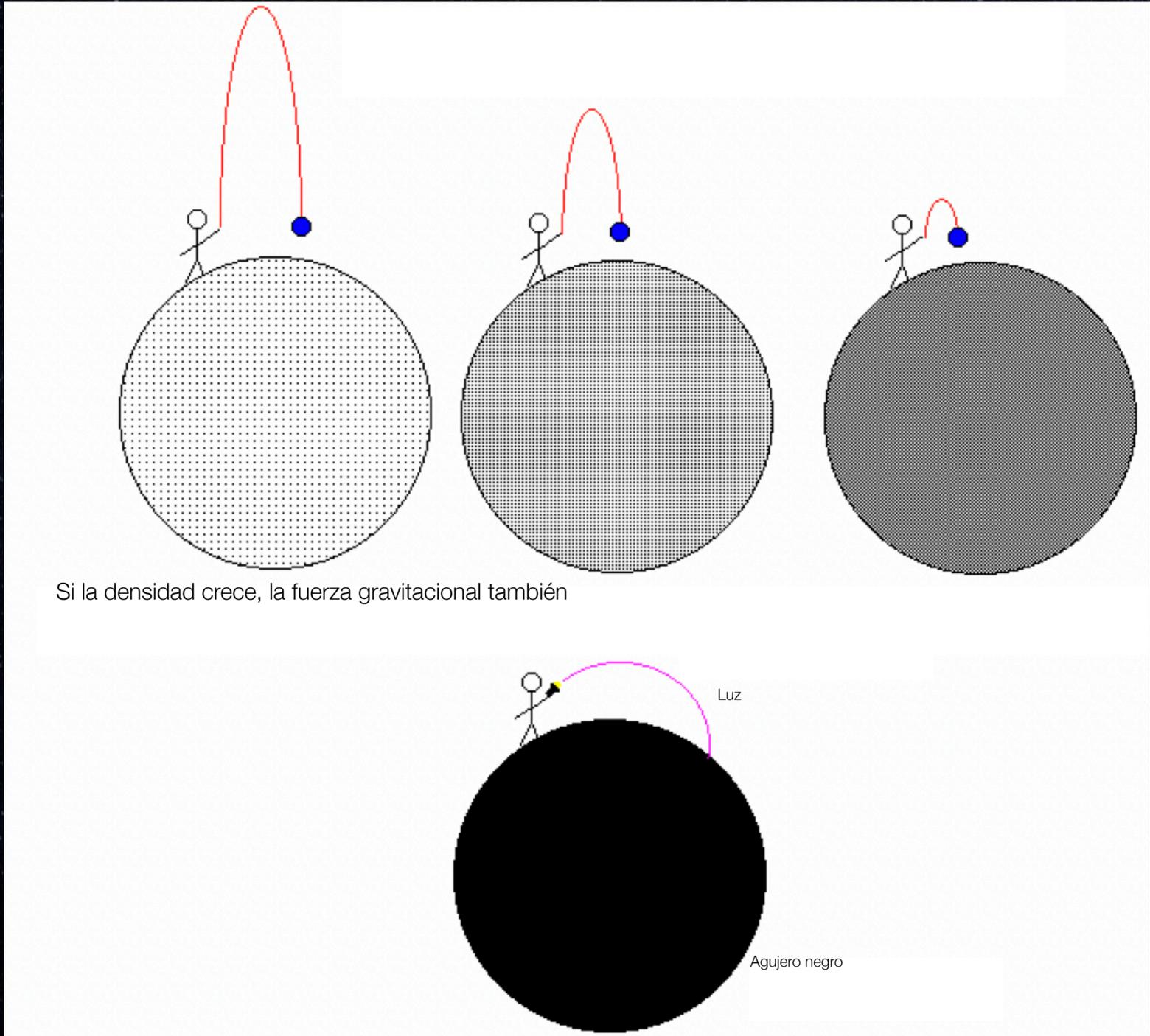
10.000.000.000.000.000.000 meters 19

Los Agujeros Negros



Un agujero negro es una región del espacio-tiempo provocada por una gran concentración de masa en su interior, con enorme aumento de la densidad, lo que provoca un campo gravitatorio donde la velocidad de escape es mayor que la velocidad de la luz.

© Henning Dalhoff/SPL



Velocidad de escape

$$\frac{1}{2} m \cdot v^2 = \frac{G \cdot M \cdot m}{r} \quad V_e = \sqrt{\frac{2GM}{r}}$$

G: constante de gravitación universal
M: masa
r: radio

Radio de Schwarzschild

$$V_e = c$$

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

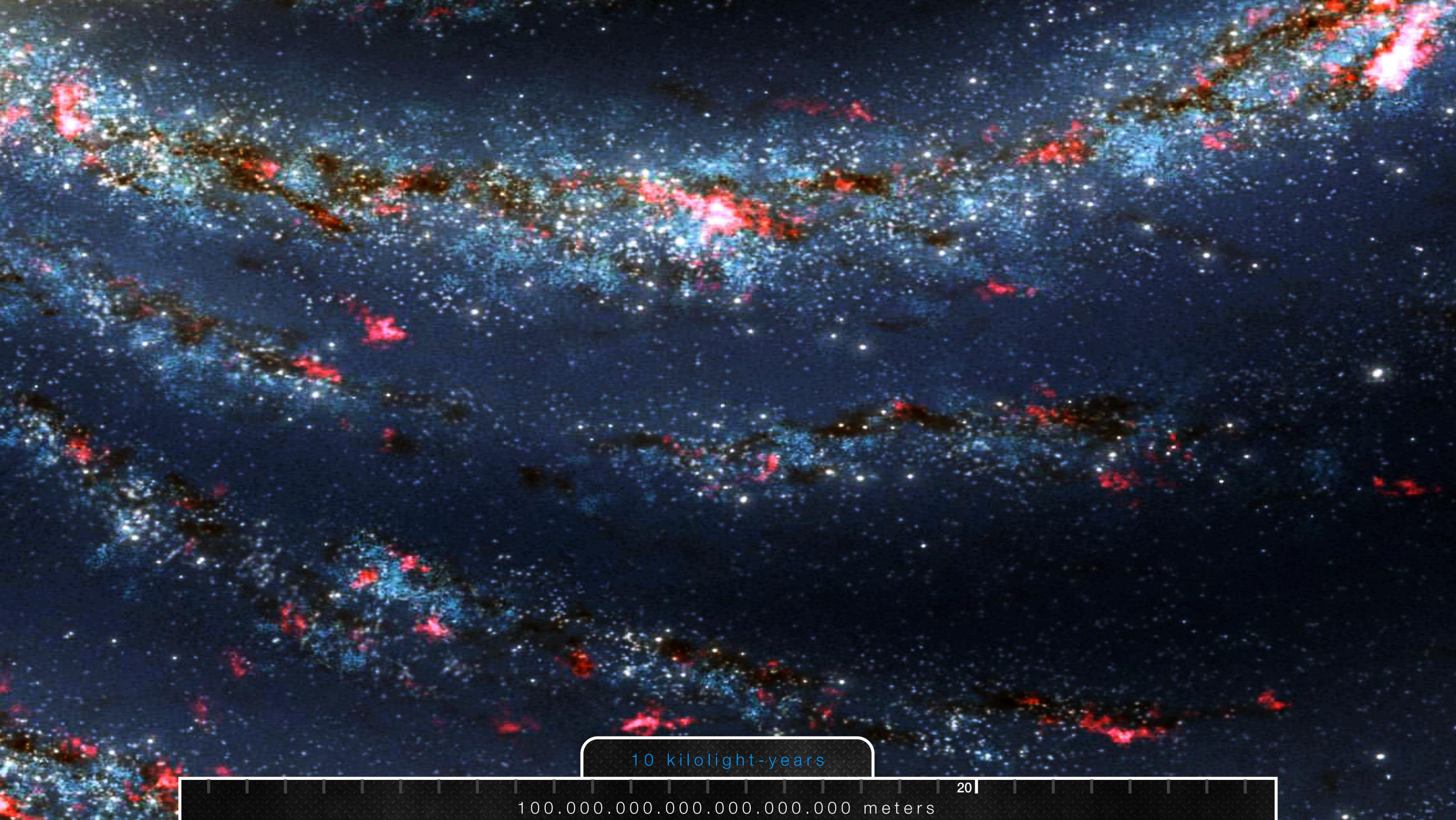
Objeto	Masa del Objeto (Masas Solares)	Radio (Km)	Velocidad de Escape (Km/s)	Radio de Schwarzschild
Tierra	0,00000304	6.357	11,3	9,0 mm
Sol	1,0	696.000	617	2,95 Km
Enana Blanca	0,8	10.000	5.000	2,4 Km
Estrella de Neutrones	2	8	250.000	5,9 Km
Agujeros negros estrellar	5	?	?	14.7km
.Núcleo de una Galaxia	50.000.000	?	?	147.500.000 Km

Agujeros Negros de masa estrellar



Con masas de 3-10 veces la del Sol se forman por explosión de Supernova de estrellas de alta masa. Los vemos cuando están en sistema binarios.

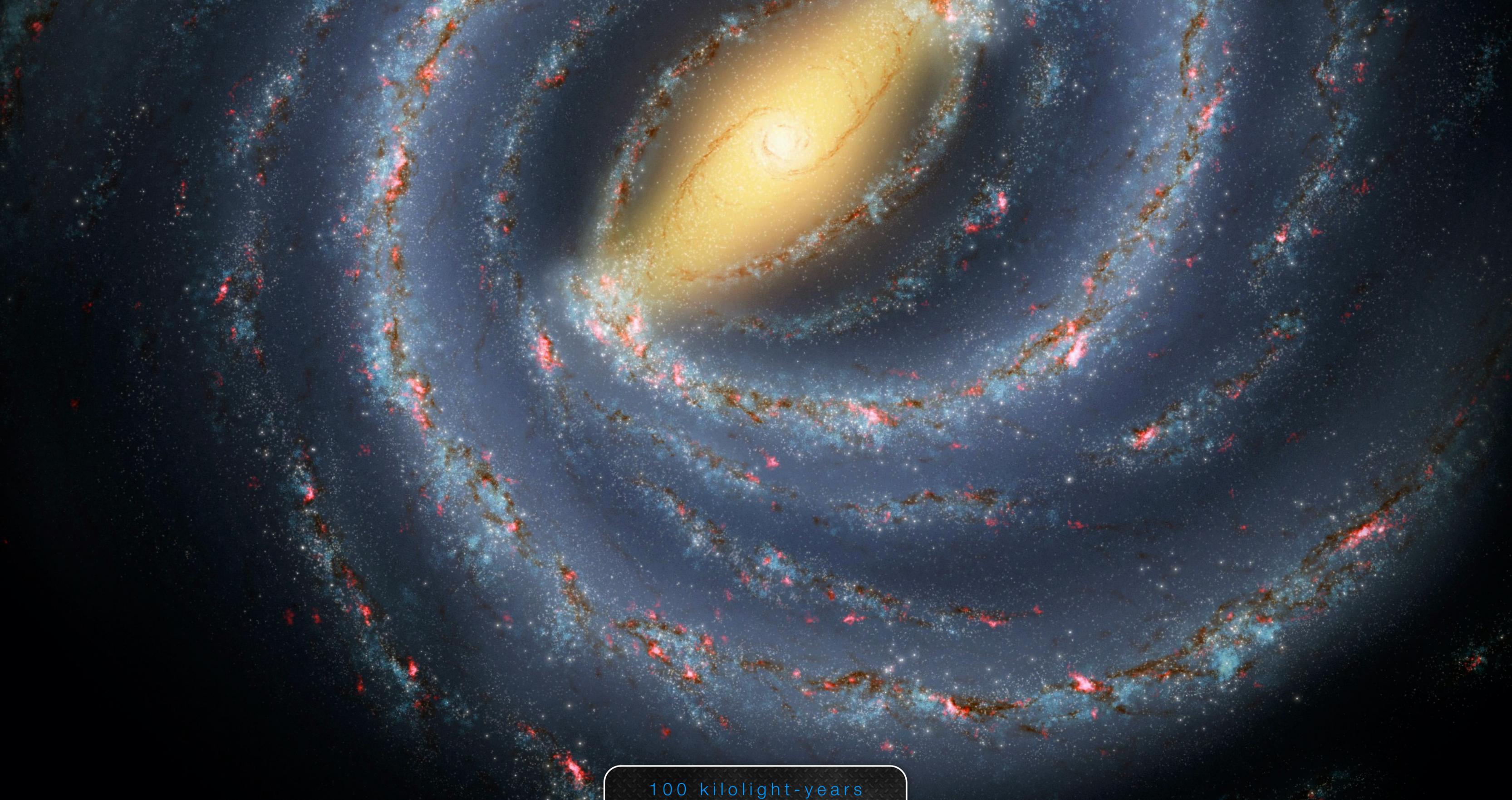
Conocemos ~20 en nuestra Galaxia.



10 kilolight-years

100.000.000.000.000.000.000 meters

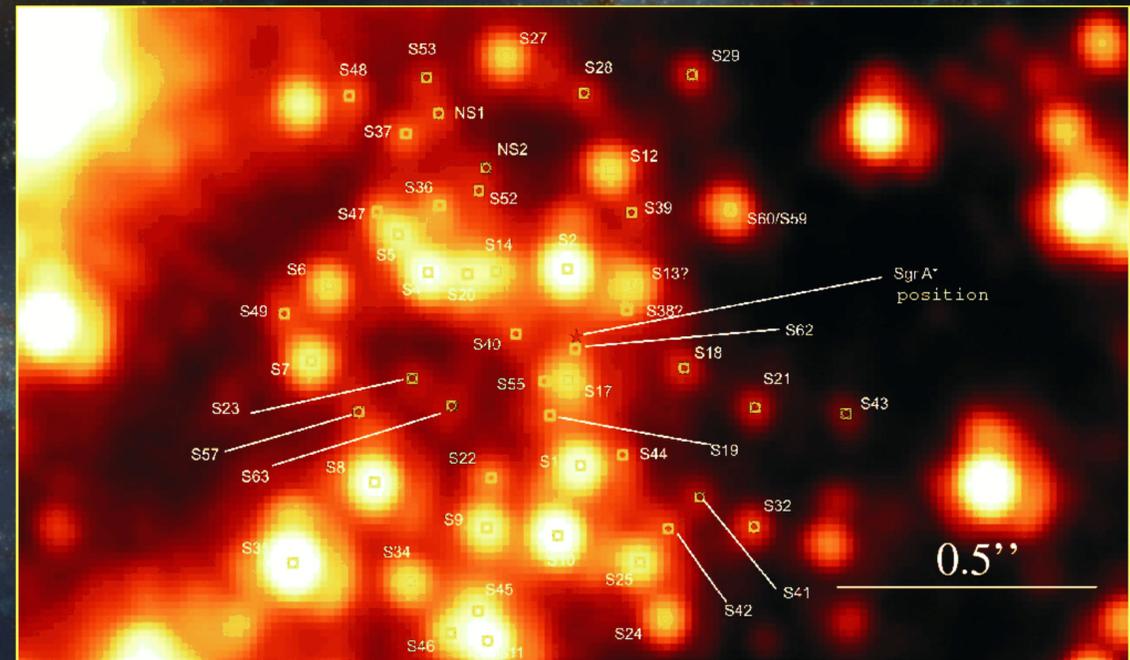
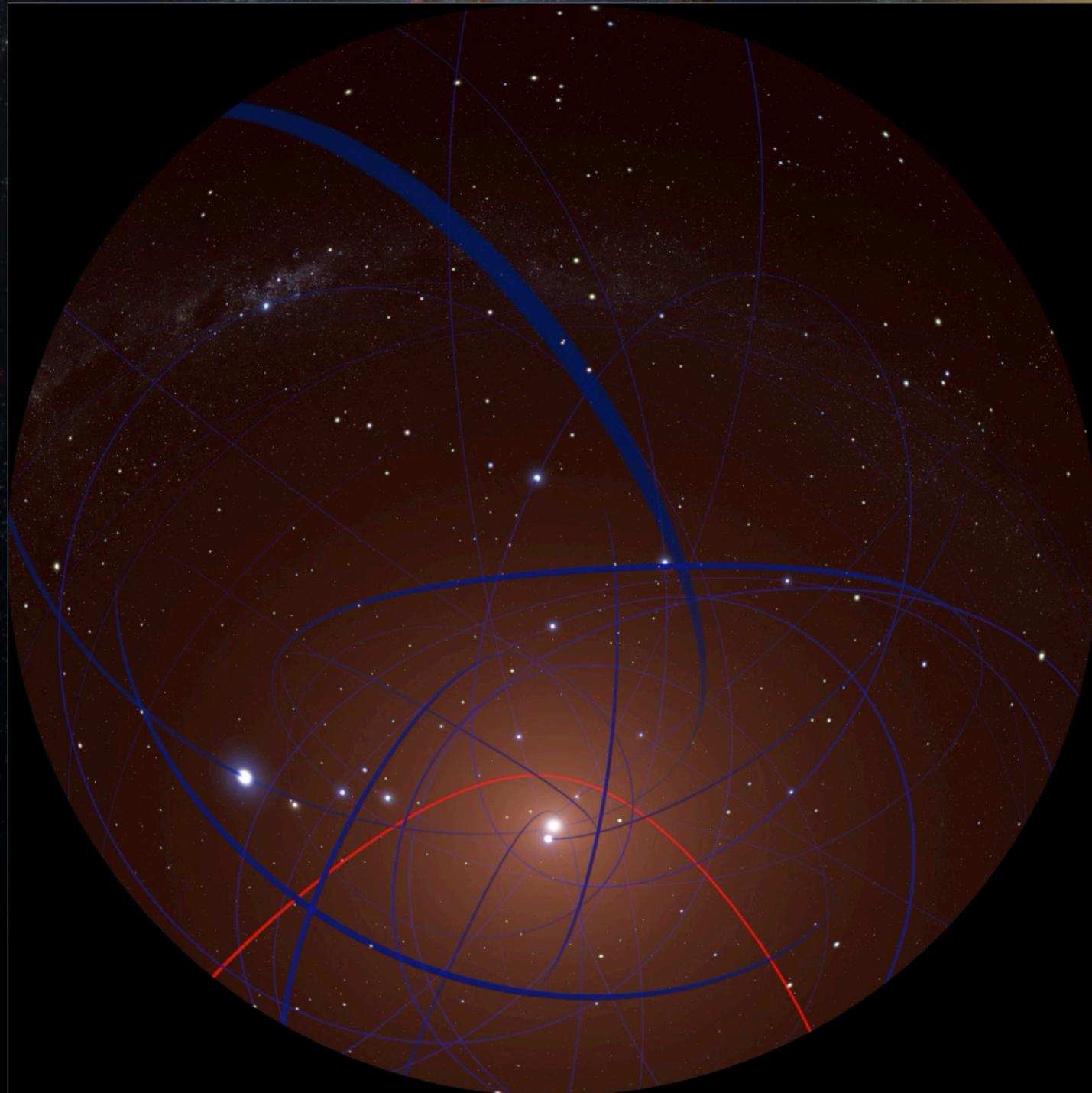
20



100 kilolight-years

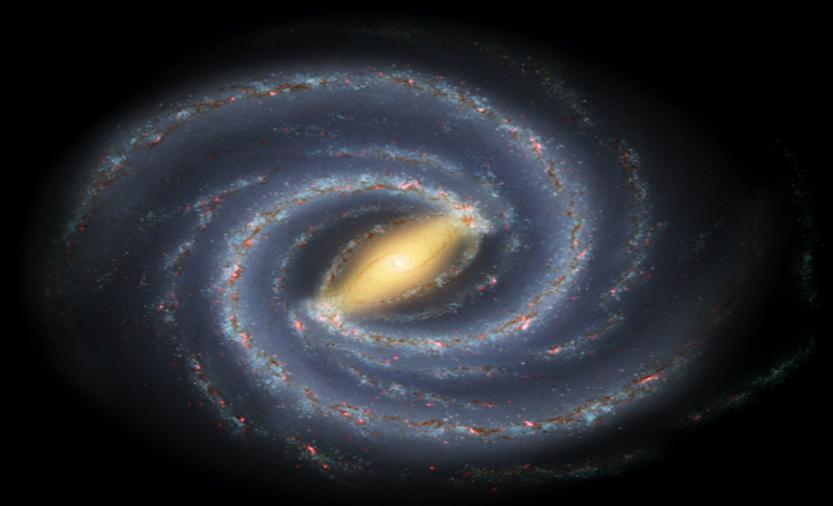


SgrA*: nuestro agujero negro



Muchas estrellas masivas rodean nuestro agujero negro supermasivo

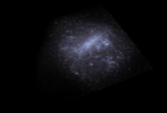
La Vía Láctea



Pequeña Nube de Magallanes



Gran nube de Magallanes

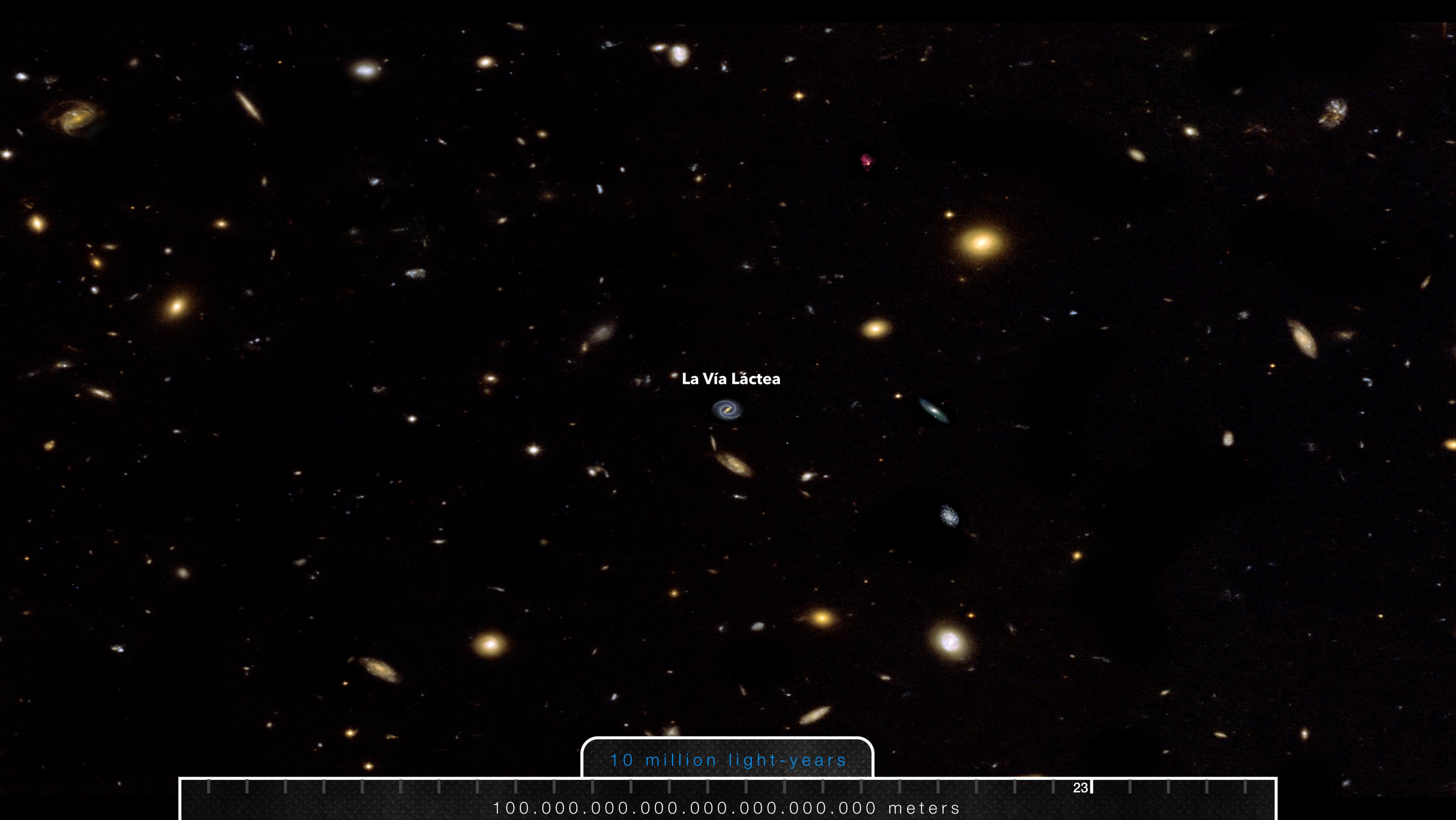


Galaxia de Barnard



1 million light-years

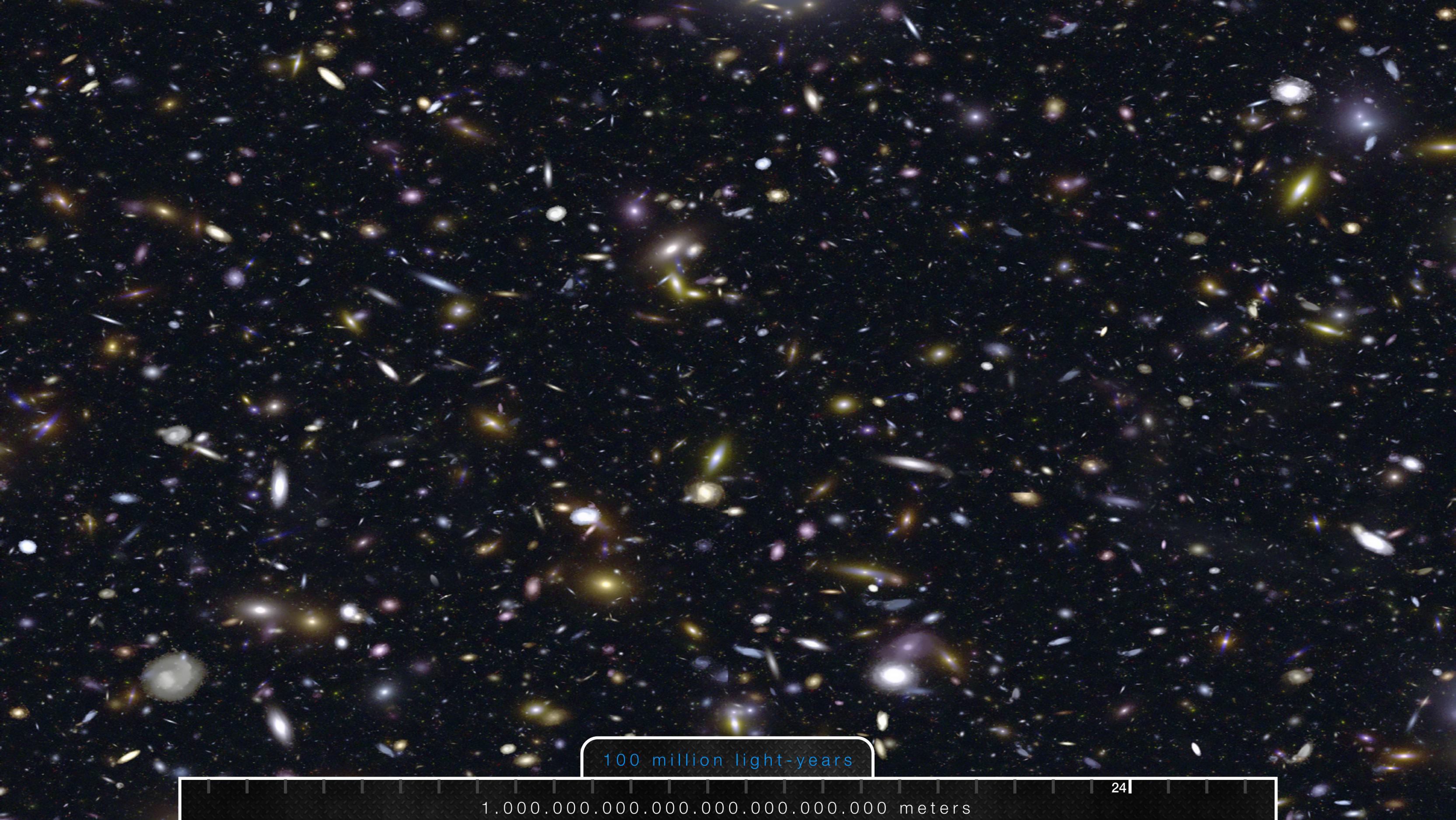




La Vía Láctea

10 million light-years

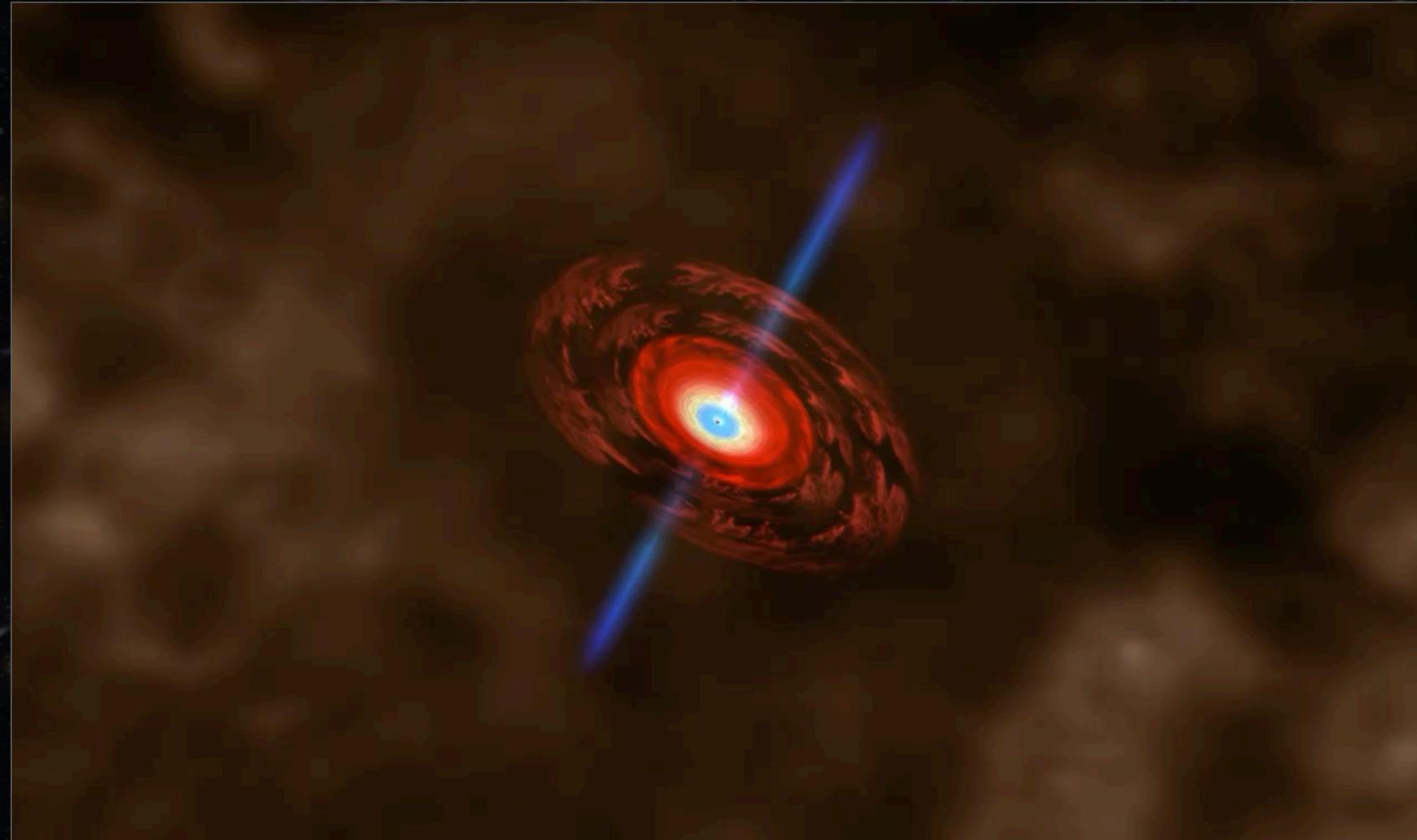
100.000.000.000.000.000.000.000 meters



100 million light-years

1.000.000.000.000.000.000.000.000 meters

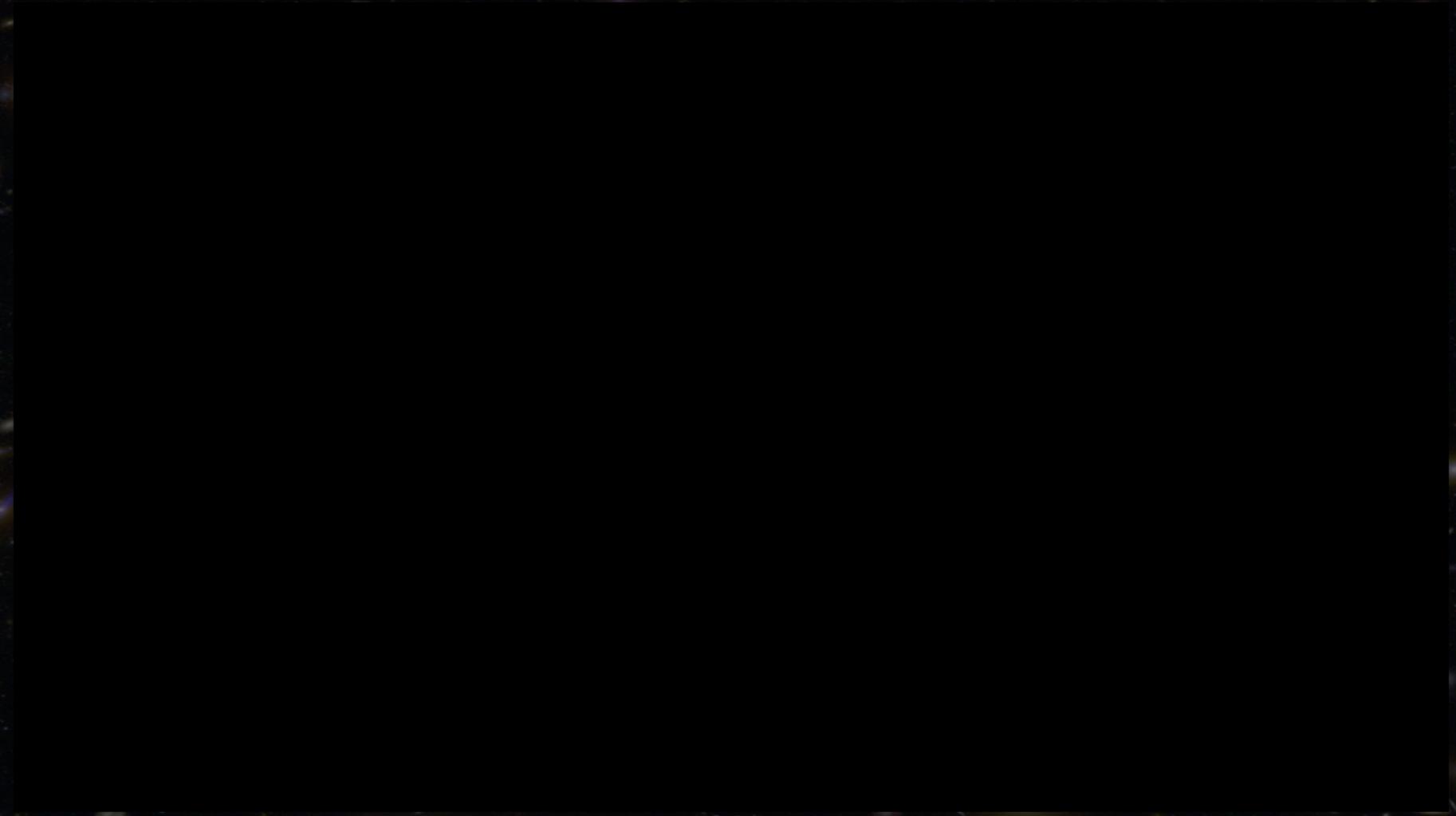
Núcleos Galácticos Activos



100 million light-years

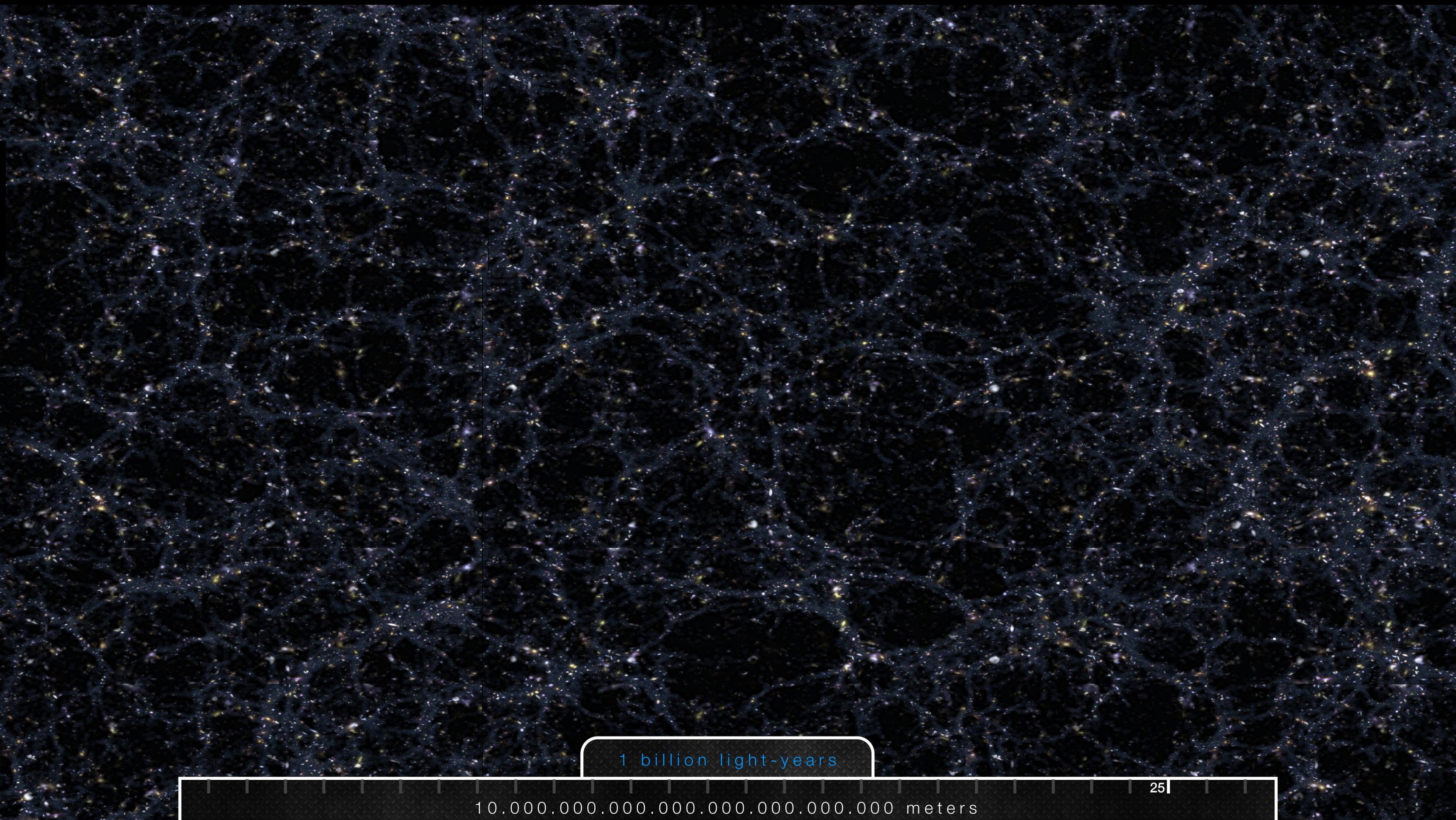
1.000.000.000.000.000.000.000.000 meters

Eventos de colapso de estrellas en agujeros negros



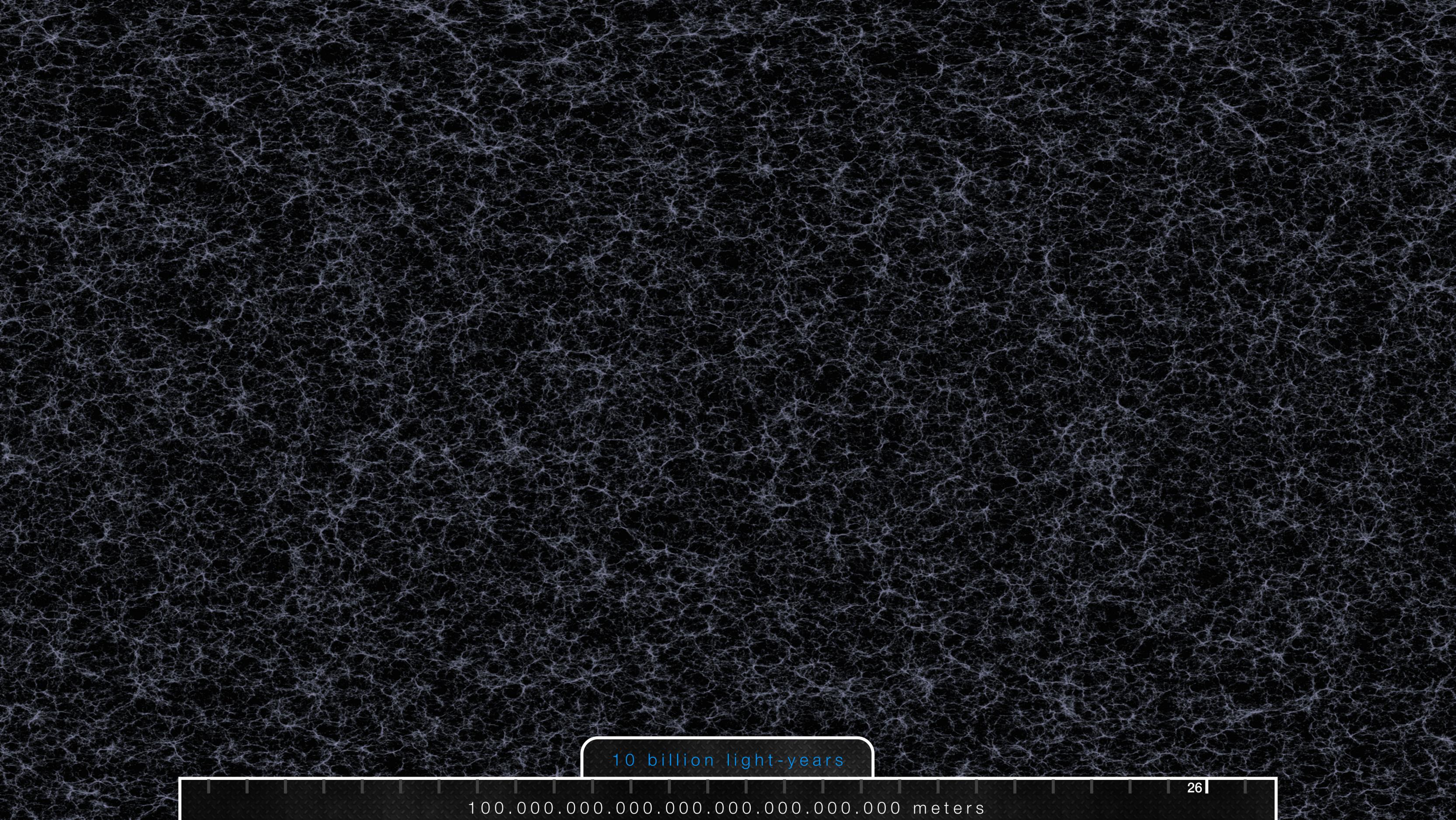
100 million light-years

1.000.000.000.000.000.000.000.000 meters



1 billion light-years

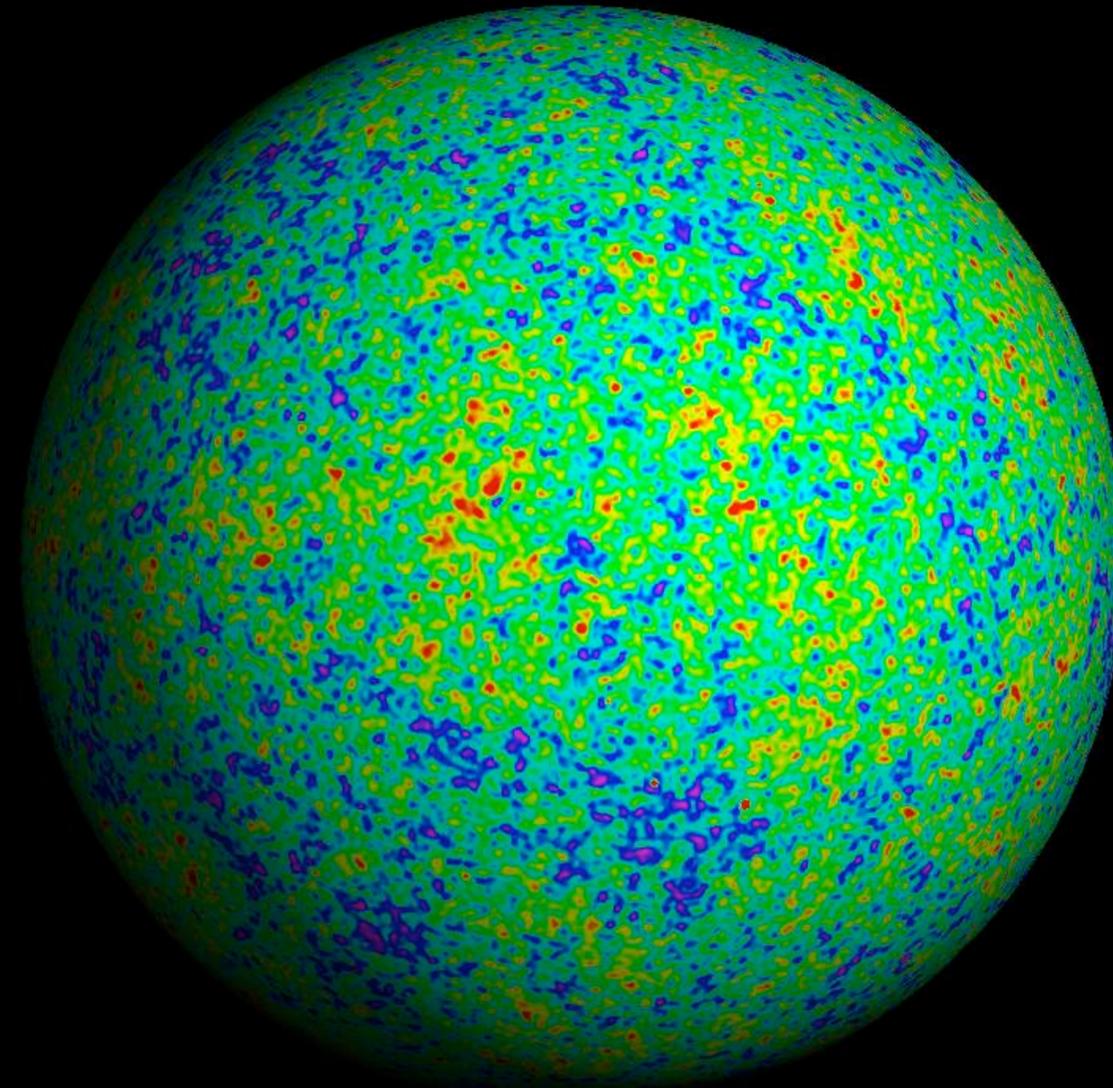
10.000.000.000.000.000.000.000.000 meters



10 billion light-years

100.000.000.000.000.000.000.000.000 meters

Fondo Cósmico de microondas: lo más cerca al Big Bang que hemos observado



100 billion light-years

1.000.000.000.000.000.000.000.000.000 meters

Gracias!

Nanda Rea
INSTITUTE OF SPACE SCIENCES
Barcelona