

# Introduzione all'Astrofisica

Corso terzo anno Fisica  
30 settembre 2019 - 17 gennaio 2020  
(6 CFU, 56 ore)

Docenti: Sandra Savaglio & Sergio Servidio  
*Dipartimento di Fisica, Università della Calabria*



## Prova intermedia:

- Scritta con domande (20) e risposte multiple (4) su prima parte del corso
- A scelta, valida per risultato finale dell'esame
- Prova superata se almeno 14 risposte sono giuste

## II Prova intermedia a fine corso:

- Stessa modalità sulla seconda parte del corso
- A scelta, valida per esonero dallo scritto

## Esame finale:

- Scritto con 40 domande con risposte multiple (4)
- Prova superata se almeno 28 risposte sono giuste
- Orale

# Libri di testo

- **An introduction to the Sun and stars**  
Simon F. Green and Mark H. Jones (2004, Cambridge University Press)  
ISBN 0521546222
- **An introduction to galaxies and cosmology**  
M. H. Jones & R.J.A. Lambourne (2004, Cambridge University Press)  
ISBN: 0521546230
- **Observational cosmology**  
Stephen Serjeant (2010, Cambridge University Press)

Materiale delle lezioni:

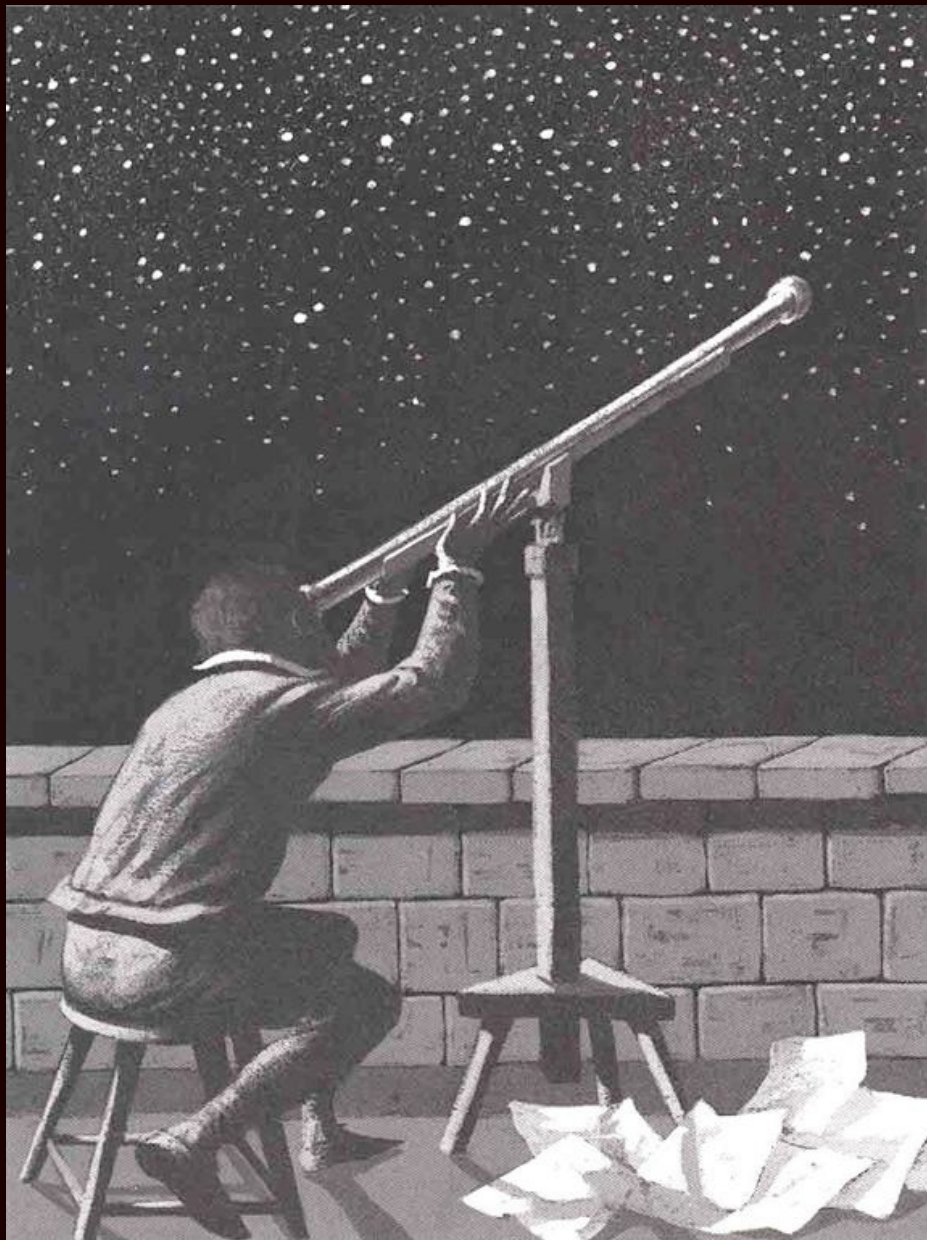
<https://sandrasavaglio.info/course-stars-galaxies-cosmology/>

# Contenuto del corso



# Firenze, anno 1609: La nascita dell'astrofisica moderna

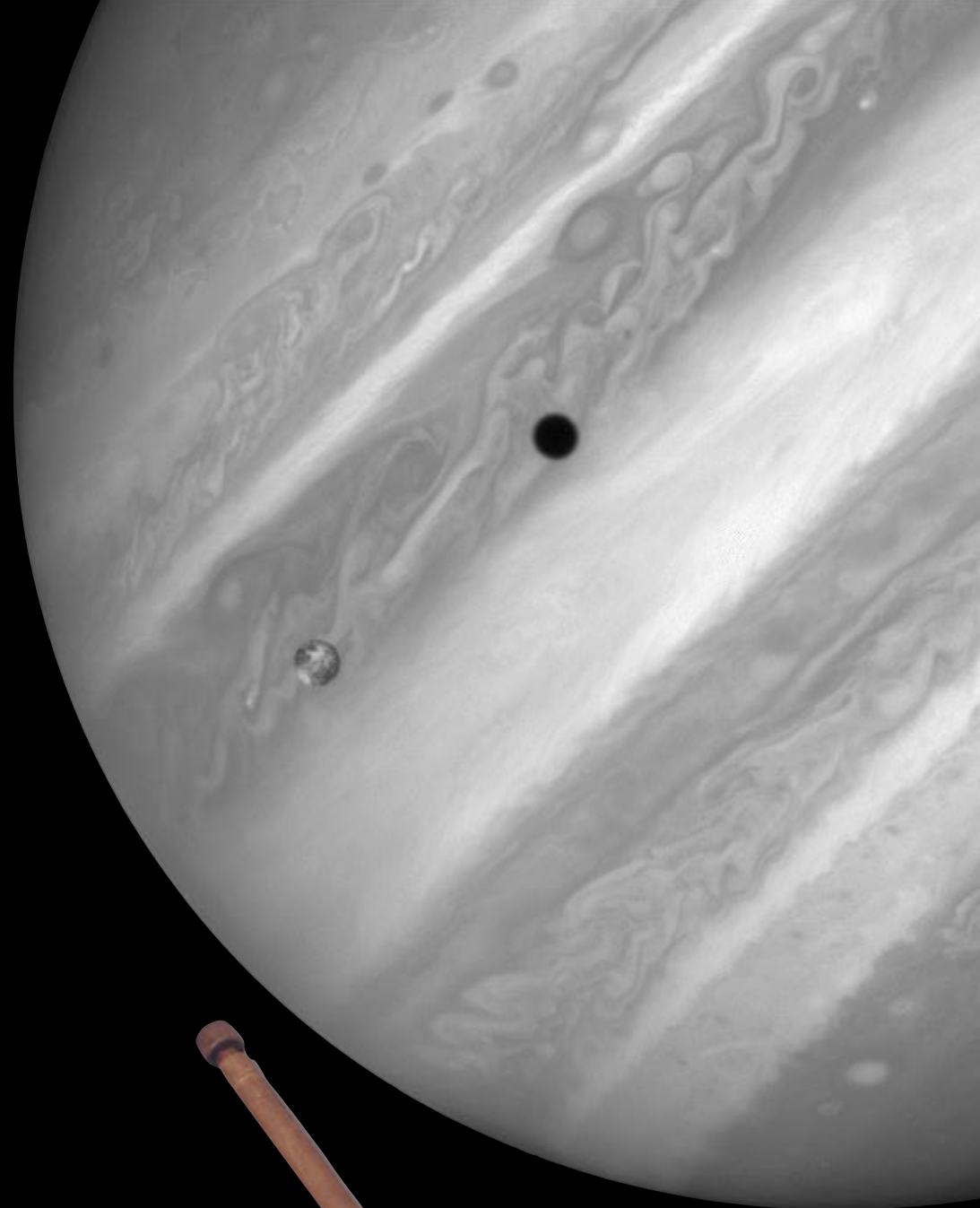
Galileo Galilei  
(Pisa 1564 - Arcetri 1642)



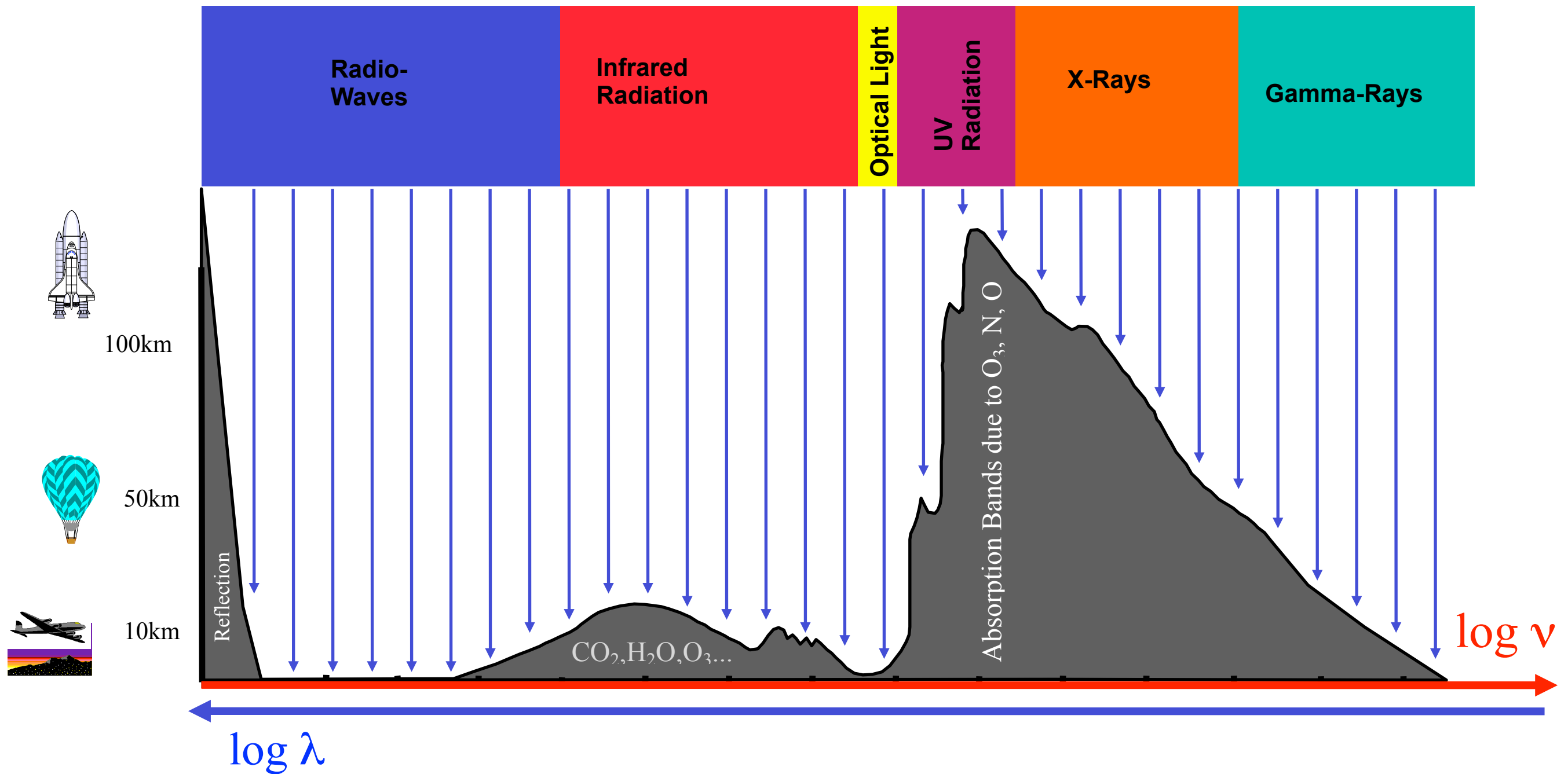


Nel 1609 il telescopio viene usato per la prima volta per guardare il cielo da Galileo

Observationes Iovis	
1610	
2. d. Iovis.	man. H. 12
30. man.	
2. X. vi.	
3. man.	
3. Ho. 5.	
4. man.	
6. man.	
8. man. H. 13.	
10. man.	
11.	
12. H. 4. u. 1/2.	
13. man.	
14. cas. e.	



# Observational windows of electromagnetic radiation





# Very Large Telescope

Four telescopes

Mirrors: 8 meter size

Cerro Paranal (Chile) at 2600 meters altitude





# Hubble Space Telescope

UV / optical / near infrared telescope

Launched in 1990

Altitude: 547 km

Time to complete one orbit: ~ 95 minutes

Speed: ~ 7.6 km/s





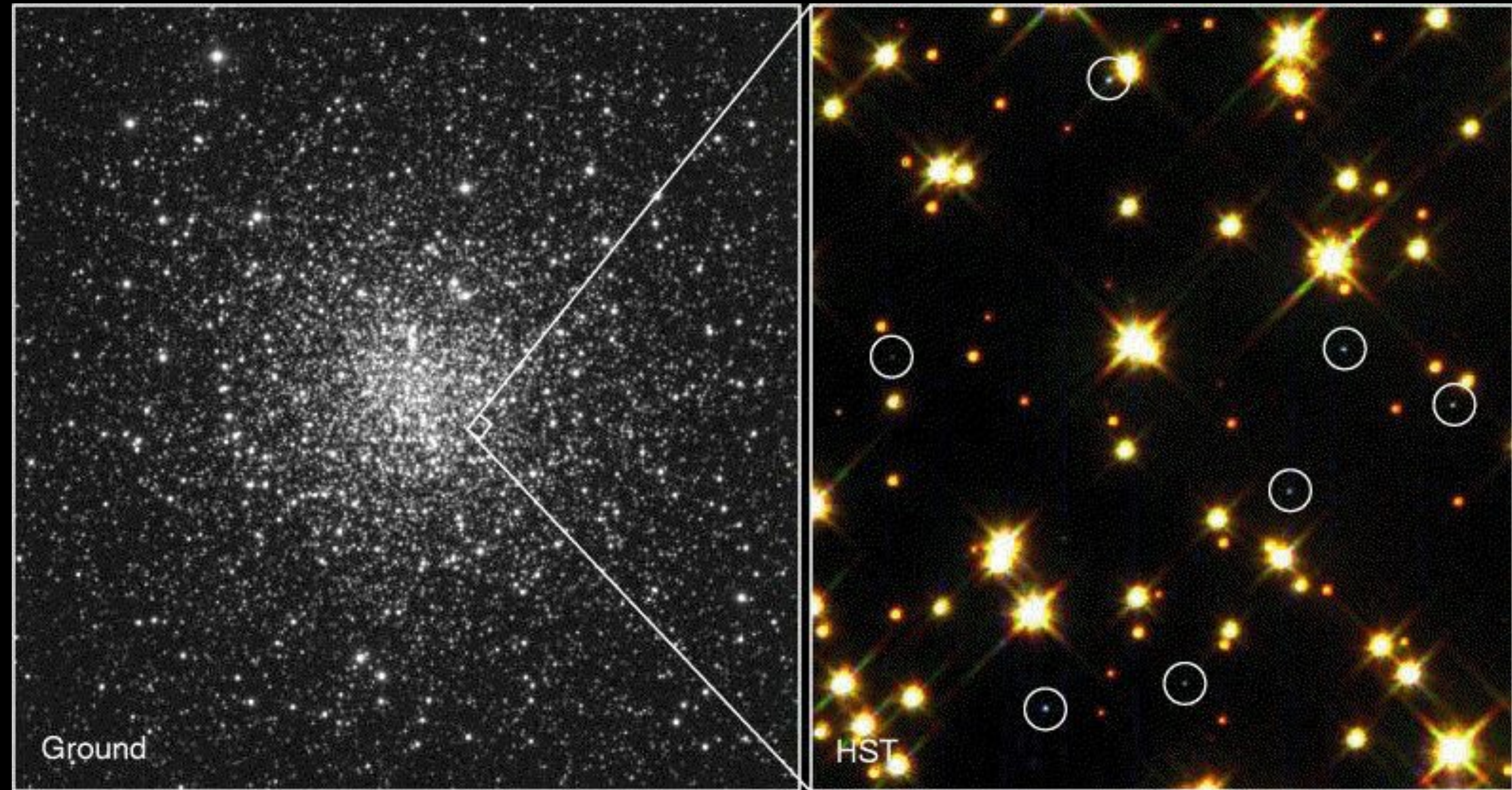
# Ammasso Globulare Messier 4

Ground observations

Hubble Space Telescope image

Ground

HST



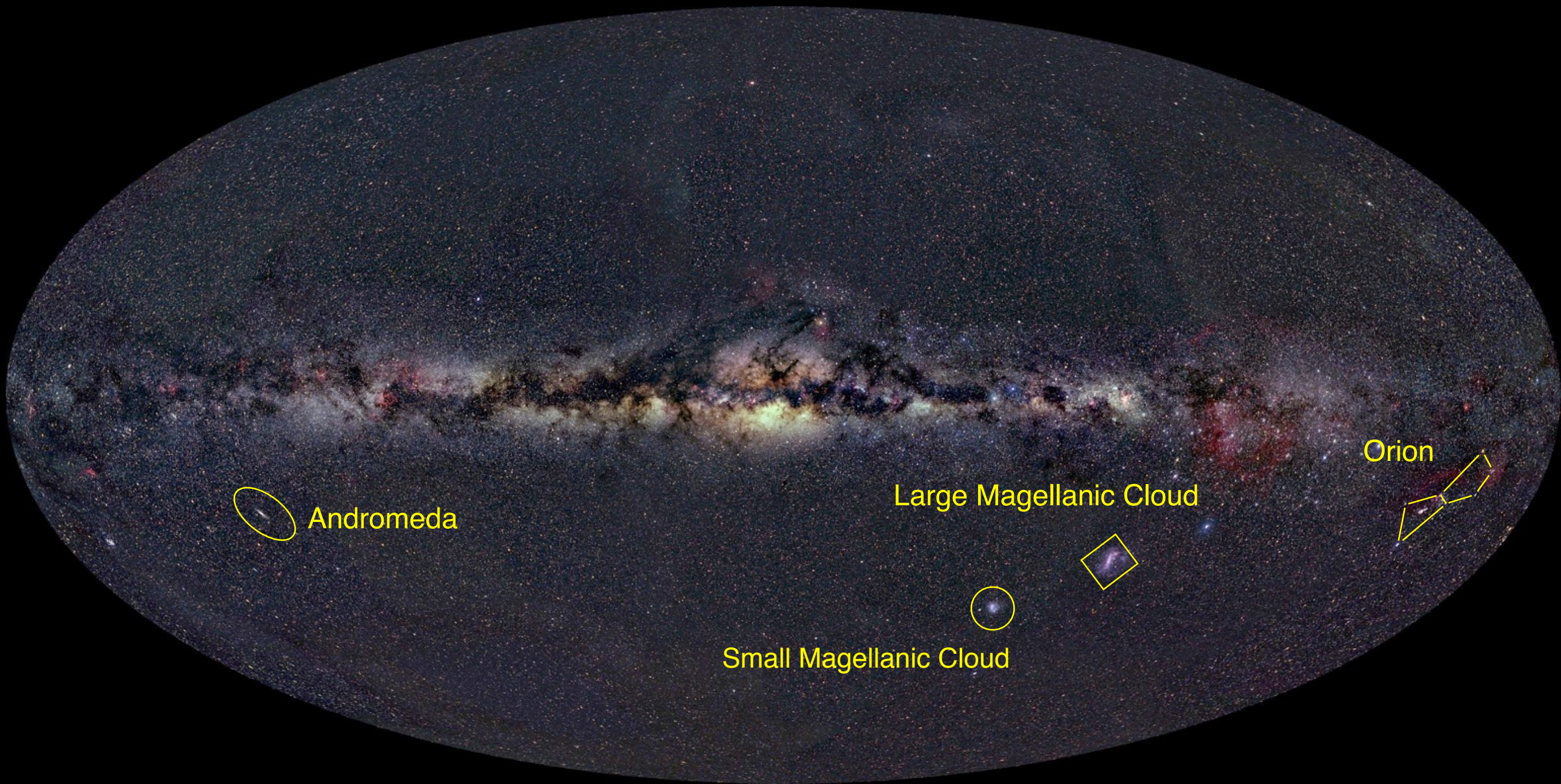


# Our Galaxy: the Milky Way



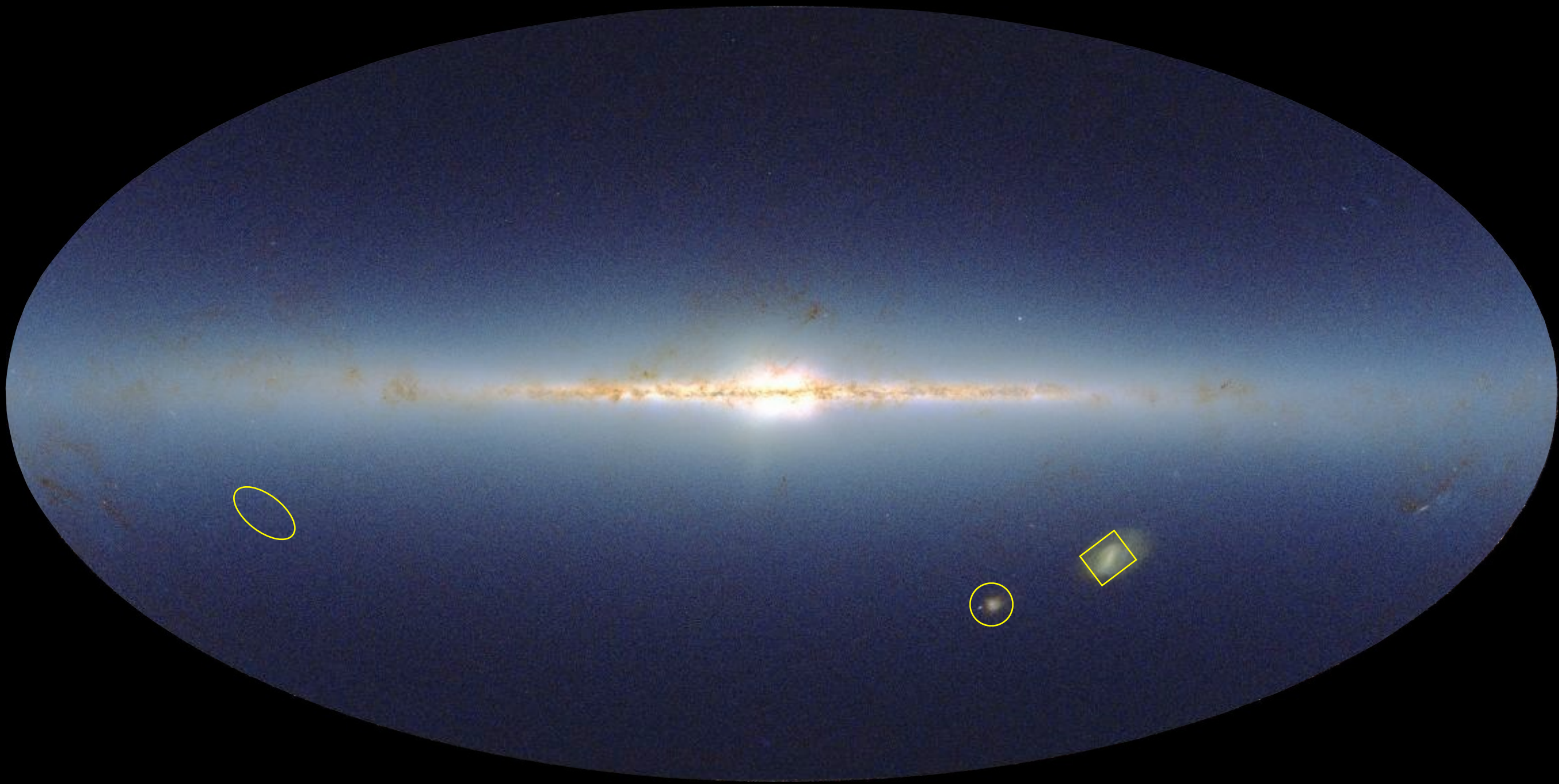


# Our Galaxy: the Milky Way



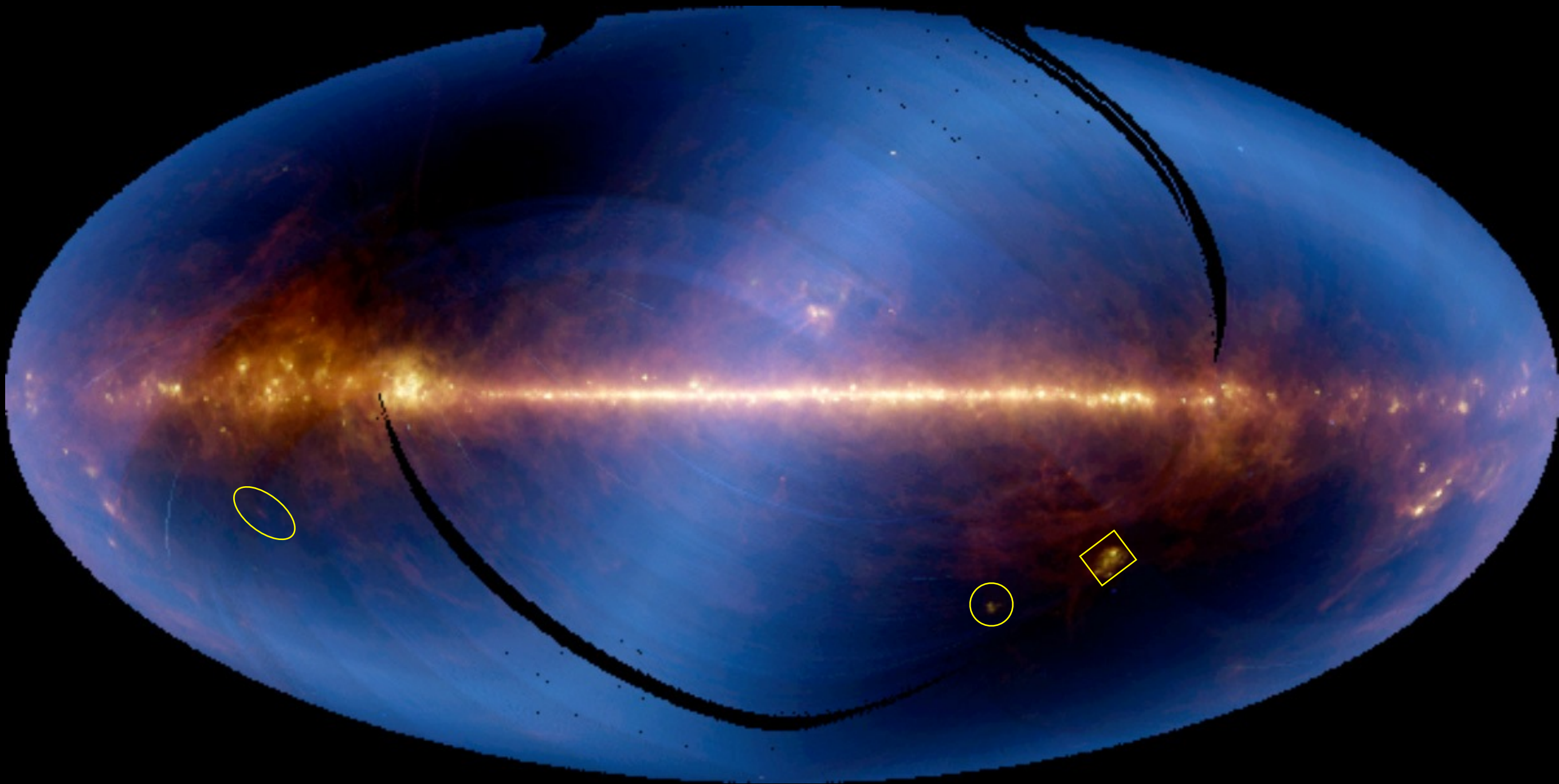


# Our Galaxy: the Milky Way



Near IR

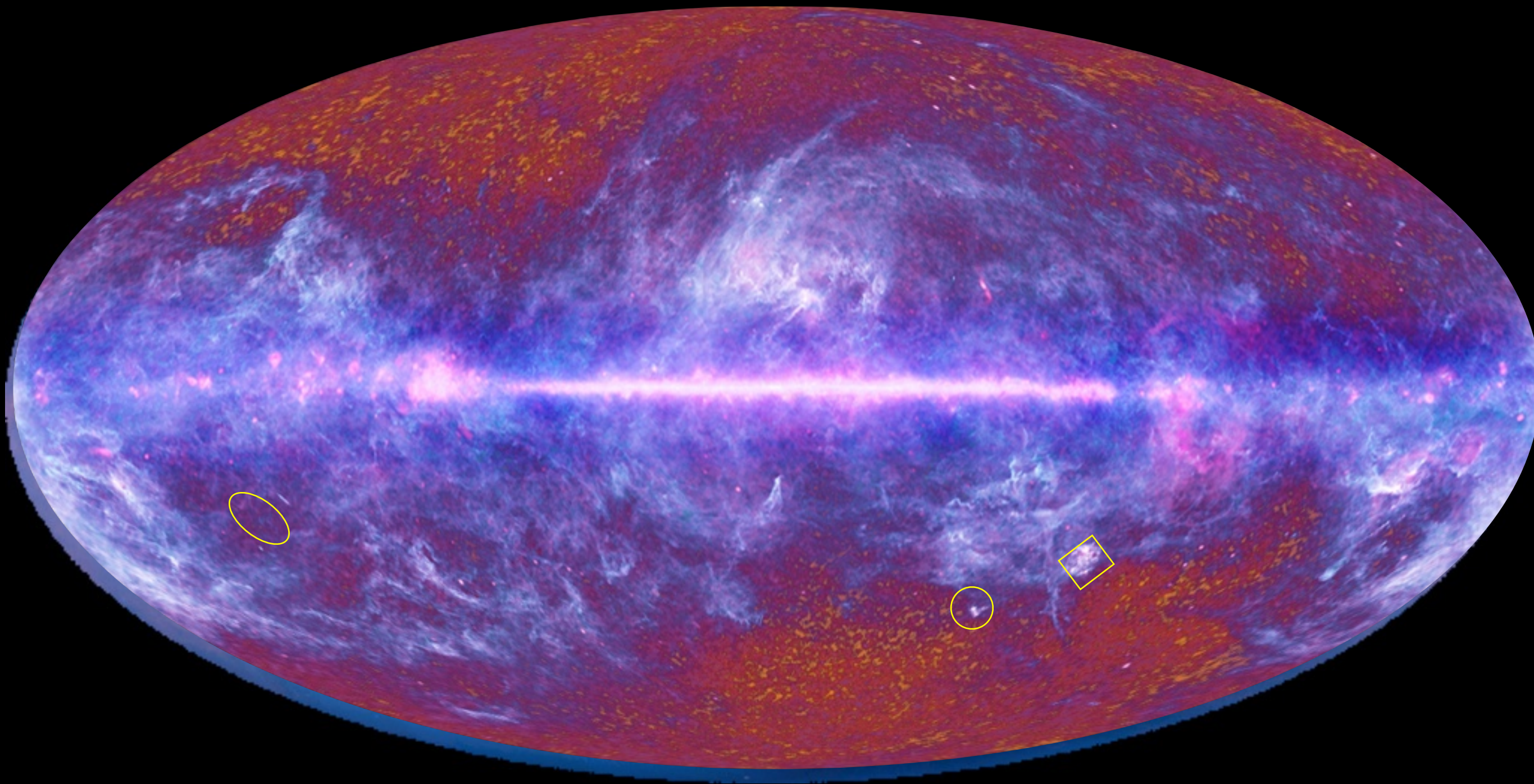
# Our Galaxy: the Milky Way



Far IR



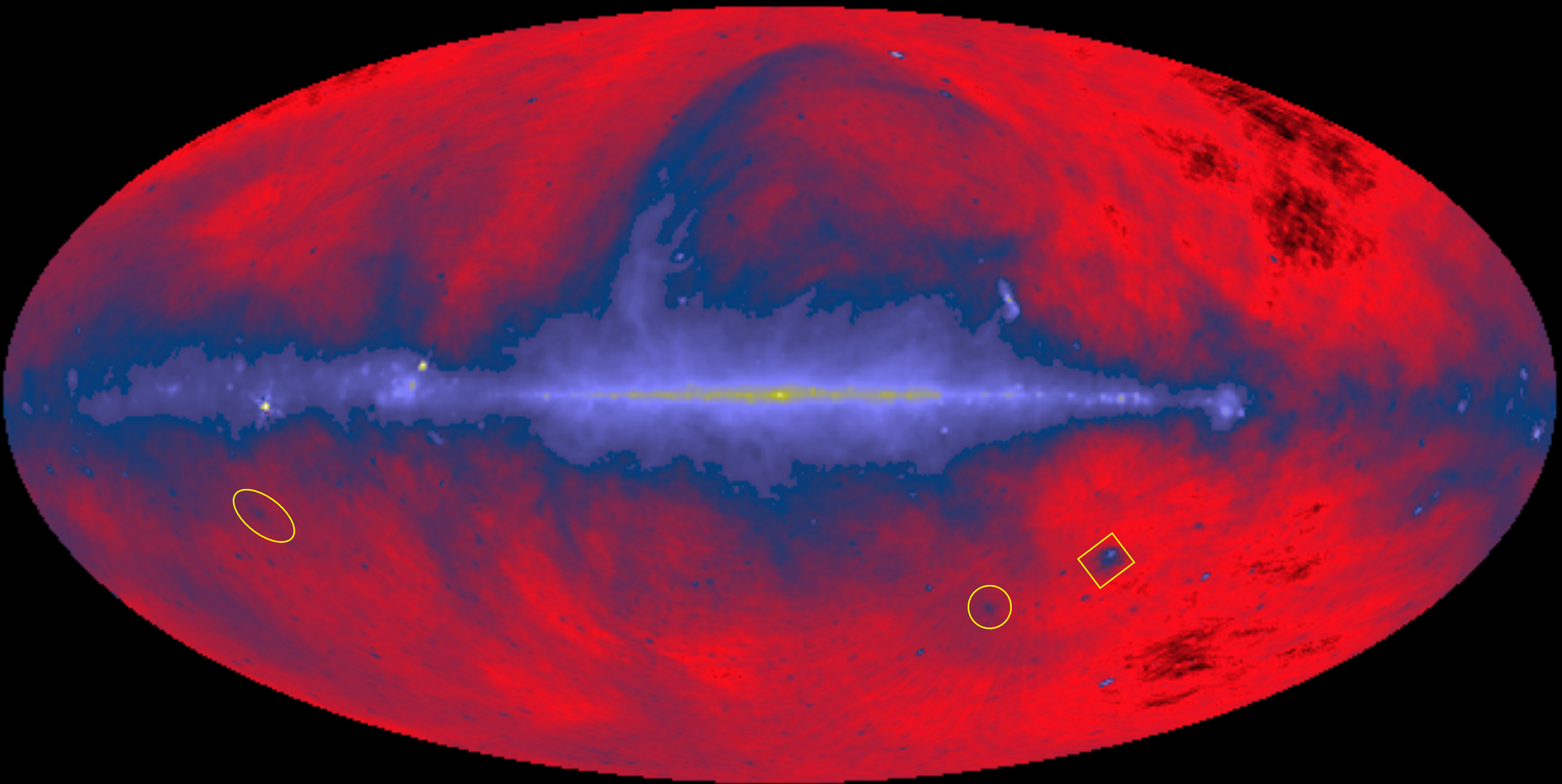
# Our Galaxy: the Milky Way



Microwave



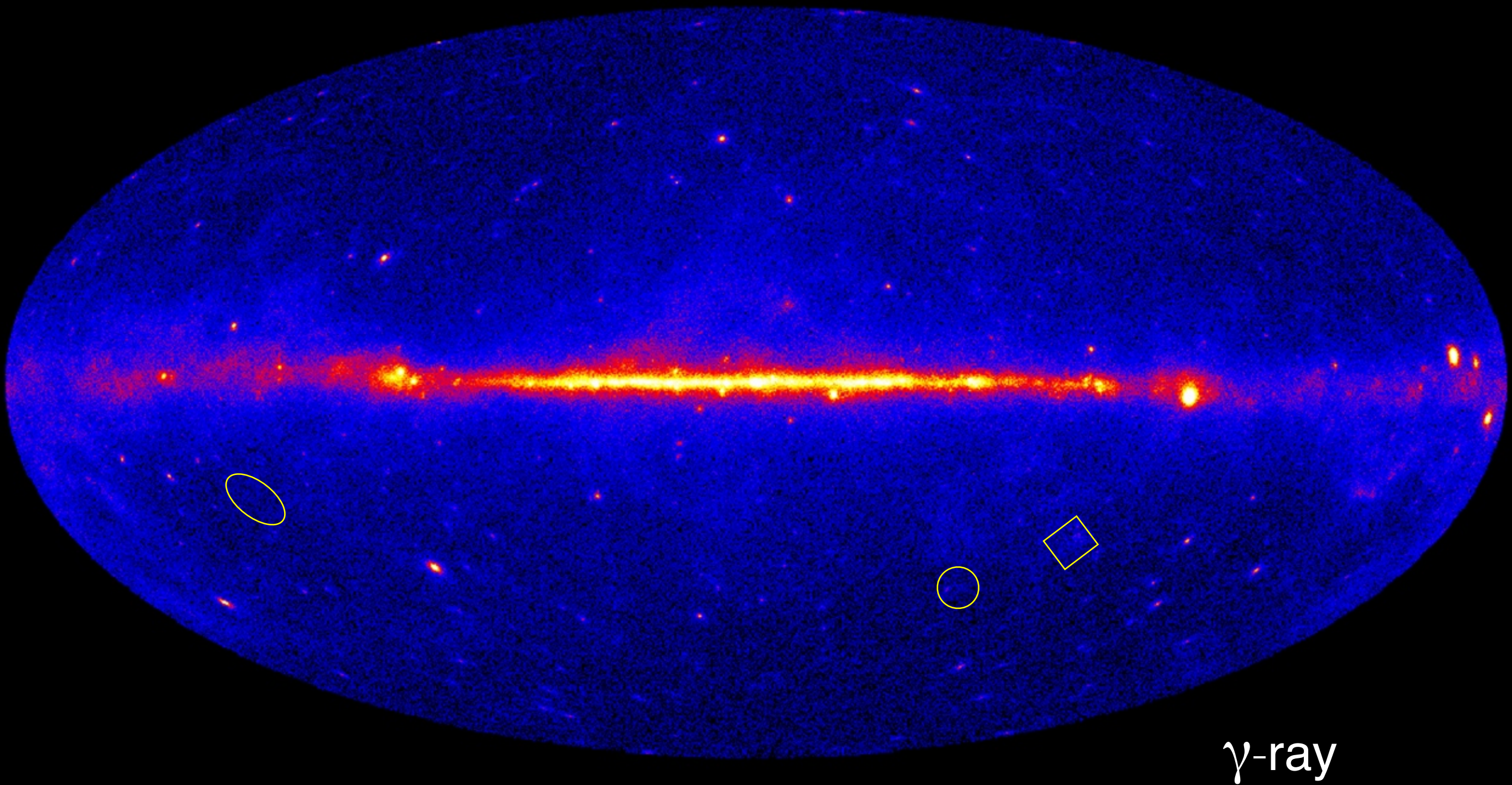
# Our Galaxy: the Milky Way



Radio



# Our Galaxy: the Milky Way



# Distance scale:

1 parallasse secondo = 1 parsec (pc) = 3.26 light years

Light year: 9 460 000 000 000 km =  $9.46 \times 10^{12}$  km

Earth - Sun:  $1.5 \times 10^8$  km = 8.3 light minutes

Closest star (Proxima Centauri): 4.25 light years

Diameter of our galaxy (Miky Way): 100 000 light years = 30 kpc

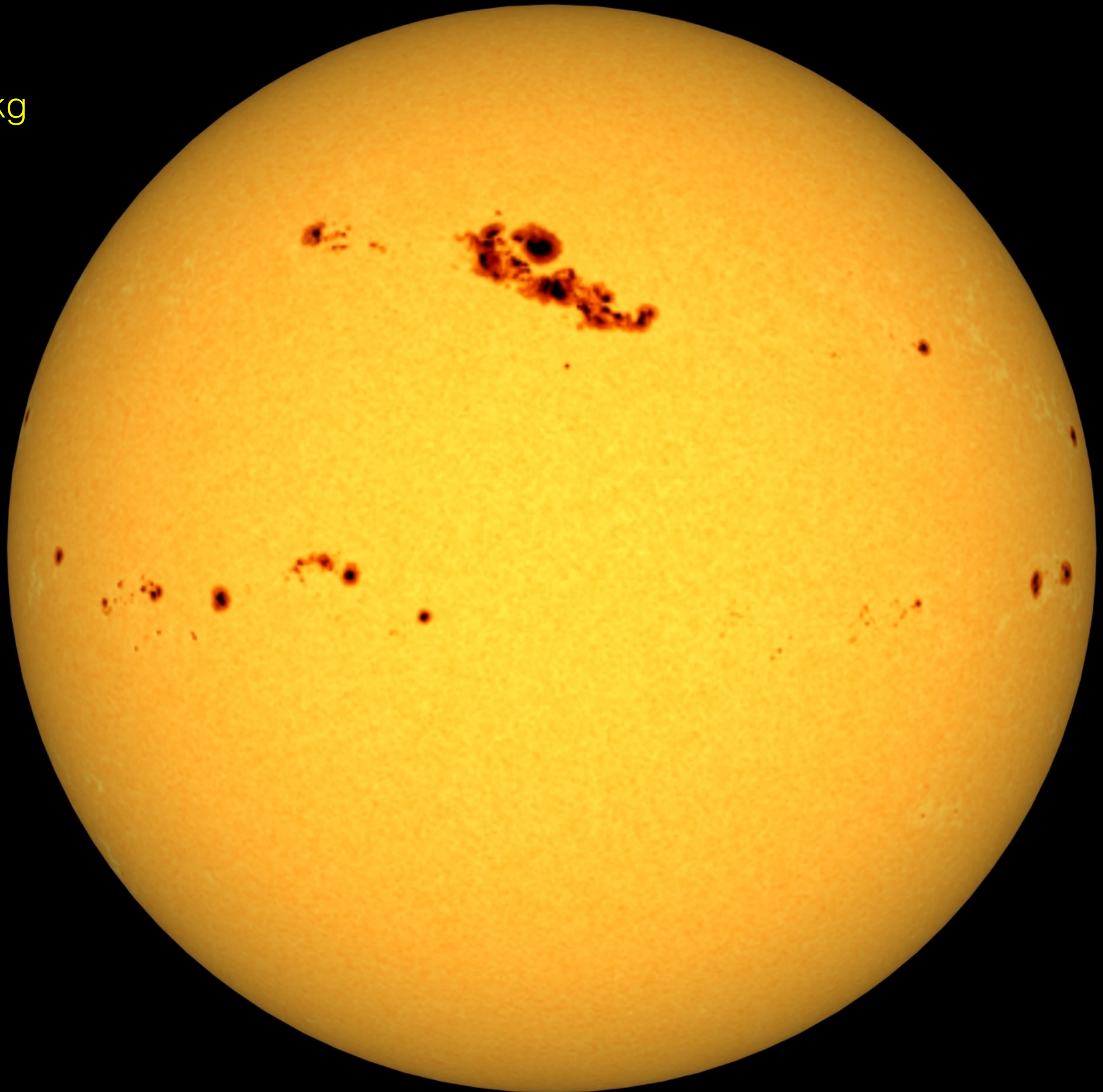
Distance of Andromeda galaxy: 2.54 million light years = 0.779 Mpc

The Universe is 4D, where time is the fourth dimension

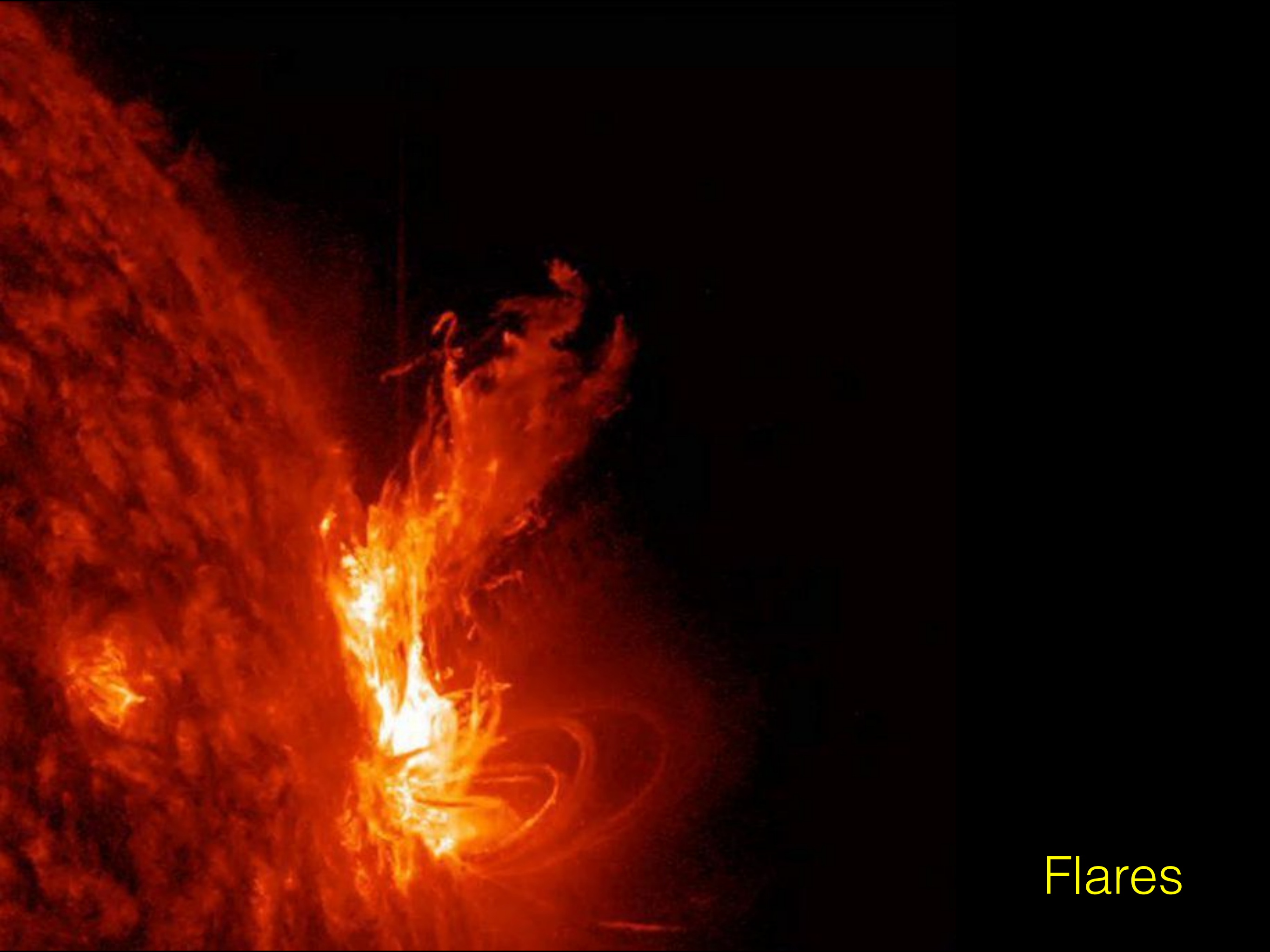


# The Sun

Mass ( $M_{\odot}$ ):  $2 \times 10^{30}$  kg





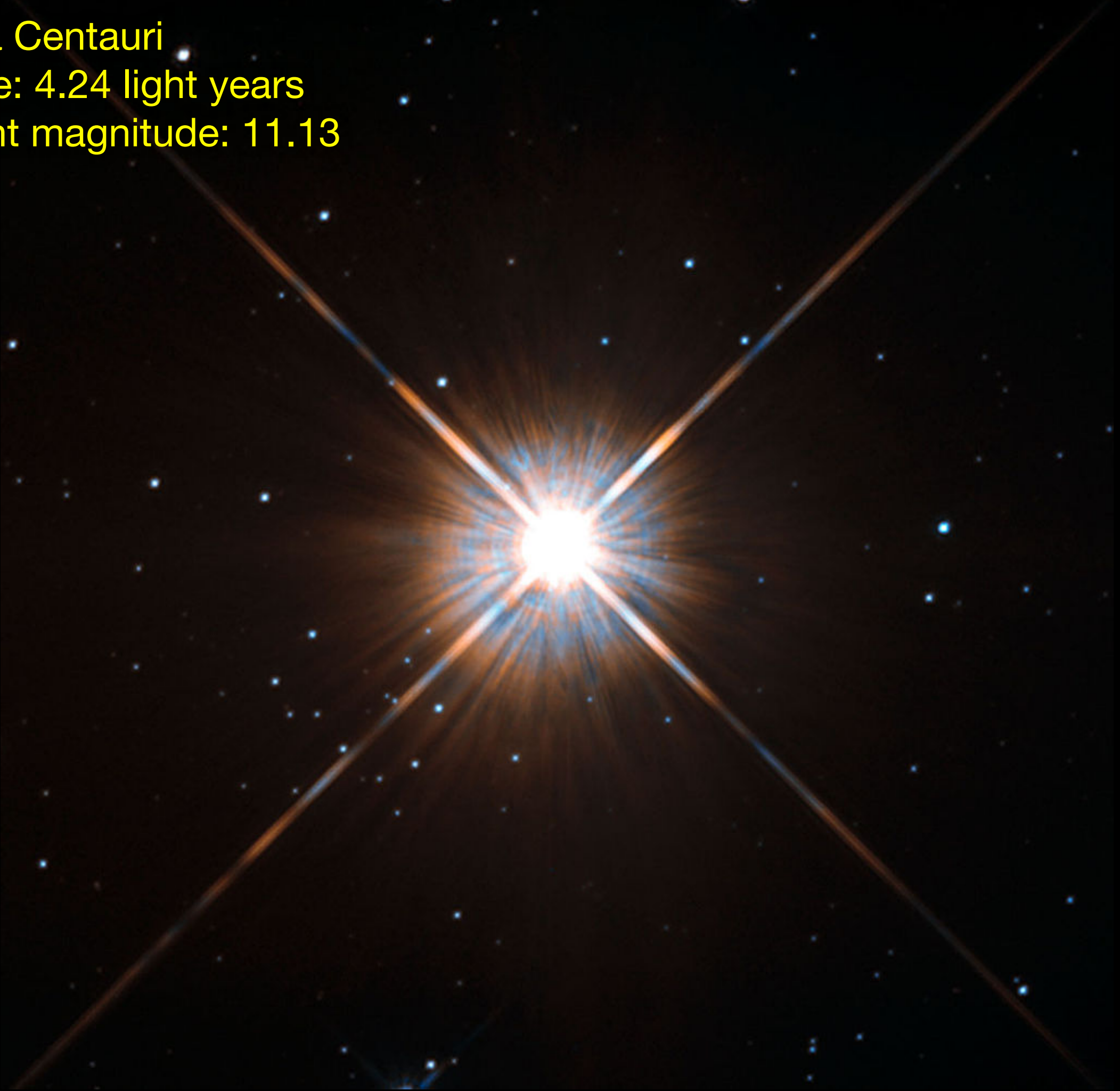


Flares

Proxima Centauri

Distance: 4.24 light years

Apparent magnitude: 11.13





# Costellazione di Orione

**Betelgeuse**

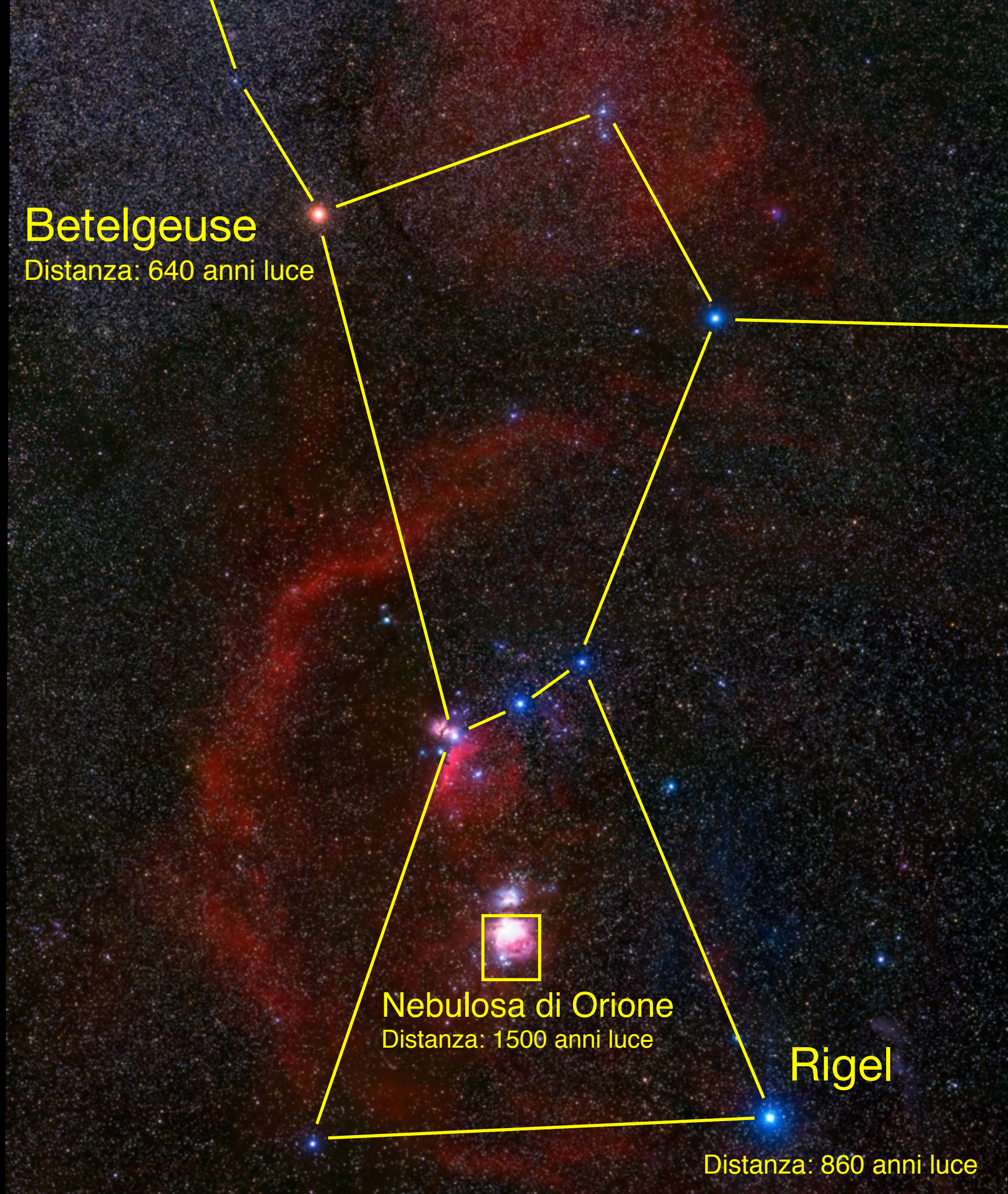
Distanza: 640 anni luce

**Nebulosa di Orione**

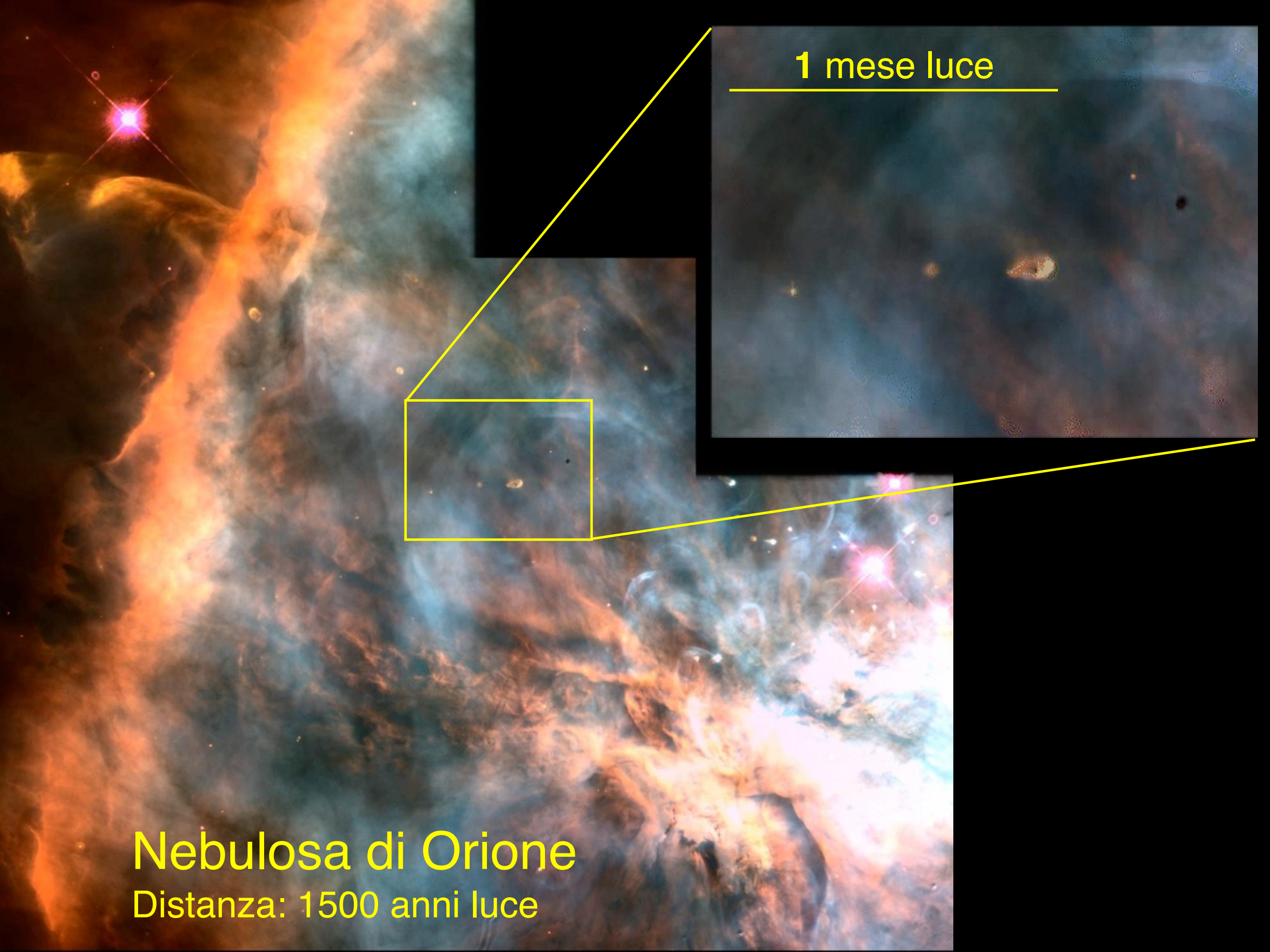
Distanza: 1500 anni luce

**Rigel**

Distanza: 860 anni luce







1 mese luce

Nebulosa di Orione

Distanza: 1500 anni luce



1995: discovered the first planet outside the solar system

Star: 51 Pegasi

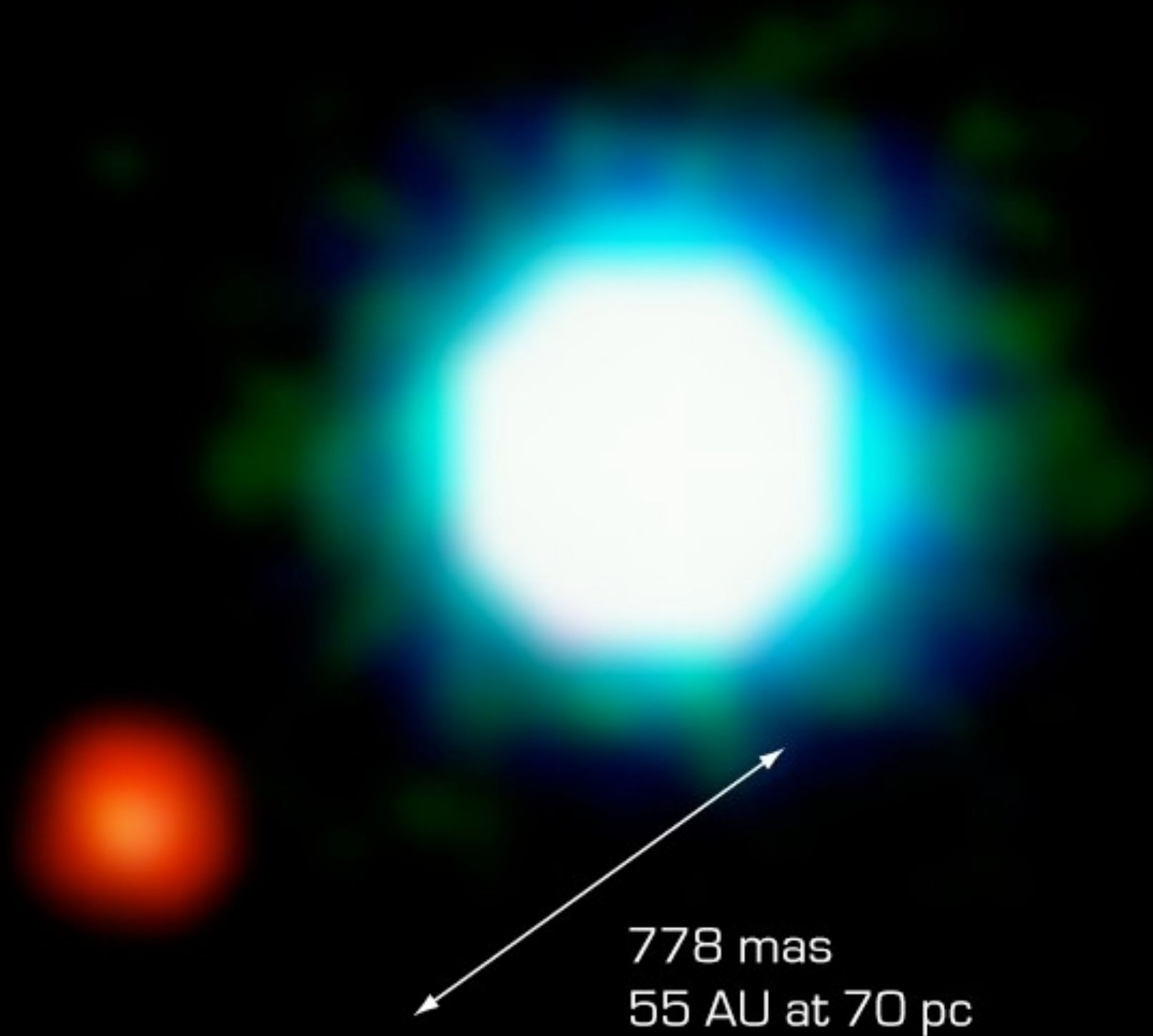
Apparent magnitude:  $m = 5.49$

Distance:  $d = 15.6$  pc (50.9 l.y)





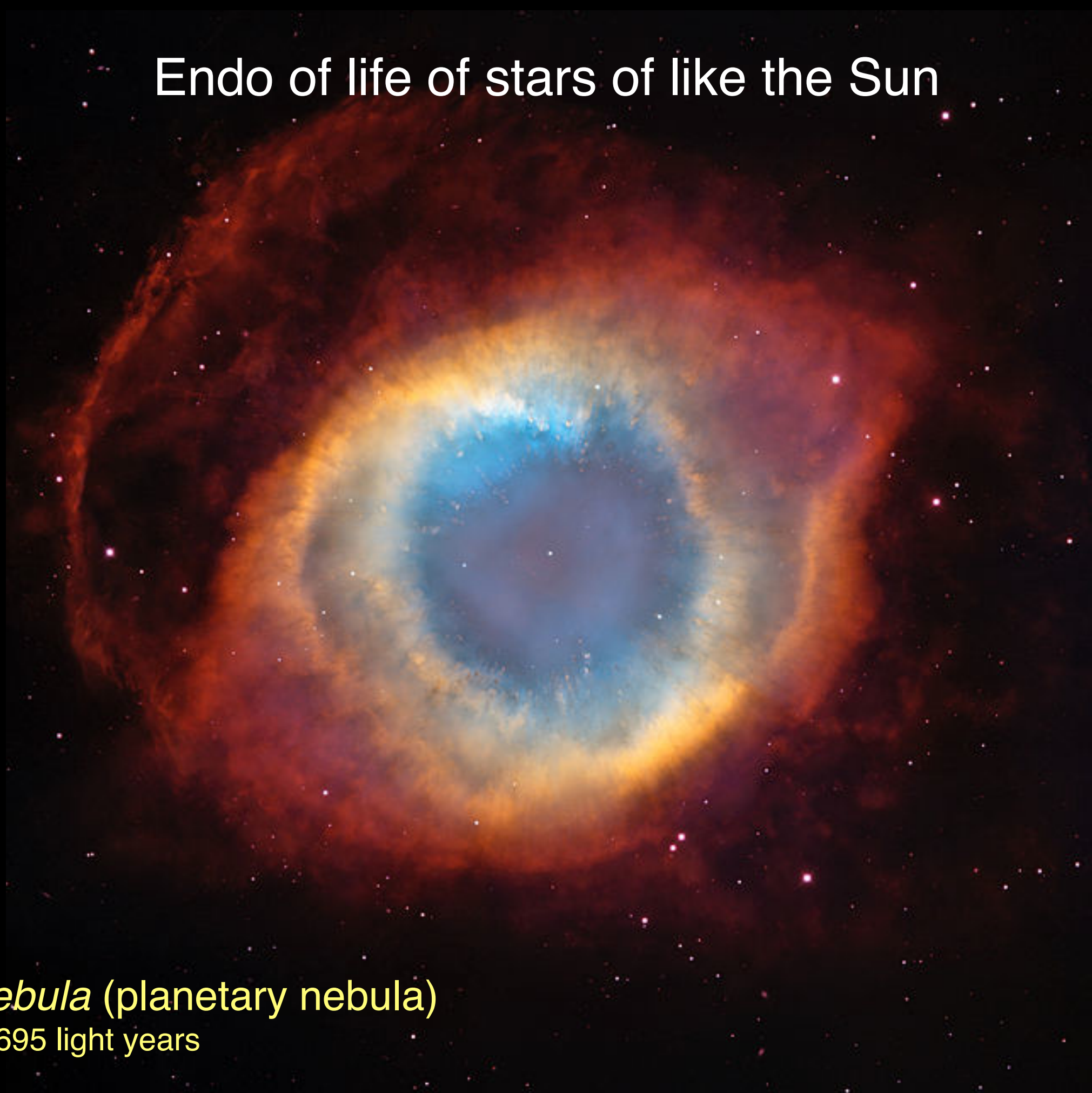
# Extrasolar planets: planets around other stars



Extrasolar planet: M1207b  
Distance: 170 light years



# Endo of life of stars of like the Sun



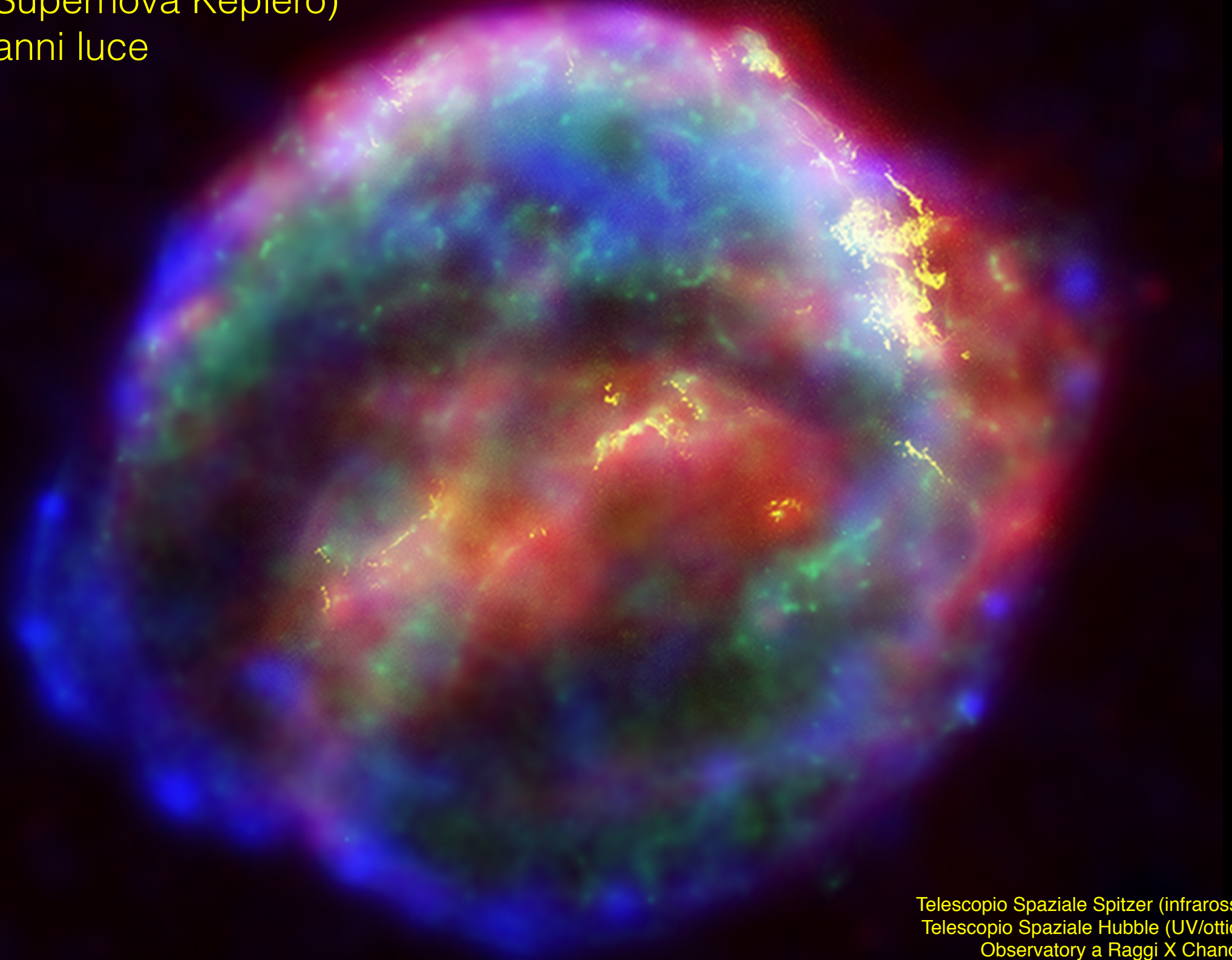
*Helix Nebula* (planetary nebula)

Distance: 695 light years



# Esplosioni di stelle di grande massa (supernove) e loro resti

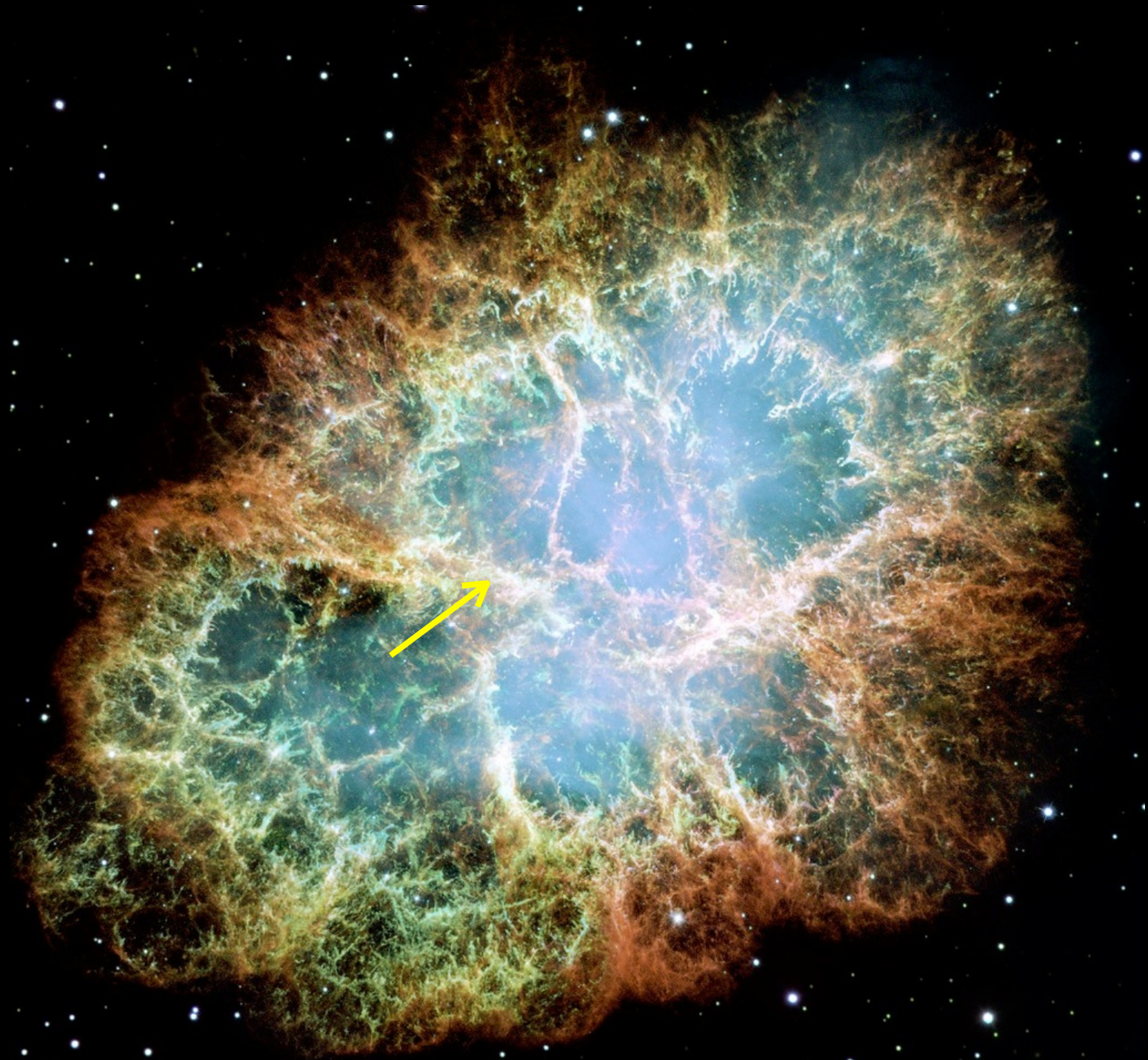
Supernova 1604 (Supernova Keplero)  
Distanza: 20 mila anni luce



Telescopio Spaziale Spitzer (infrarosso)  
Telescopio Spaziale Hubble (UV/ottico)  
Observatory a Raggi X Chandra



# Stelle di neutroni e pulsar come resti di esplosioni stellari



Resto di supernova: *Nebulosa del Granchio*  
Distanza: 6500 anni luce  
Esplosione vista nell'anno 1054  
Dimensioni della bolla: 33 anni luce circa

Raggi X (blu)  
Visibile (rosso)



# Stelle di neutroni e pulsar come resti di esplosioni stellari



## Stella di neutroni (pulsar)

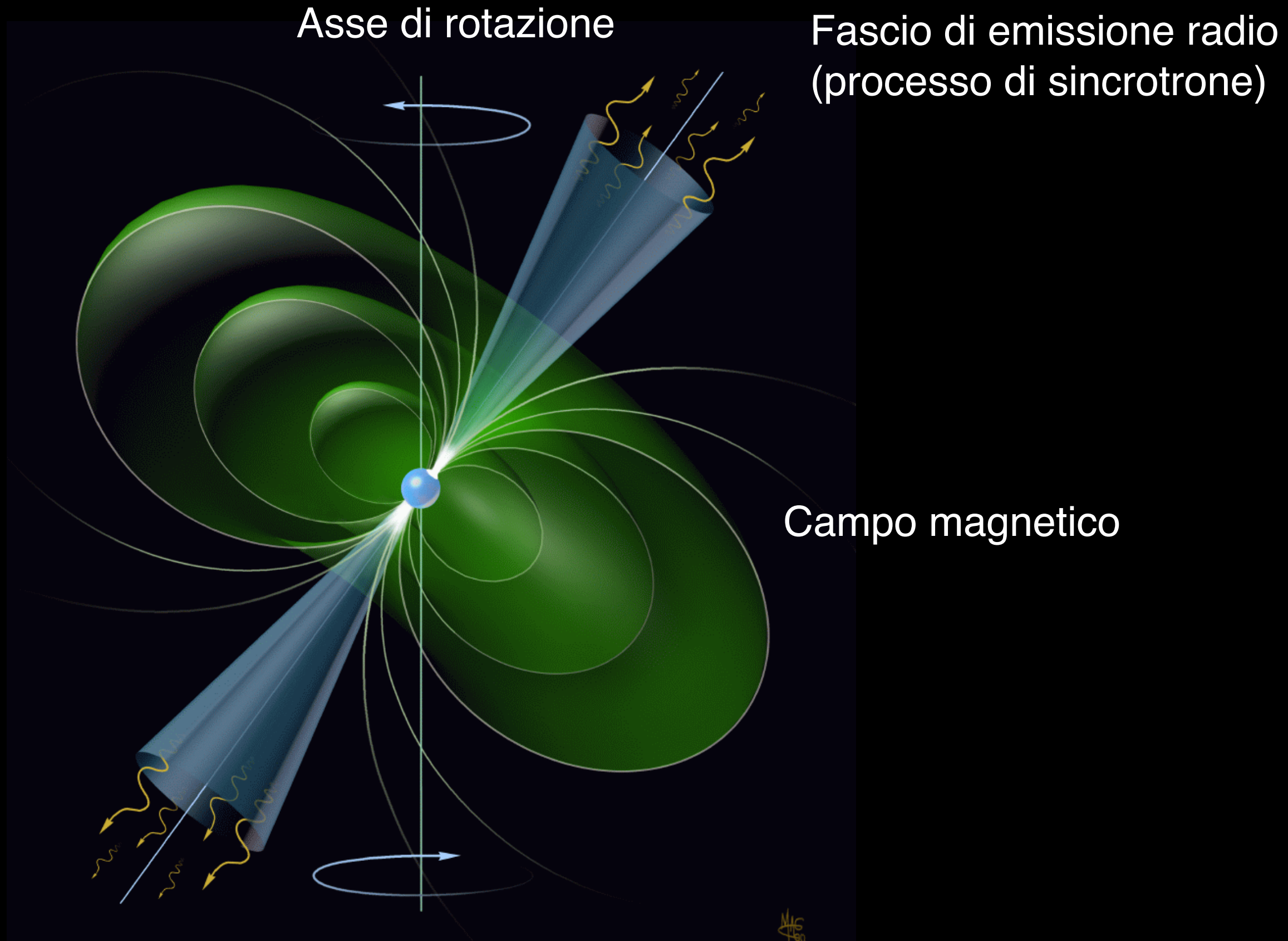
- Dimensione: 20 km
- Massa: 1,4 volte la massa del Sole
- 30 giri su se stessa in un secondo

Resto di supernova: *Nebulosa del Granchio*  
Distanza: 6500 anni luce  
Esplosione vista nell'anno 1054  
Dimensioni della bolla: 33 anni luce circa

Raggi X (blu)  
Visibile (rosso)



# Pulsar: stelle di neutroni con forte rotazione e campo magnetico





Esplosioni più energetiche nell'universo: gamma-ray burst

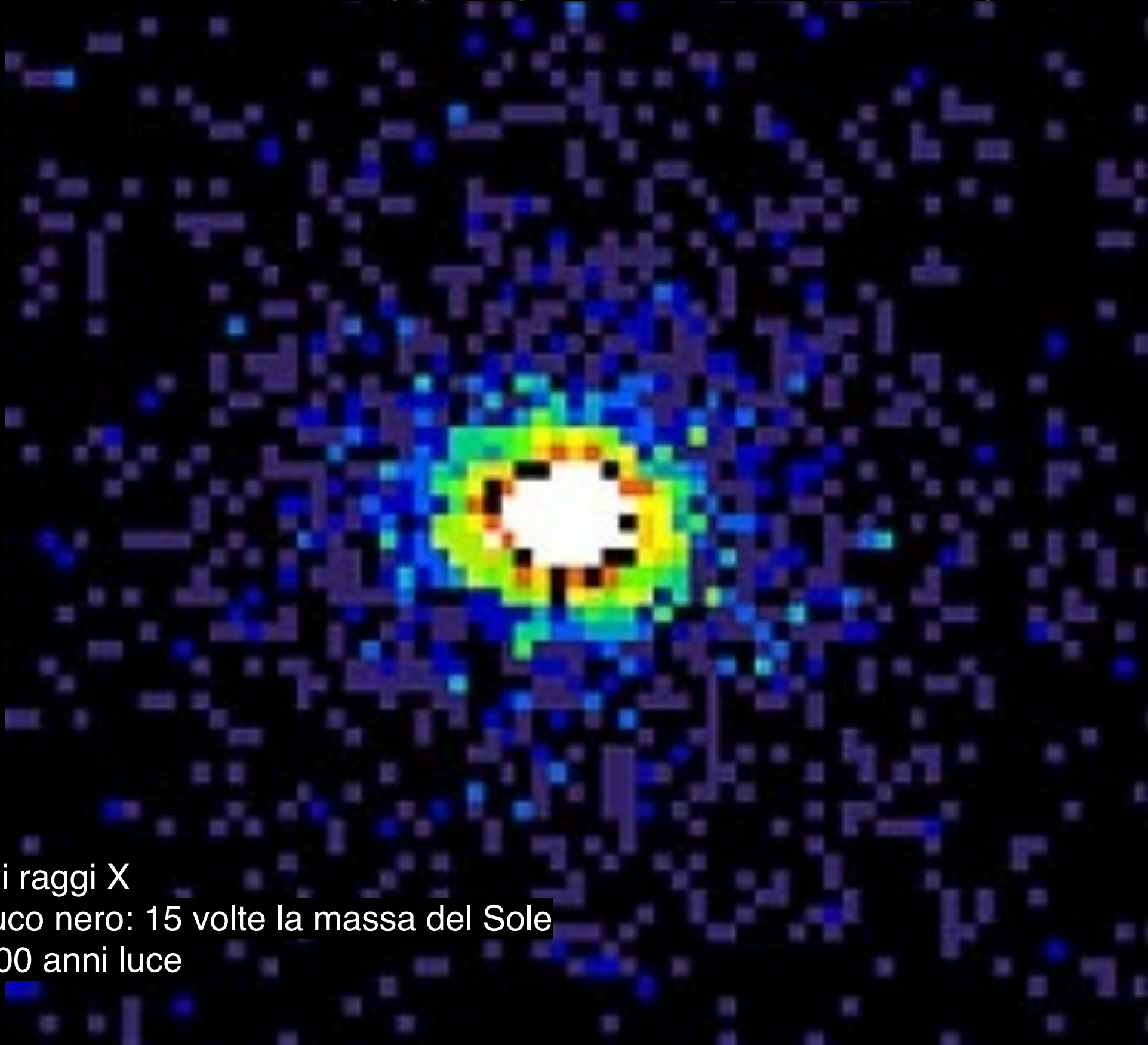
Lampo gamma: GRB 011121

Rivelato il 21 novembre 2001

Esplosione avvenuta 4 miliardi di anni fa



# Buchi neri di origine stellare come resti di esplosioni stellar (visibile nei raggi X grazie a stella compagna)



*Cigno X-1*

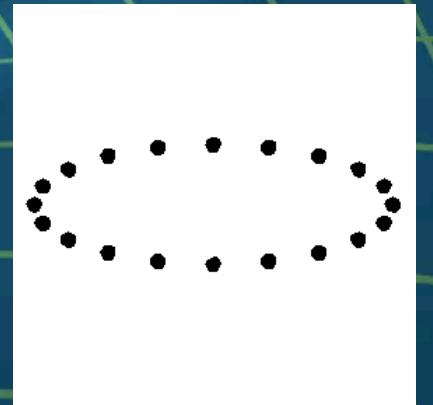
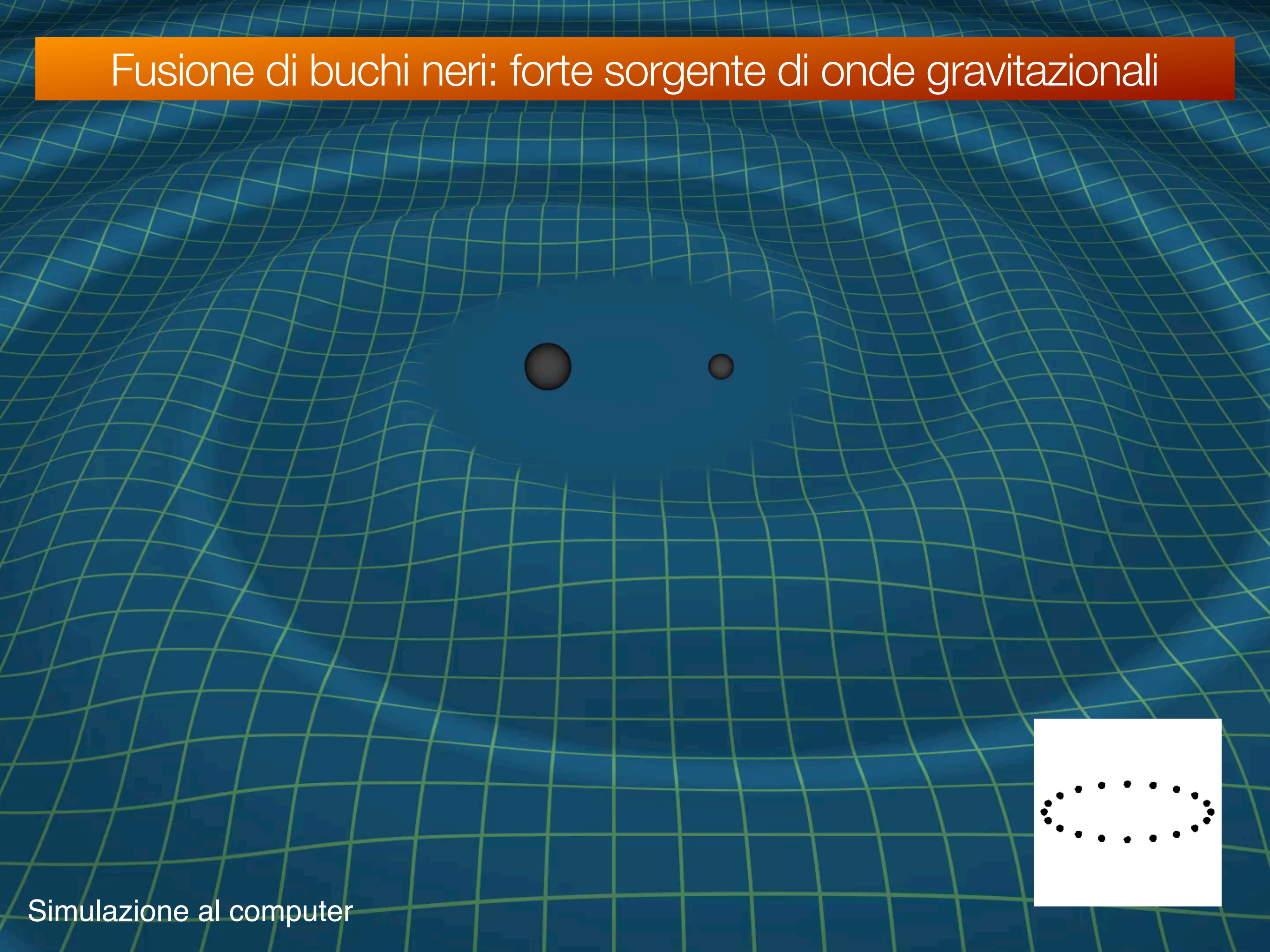
Immagine nei raggi X

Massa del buco nero: 15 volte la massa del Sole

Distanza: 5900 anni luce



# Fusione di buchi neri: forte sorgente di onde gravitazionali



Simulazione al computer

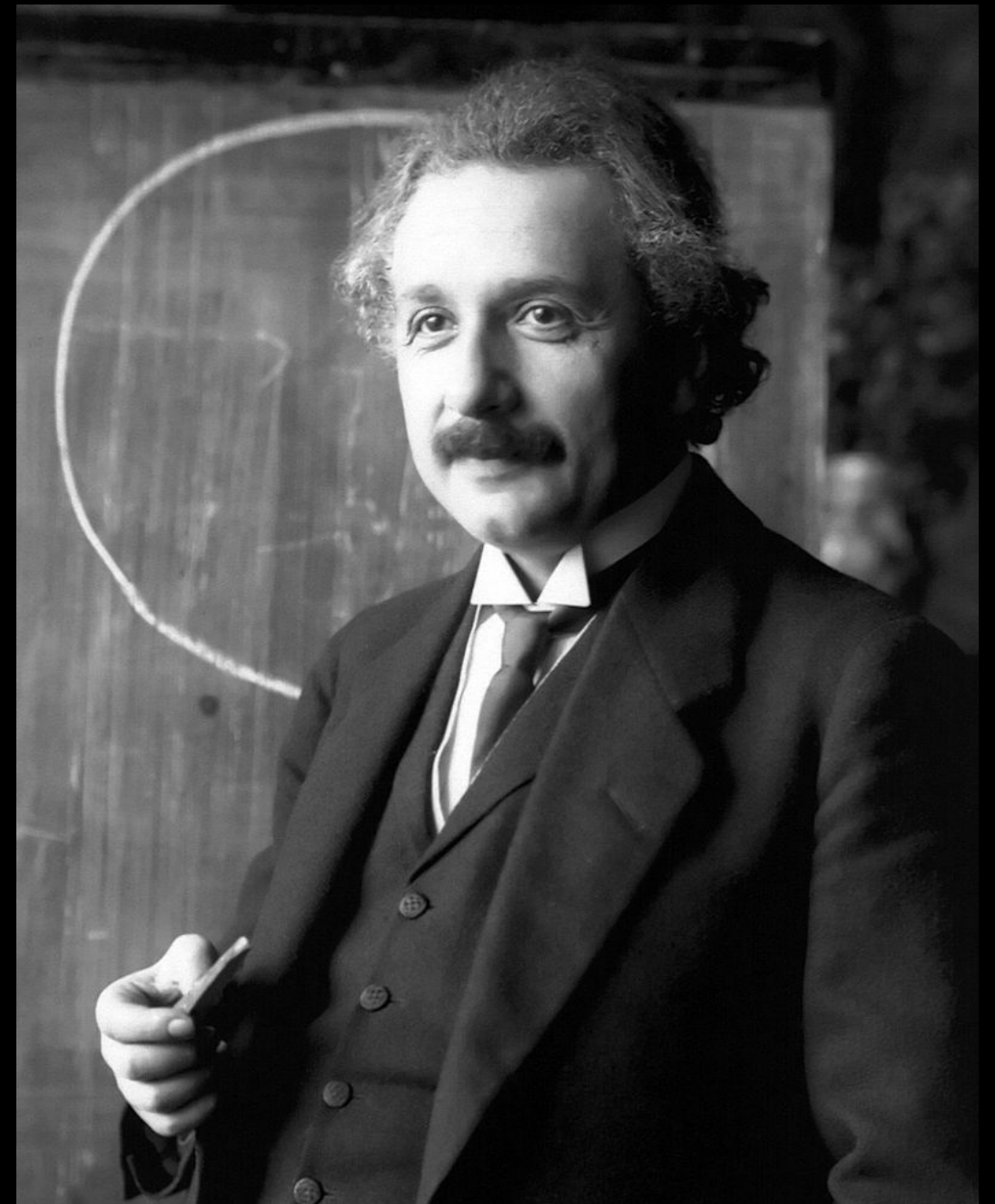


# Le onde gravitazionali

**1915:** Albert Einstein pubblica la teoria della Relatività Generale

**1916:** la Relatività Generale prevede l'esistenza delle onde gravitazionali

**Definizione:** oggetti con massa e in moto generano cambiamenti della curvatura dello spazio-tempo che si propagano alla velocità della luce in modo ondulatorio





# Jets and Debris from a Neutron Star Collision

Animazione al computer





# La Via Lattea nel cielo notturno

Centro della nostra Galassia



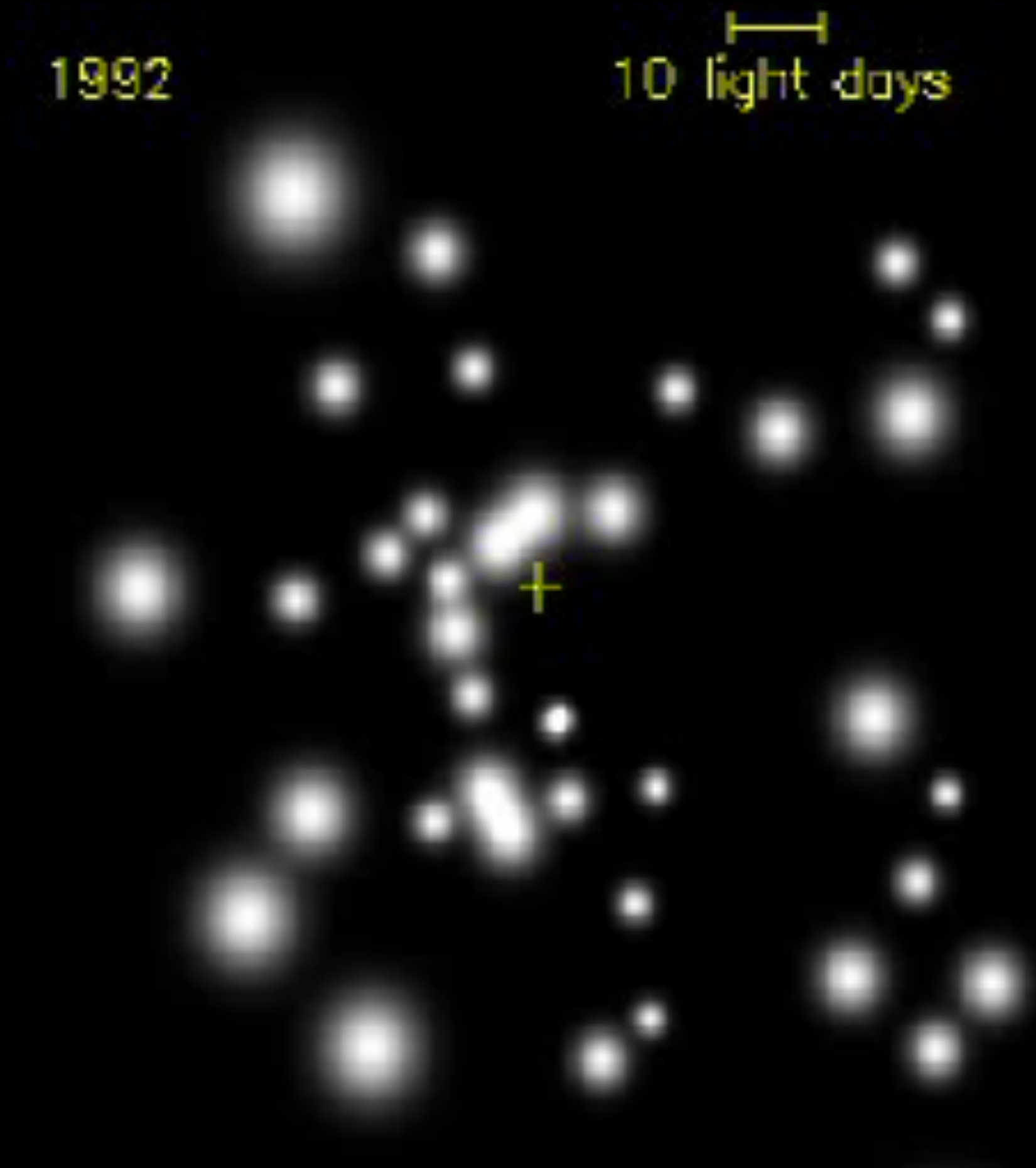


Una gemella della nostra Galassia





# Black hole at the center of the Milky Way





# Spiral galaxies

Edge on spiral galaxy



Face on spiral galaxy





# Irregular galaxies





# Dwarf elliptical galaxies

Leo I  
(distance 250 kpc)





# Galassie interagenti

Galassie Antenne

Distanza: 63 milioni di anni luce





# Galaxies with very luminous center (*Active Galactic Nuclei*)

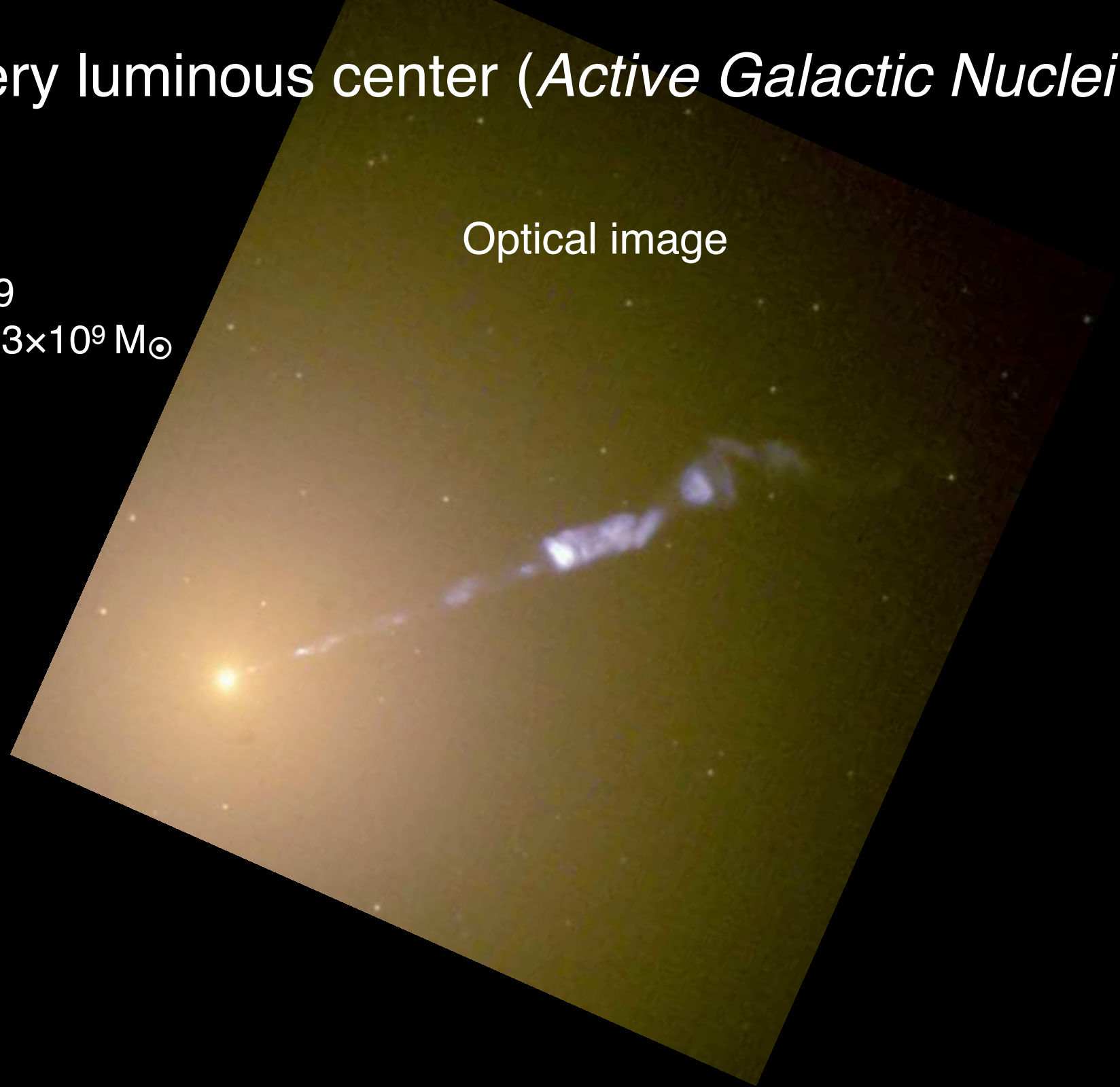
Radio galaxy *Messier 87*

Distance:  $16.40 \pm 0.50$  Mpc

Apparent magnitude:  $m_V = 9.59$

Mass central black hole:  $M_{\text{BH}} = 3 \times 10^9 M_{\odot}$

Optical image





# Galaxies with very luminous center (*Active Galactic Nuclei*)

Radio galaxy *Messier 87*

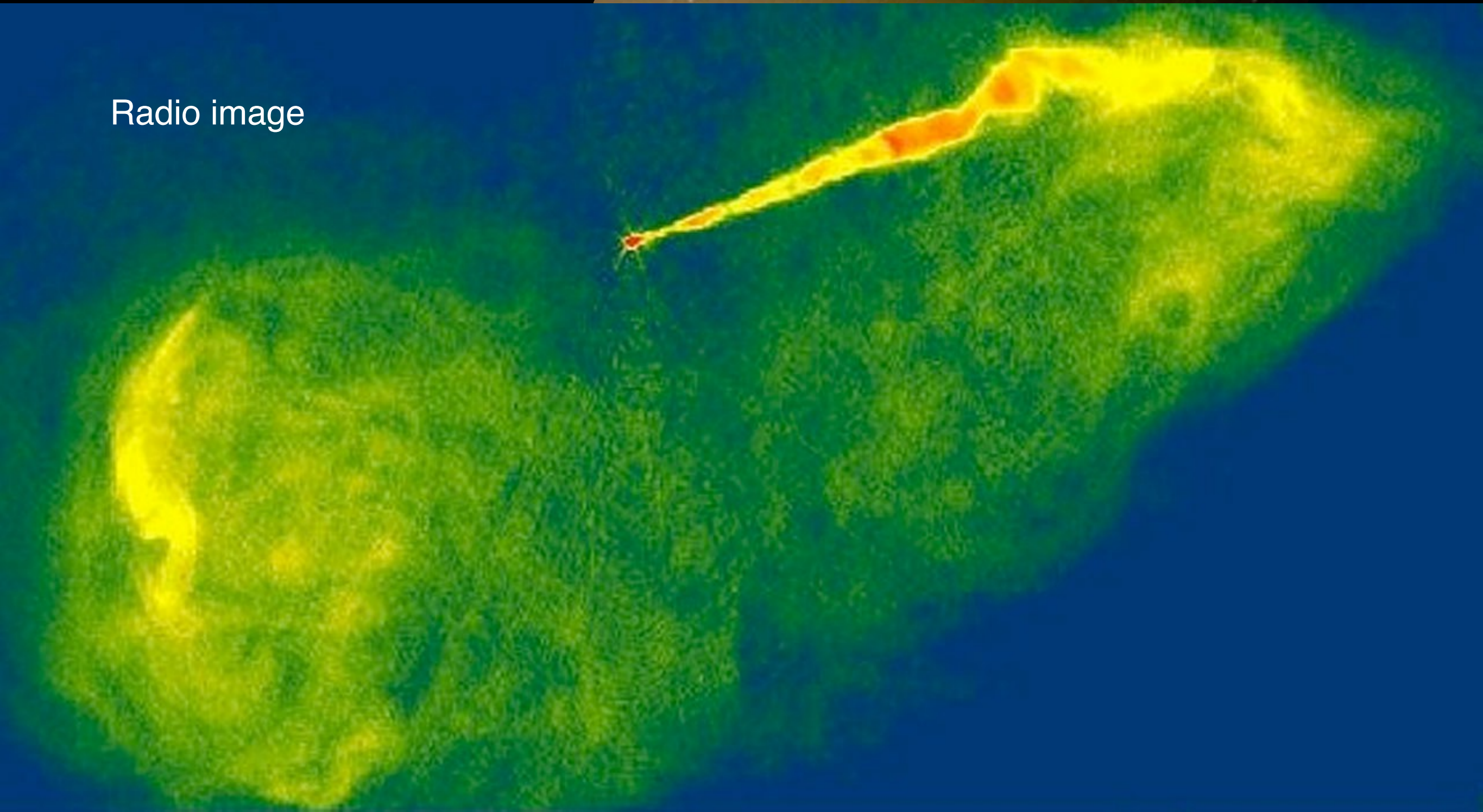
Distance:  $16.40 \pm 0.50$  Mpc

Apparent magnitude:  $m_V = 9.59$

Mass central black hole:  $M_{\text{BH}} = 3 \times 10^9 M_{\odot}$

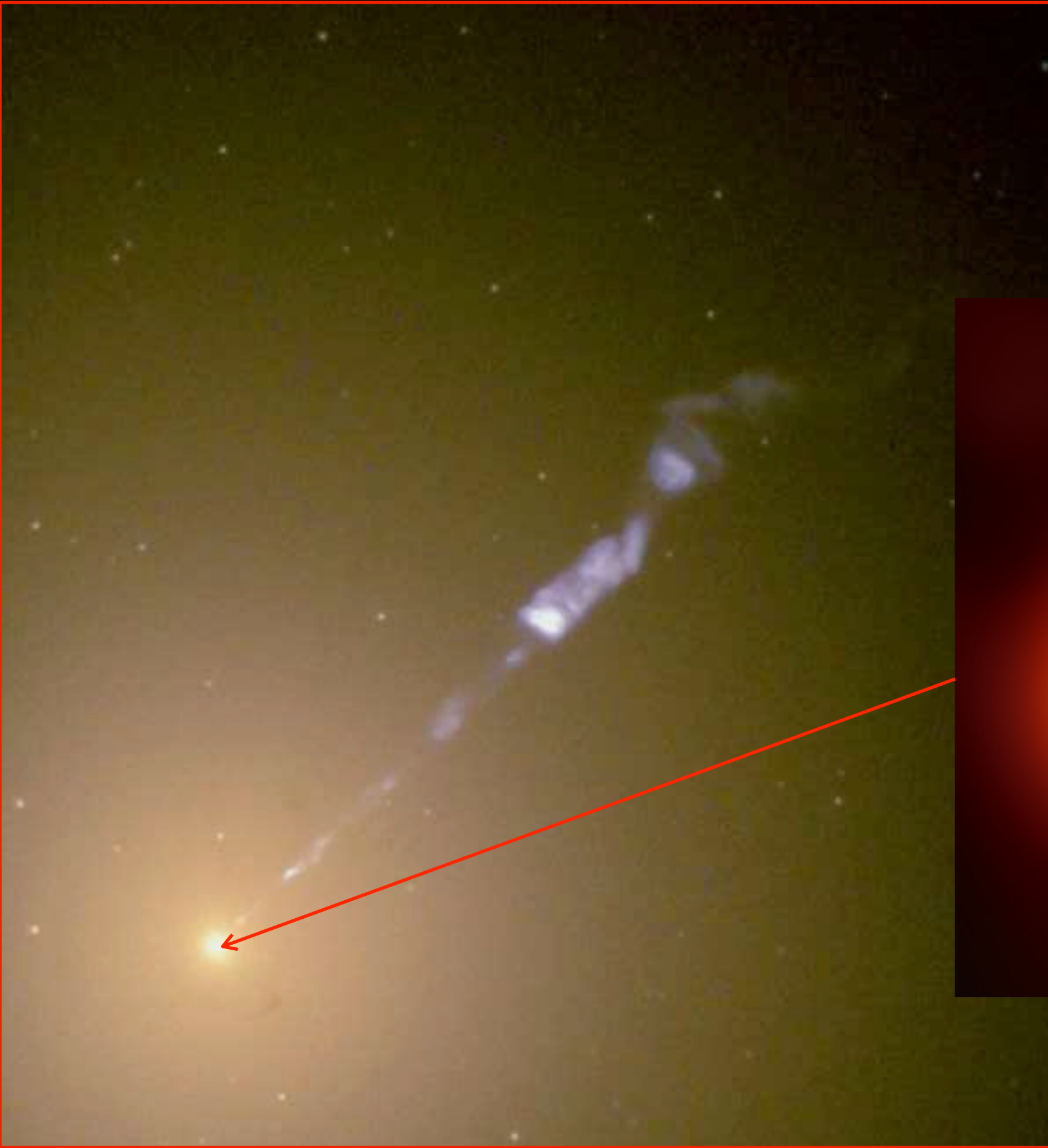
Optical image

Radio image





# Messier 87: una delle galassie più grandi dell'universo



Buco nero al centro





# L'ammasso di galassie più vicino alla Via Lattea

*Ammasso della Vergine*

1500 galassie circa



**Messier 87:** una delle galassie più grandi dell'universo



Presenza di materia oscura negli ammassi di galassie



Coma Galaxy Cluster

Distance: 102 Mpc



# Effetto di lente gravitazionale negli ammassi di galassie





# How many galaxies are in the universe?

Hubble Ultra Deep Field  
(almost 10,000 galaxies)  
1/122 size of full moon

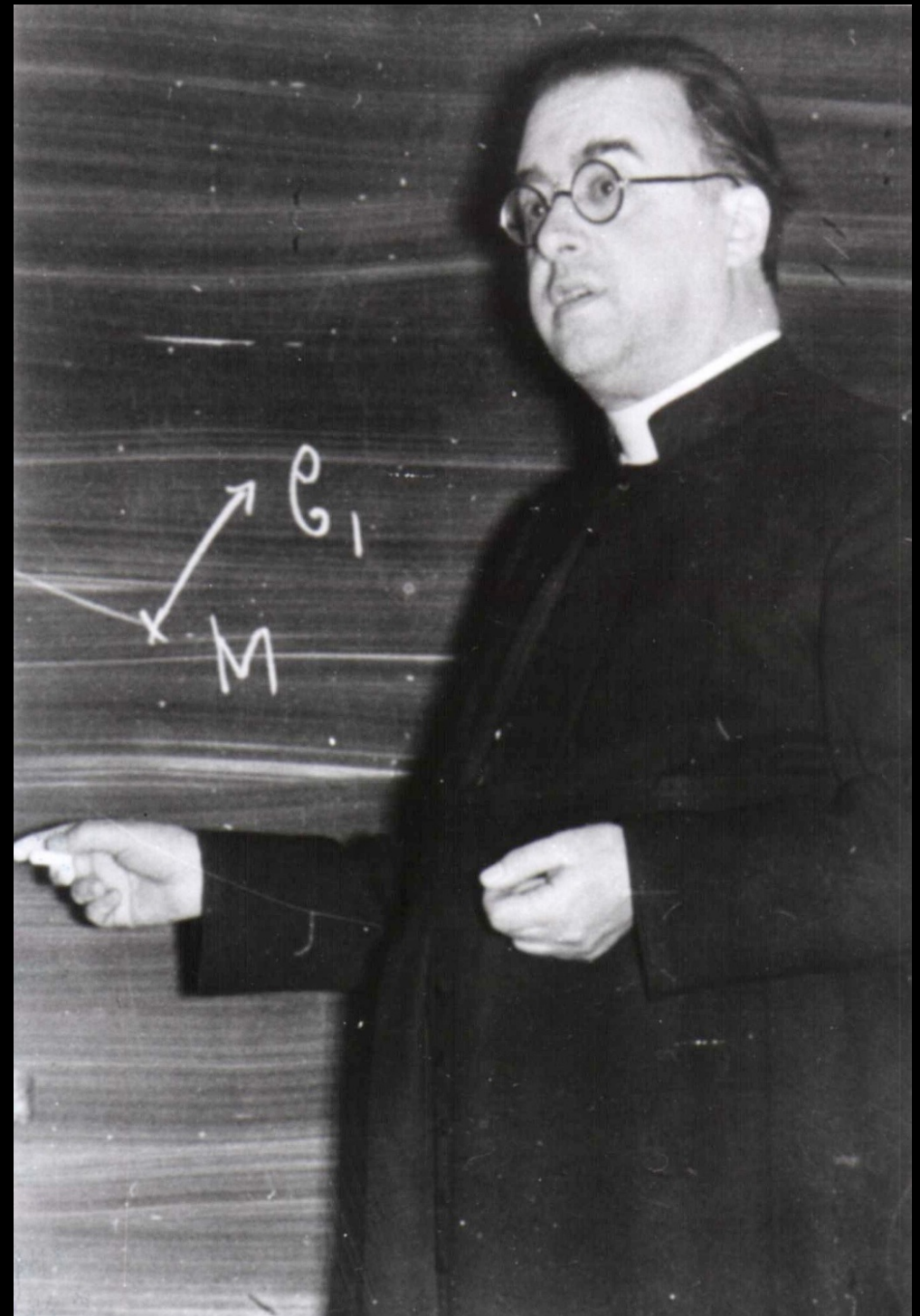




1915: A. Einstein formulates  
the Theory of General Relativity



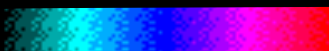
1927: Monsignor Georges Lemaître  
introduces the *Big Bang* &  
expansion of the Universe





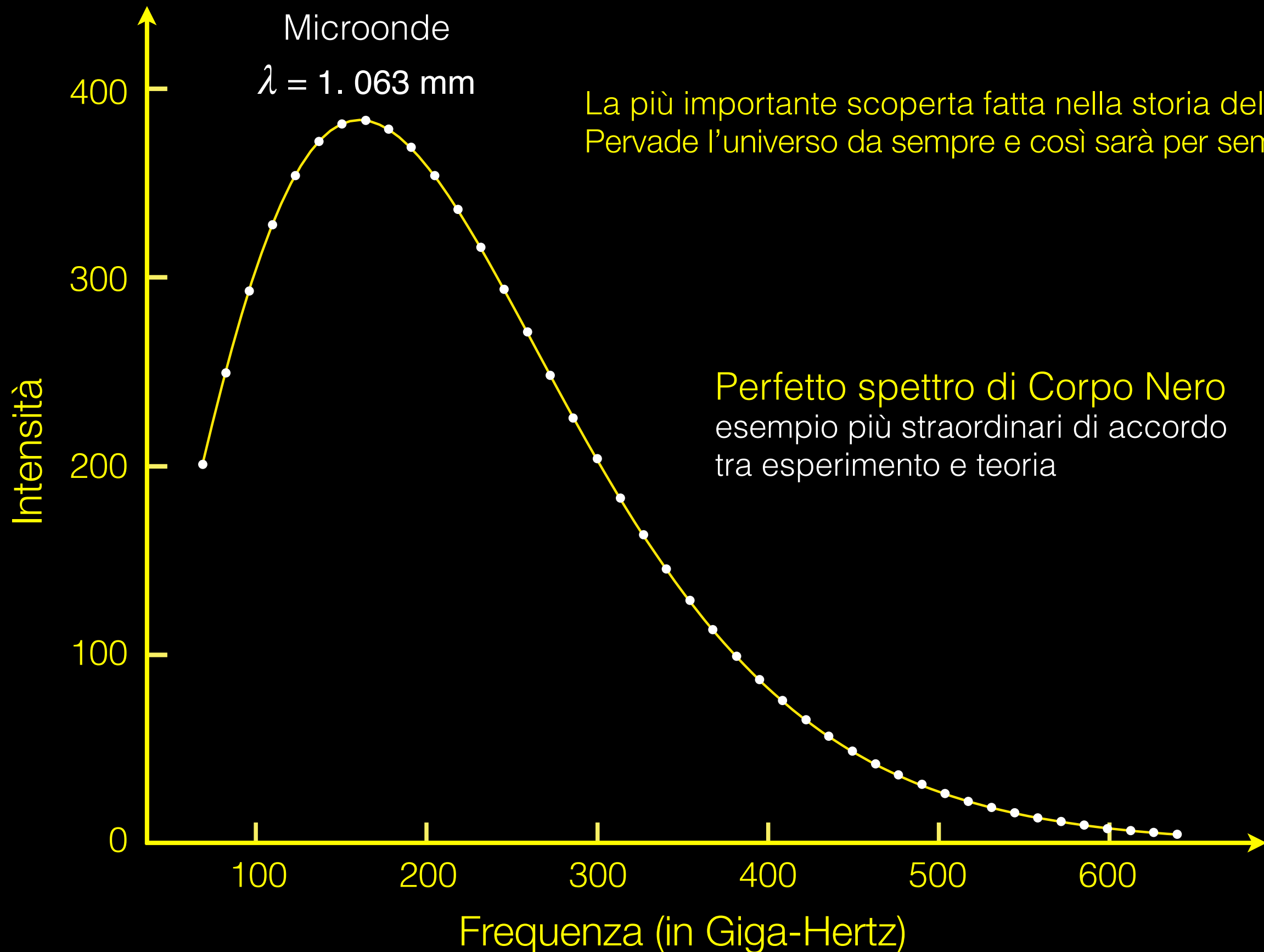
# Fotografia del passato dell'universo e conferma del Big Bang ( $t = 380$ mila anni dopo)

Radiazione cosmica di fondo è uguale in ogni punto (isotropia)  
Temperatura:  $T = 2.72548 \pm 0.00057$  K

0  3.64 K

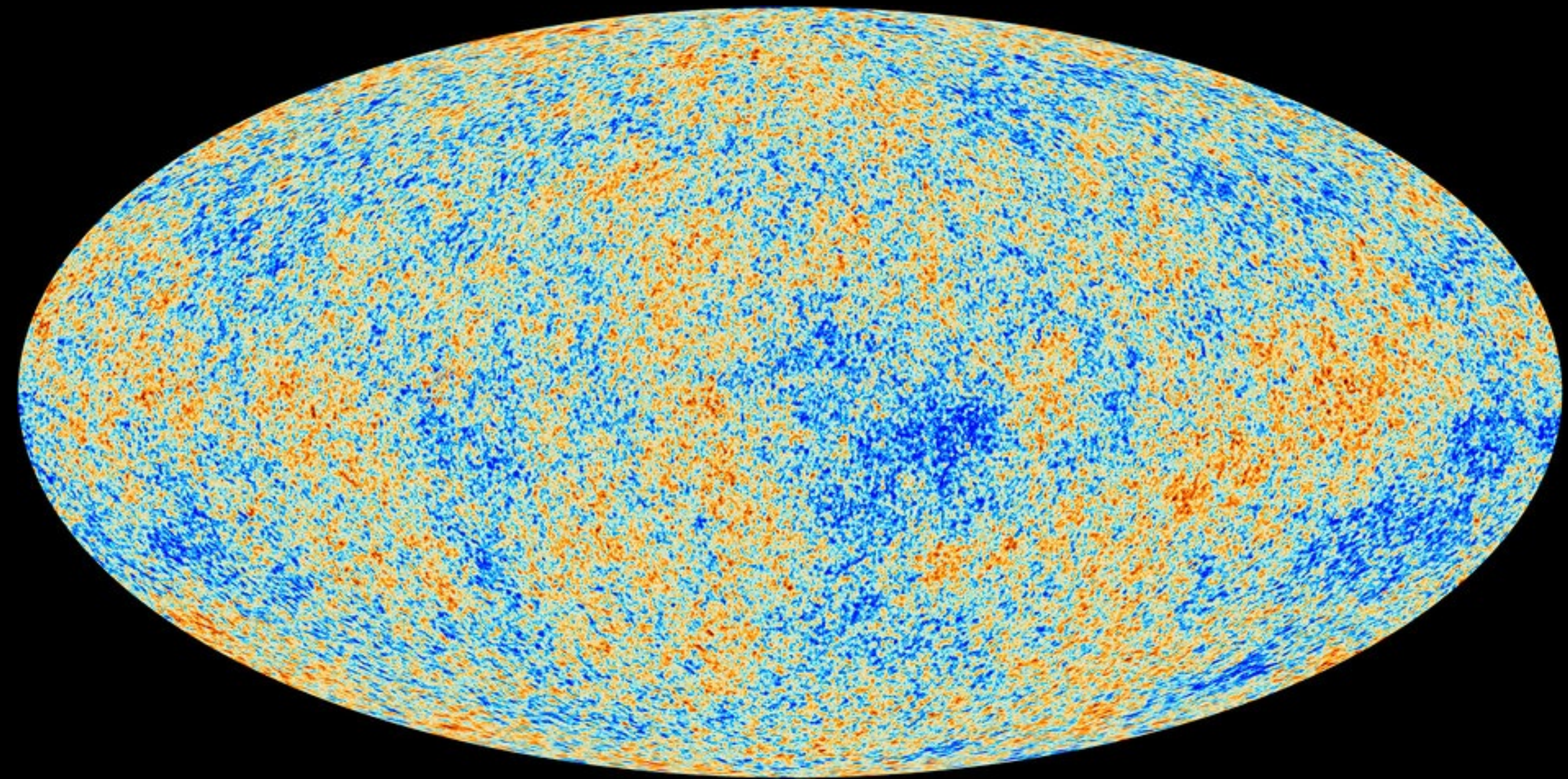


# Radiazione cosmica di fondo





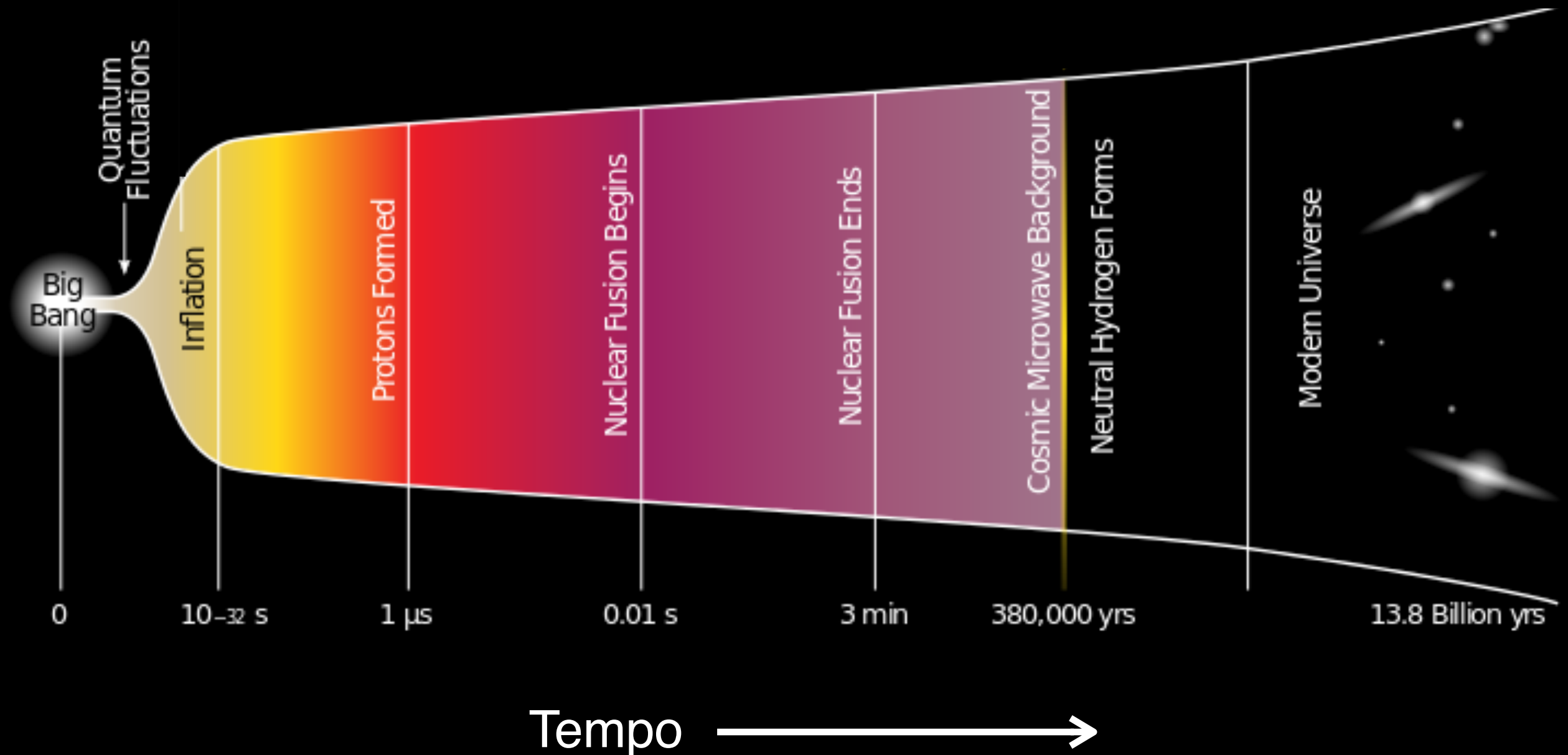
# Anisotropies of Cosmic Microwave Background



All-sky surveys from ESA's Planck space telescope



# Storia dell'Universo da $t = 0$ ad oggi



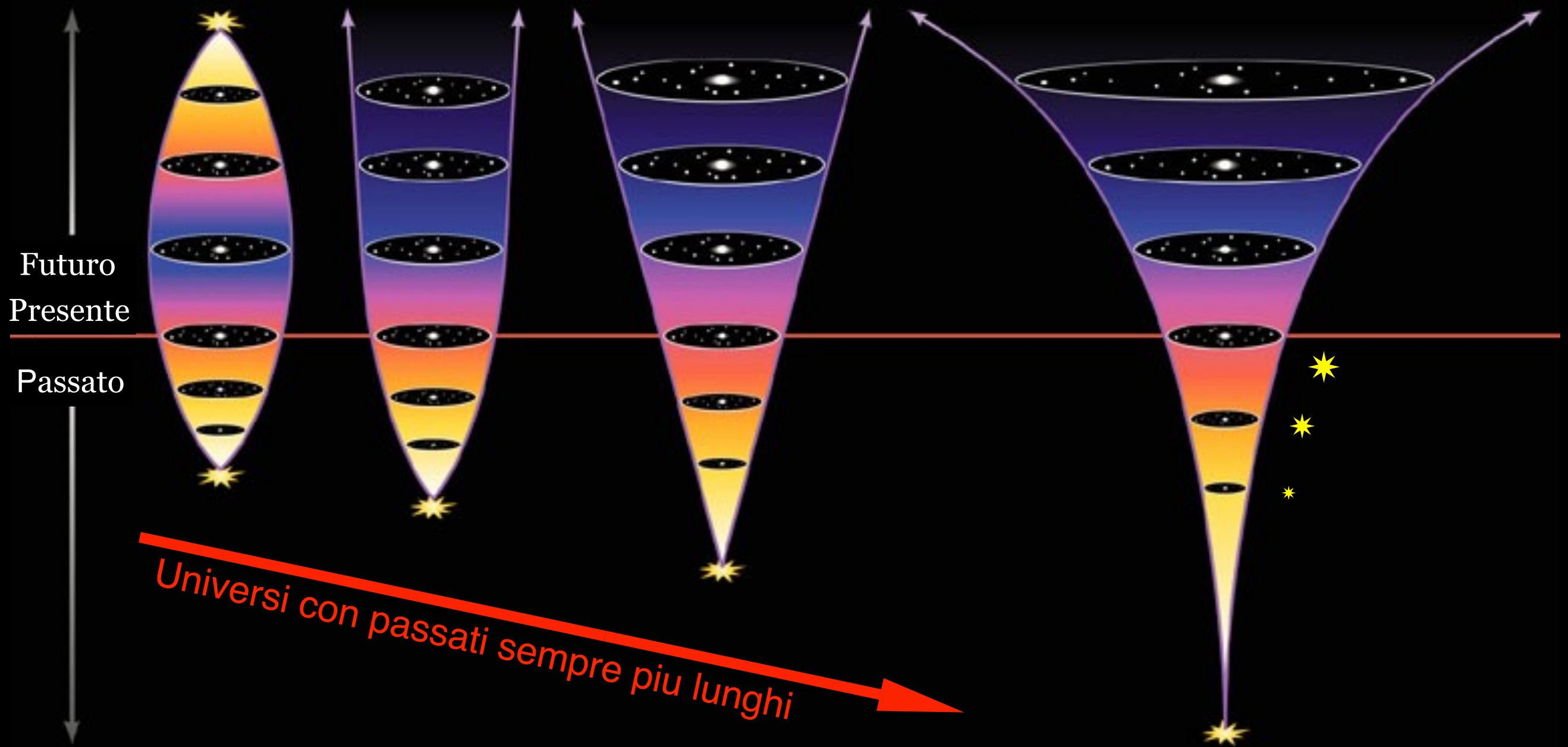


# Possibili modelli di espansione dell'universo

Espansione rallentata

Espansione  
infinita

Espansione accelerata



Confermata da osservazioni di candele  
standard (supernove)  
Quando costante cosmologica  $\Lambda$  è tornata utile



# Di cosa è fatto l'universo oggi

