

La Galàxia i els seus components

Astronomia: un viatge des del Sol fins als límits de l'Univers

Carme Jordi

Universitat de Barcelona, ICCUB-IEEC



UNIVERSITAT DE
BARCELONA

Universitat Catalana d'Estiu 2022: Ciència i Tecnologia
Astronomia: un viatge des del Sol fins als límits de l'Univers



IEEC[®]
Institut d'Estudis
Espacials de Catalunya

La Galàxia i els seus components

1. Història i context
2. Estructura
3. Contingut
4. Moviment
5. Formació i evolució
6. La missió Gaia



La Galàxia i els seus components

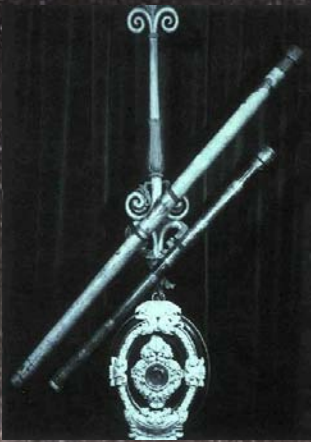
1. Història i context
2. Estructura
3. Contingut
4. Moviment
5. Formació i evolució
6. La missió Gaia



1. Història i context



1. Història i context



En Galileu Galilei amb el seu telescopi va veure que no era un núvol lluminós, sinó una aglomeració d'estrelles

Amb telescopis cada vegada més grans es veuen cada vegada més estrelles

1. Història i context

Quantes estrelles hi ha ?

Les veiem totes ?

Com estan escampades ?

Fins on arriben ?

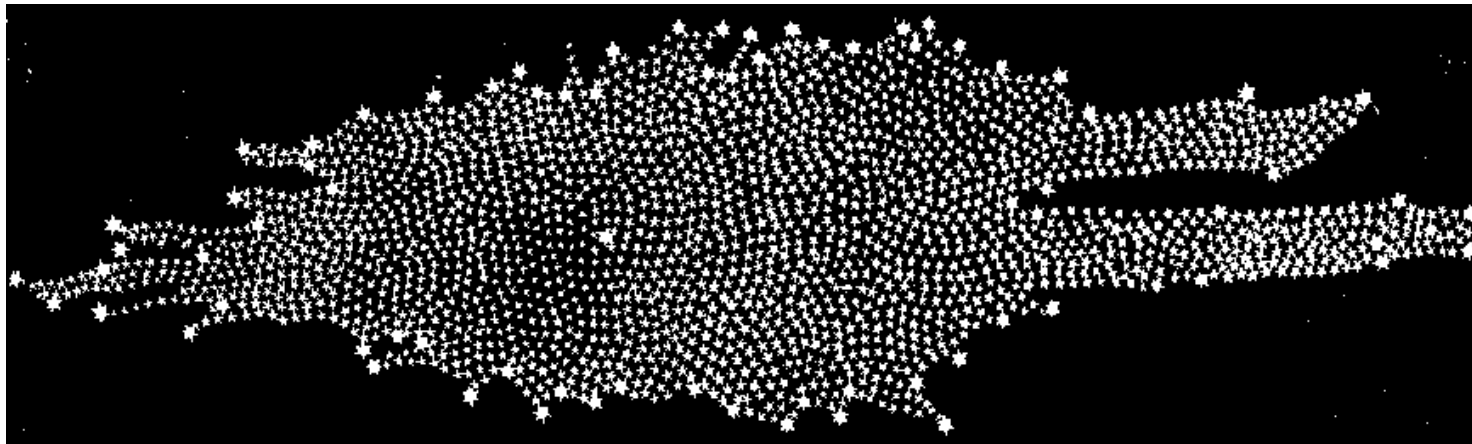
Galileu proposa que la Via Làctia és un
“sistema estel·lar”

I. Història i context: Recomppte d'estrelles



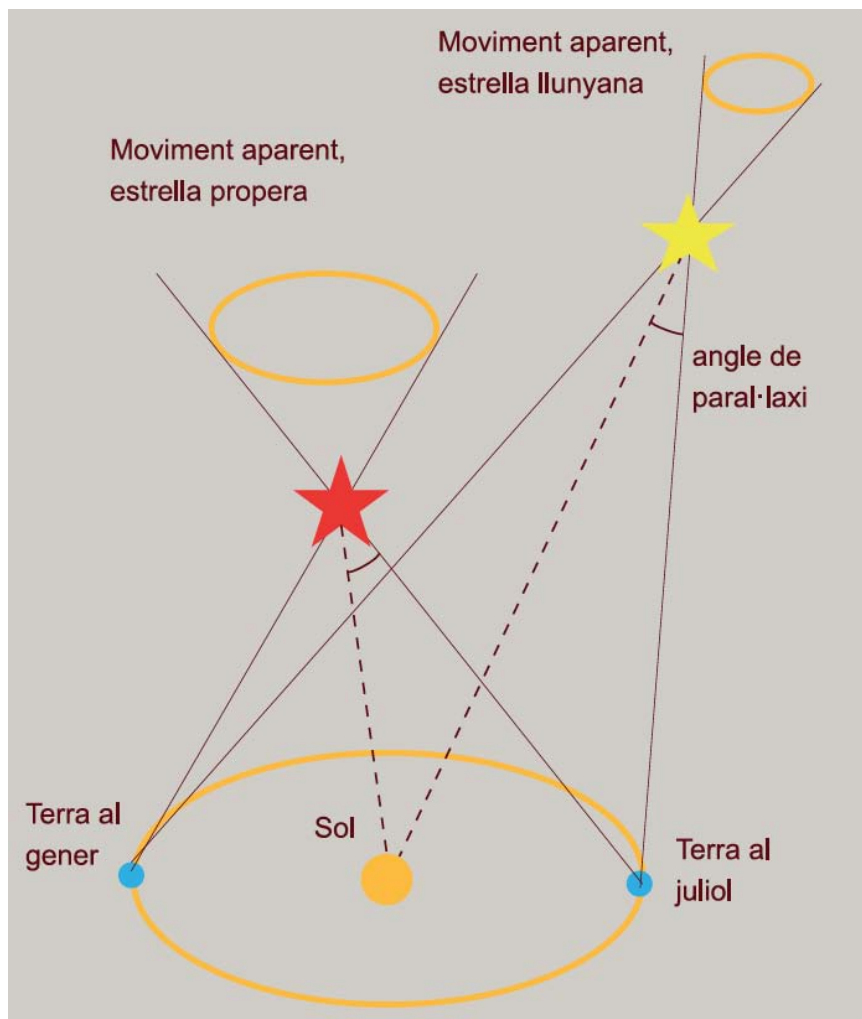
Frederick William & Caroline Lucretia HERSCHEL
(1738-1822 & 1750-1848)

- ▶ Estadística estel·lar:
 - ▶ Recomptes d'estrelles en diferents direccions
 - ▶ Distribució d'estrelles té forma de disc
 - ▶ El Sol és al centre (o quasi)
- ▶ s. XIX: millores amb la fotografia



Mapa de la Via Làctia de William & Caroline Herschel

I. Història i context: Distàncies a les estrelles



▶ Efecte de perspectiva en moure's la Terra al voltant del Sol

▶ 1838-1840 (primeres mesures)

Bessel	61 Cyg	0.29"
Struve	Vega	0.12"
Henderson	α -Cen	0.76"

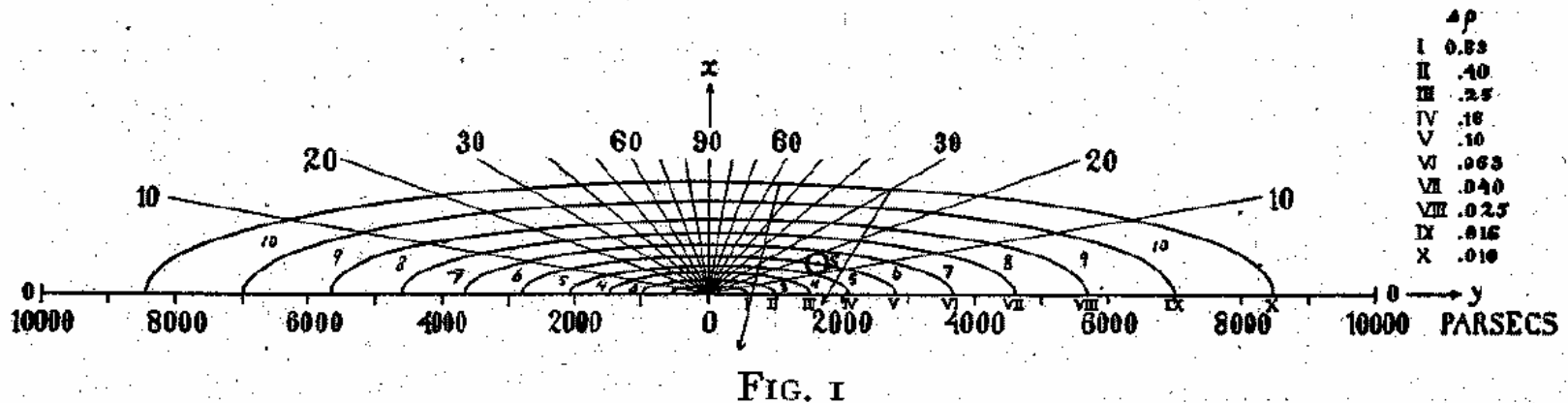
▶ Cap estrelles té un angle major que 1"

I. Història i context: Mida de l'Univers



**Jackobus KAPTEYN (1851-1922),
Harlow SHAPLEY (1885-1972)**

- ▶ Les primeres mides de l'Univers:
 - ▶ un disc de 20.000 anys llum de radi
 - ▶ el Sol al centre



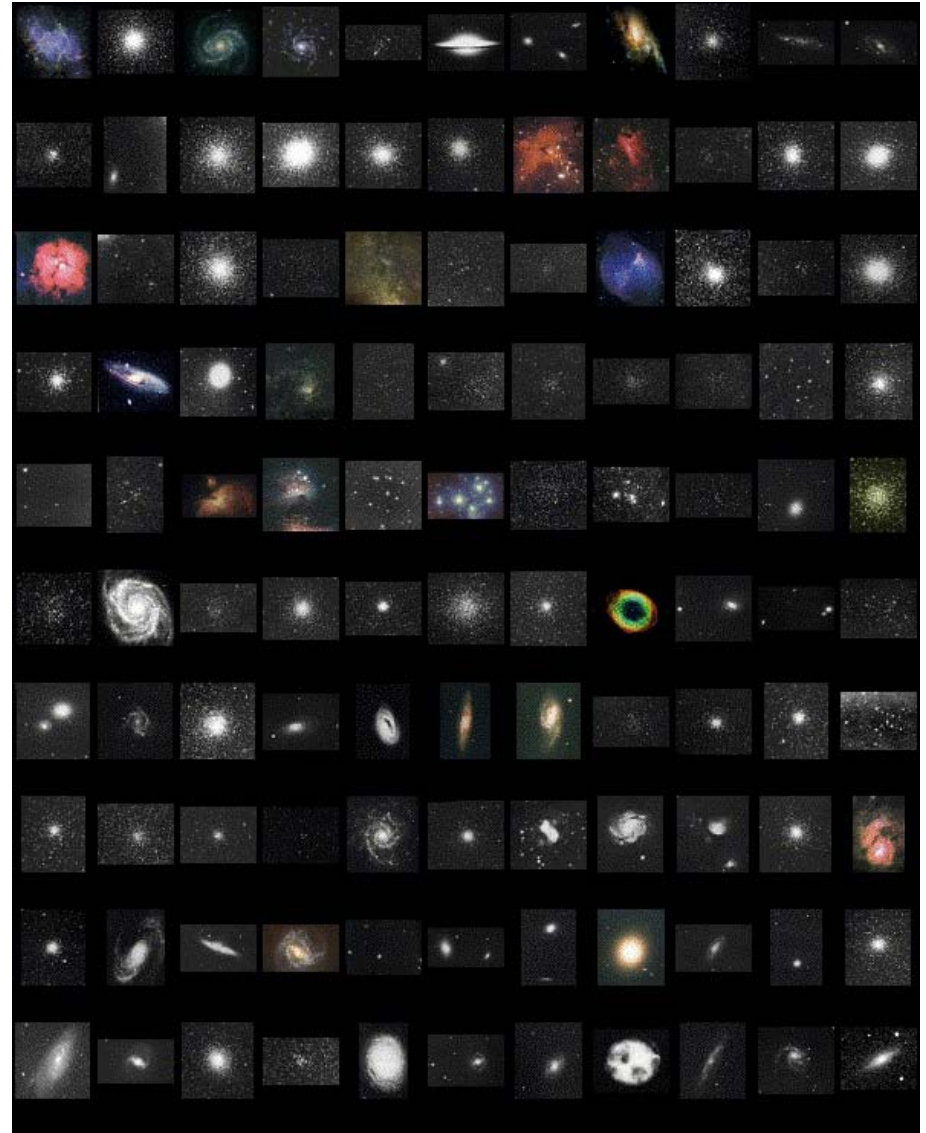
I. Història i context: Més que estrelles



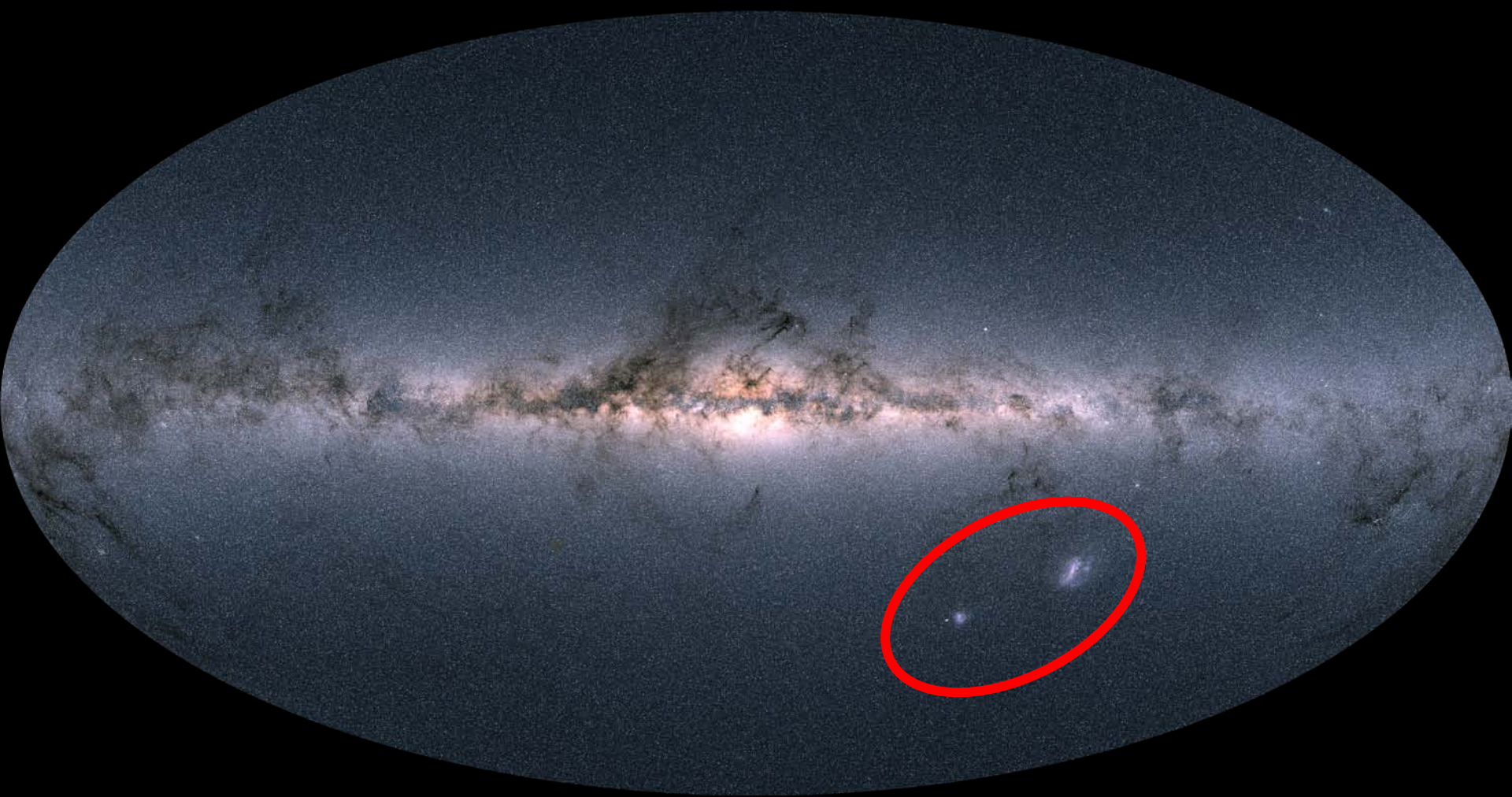
Frederick William & Caroline Lucretia HERSCHEL
(1738-1822 & 1750-1848)



Charles MESSIER (1730-1817)



1. Història i context: Més que estrelles



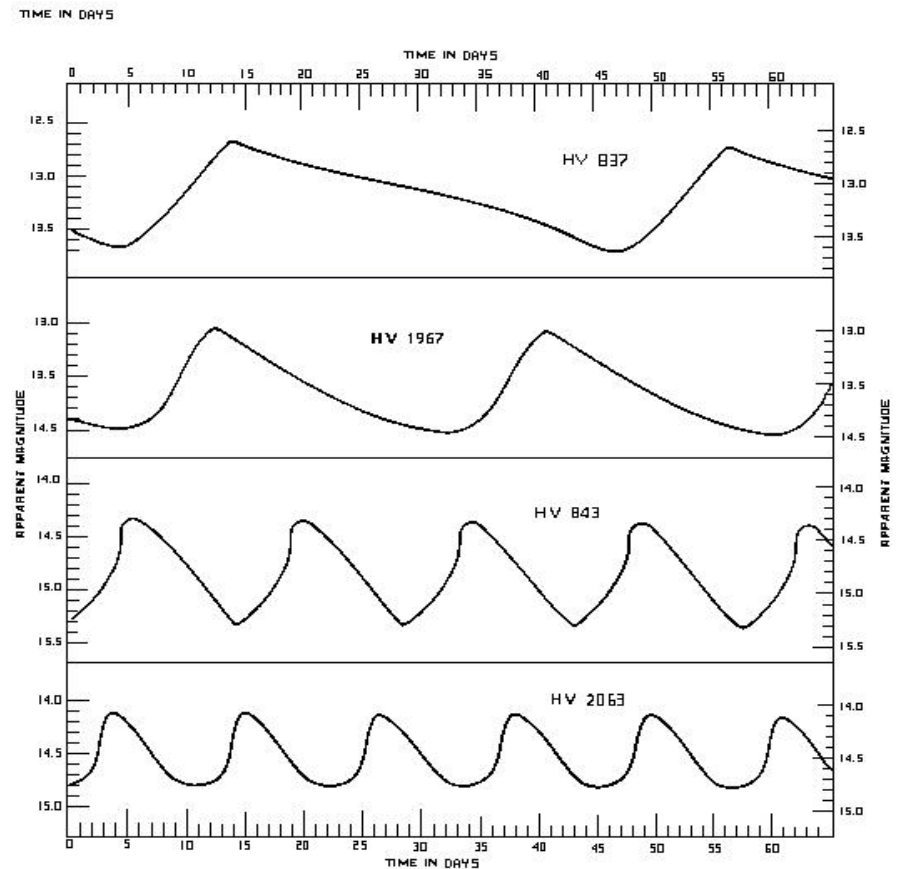
1. Història i context



Henrietta Swan LEAVITT 1868–1921

1777 VARIABLES IN THE MAGELLANIC CLOUDS.

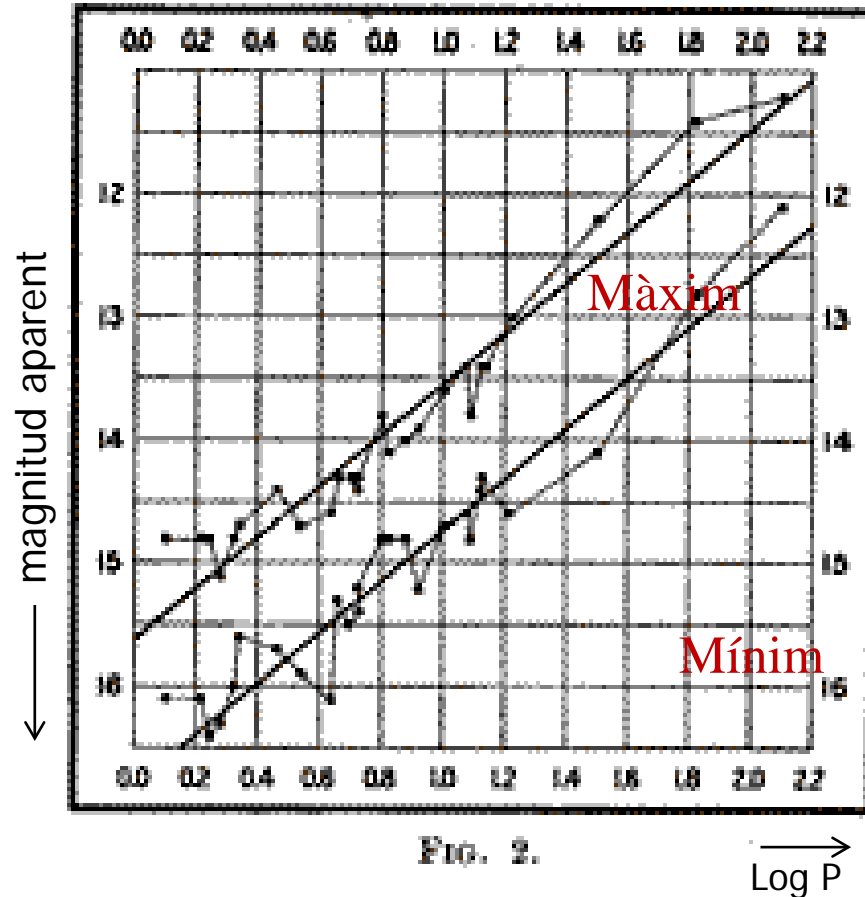
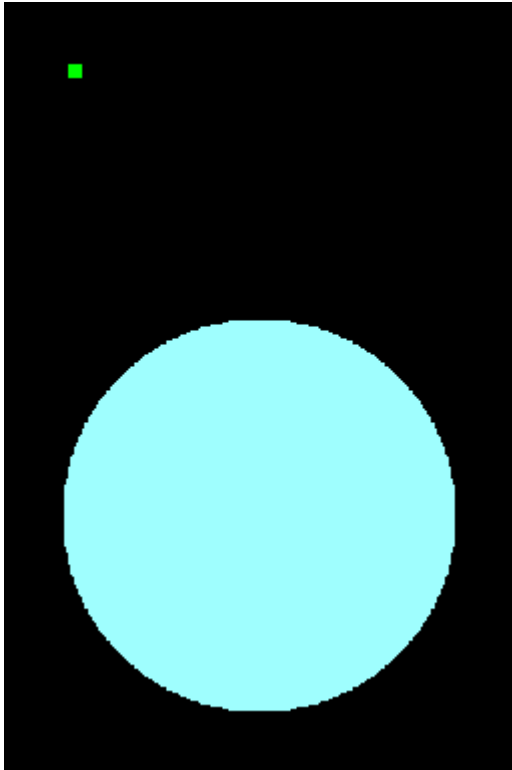
BY HENRIETTA S. LEAVITT.



1908: “Cal remarcar que les més brillants tenen períodes de variació més llargs.”

1. Història i context

Henrietta Leavitt (Harvard Obs. Març-1912)



Relació Període – Luminositat:

$$M_V = -2.76 \log P - 4.16$$

1. Història i context

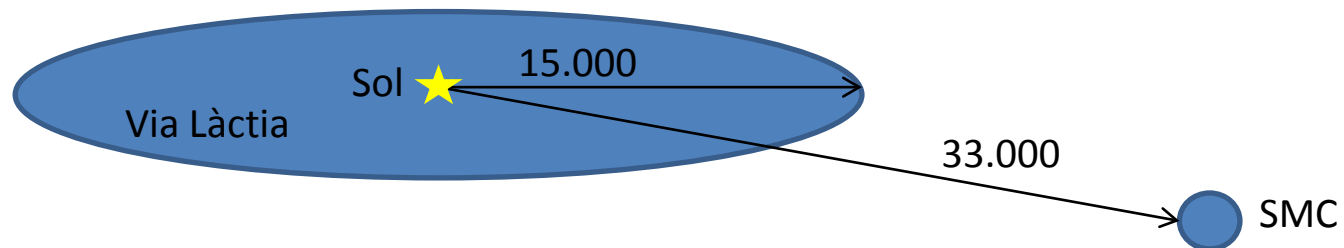
Ejnar Hertzsprung (1873-1967)

1913

Distàncies calculades a partir de les estrelles
Cefeides

Període = 6.6 dies \rightarrow 600 L_{Sol}

Núvol Petit de Magallanes 33.000 anys-llum !!!!



Aquesta deducció va canviar completament la visió de l'Univers

1. Història i context



Edwin Powell HUBBLE (1889-1953)

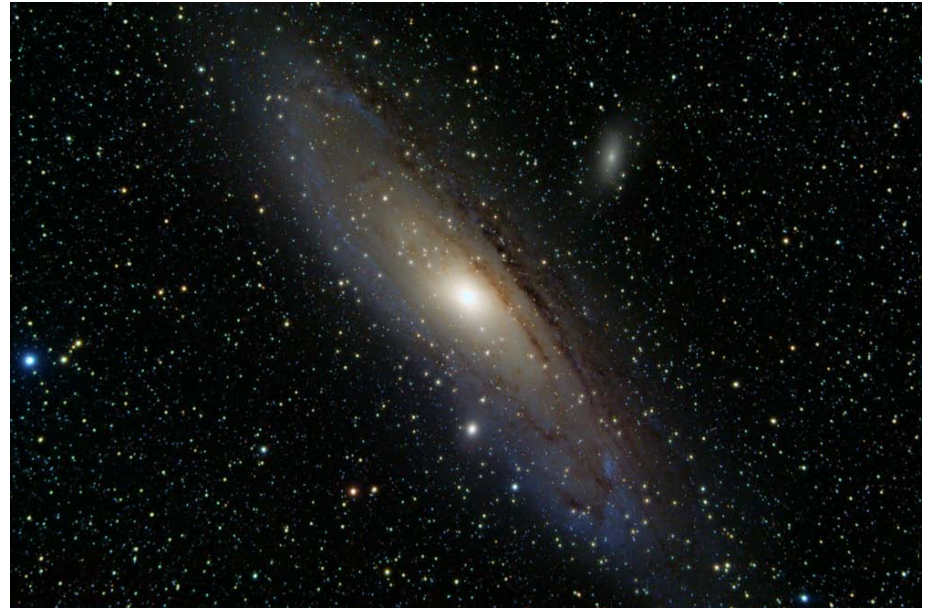
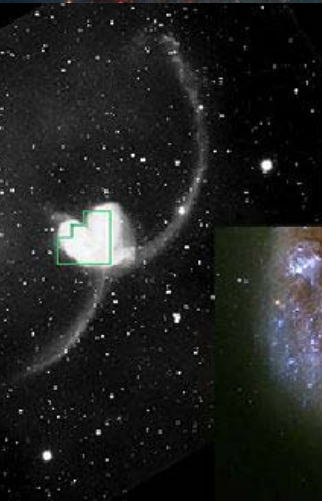
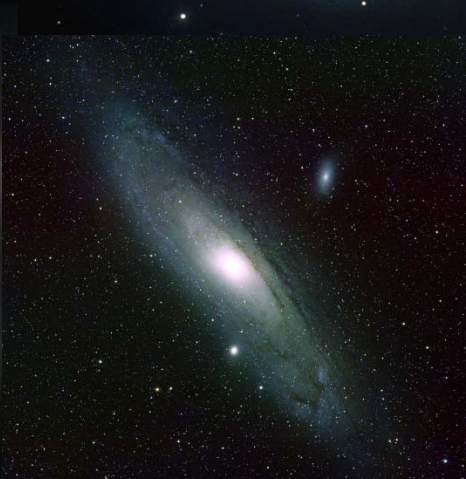


Foto: E. Herrero

1924: La nebulosa d'Andròmeda és a **2,5 milions d'anys-llum** (~800 kpc)

→ **Andròmeda és una galàxia**

1 parsec = 3,26 anys-llum; 1 kpc = 1000 parsec



Hubble
Heritage

- Univers compost per illes = galàxies
- La Via Làctia és una d'aquestes illes
- No totes les illes són iguals (diversitat de formes i mides)
- Coneixement que es consolida a primers del s. XX

Les illes no estan del tot isolades una de l'altra



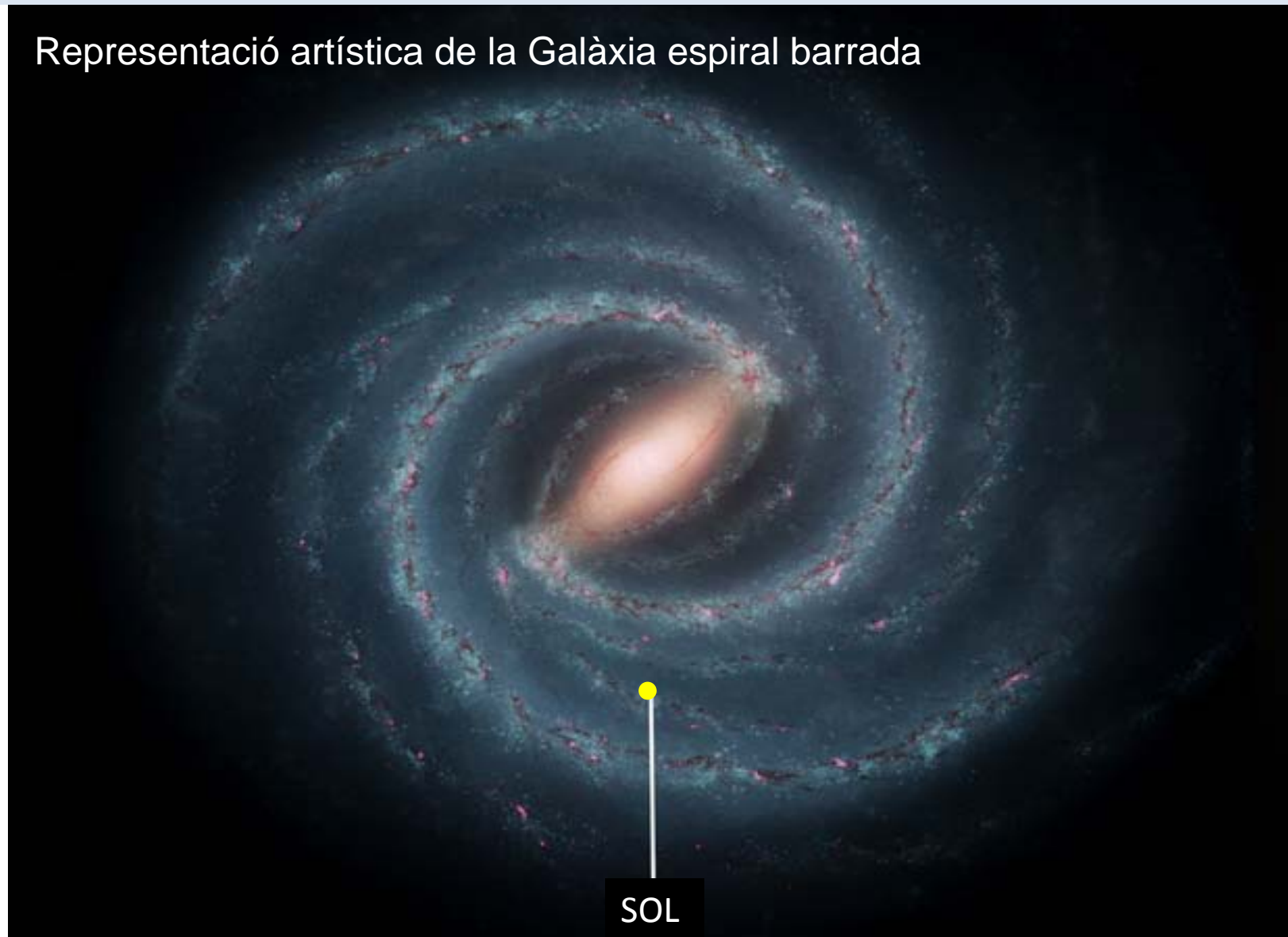
La Galàxia i els seus components

1. Història i context
- 2. Estructura**
3. Contingut
4. Moviment
5. Formació i evolució
6. La missió Gaia



2. Estructura (vista des de fora, de front)

Representació artística de la Galàxia espiral barrada



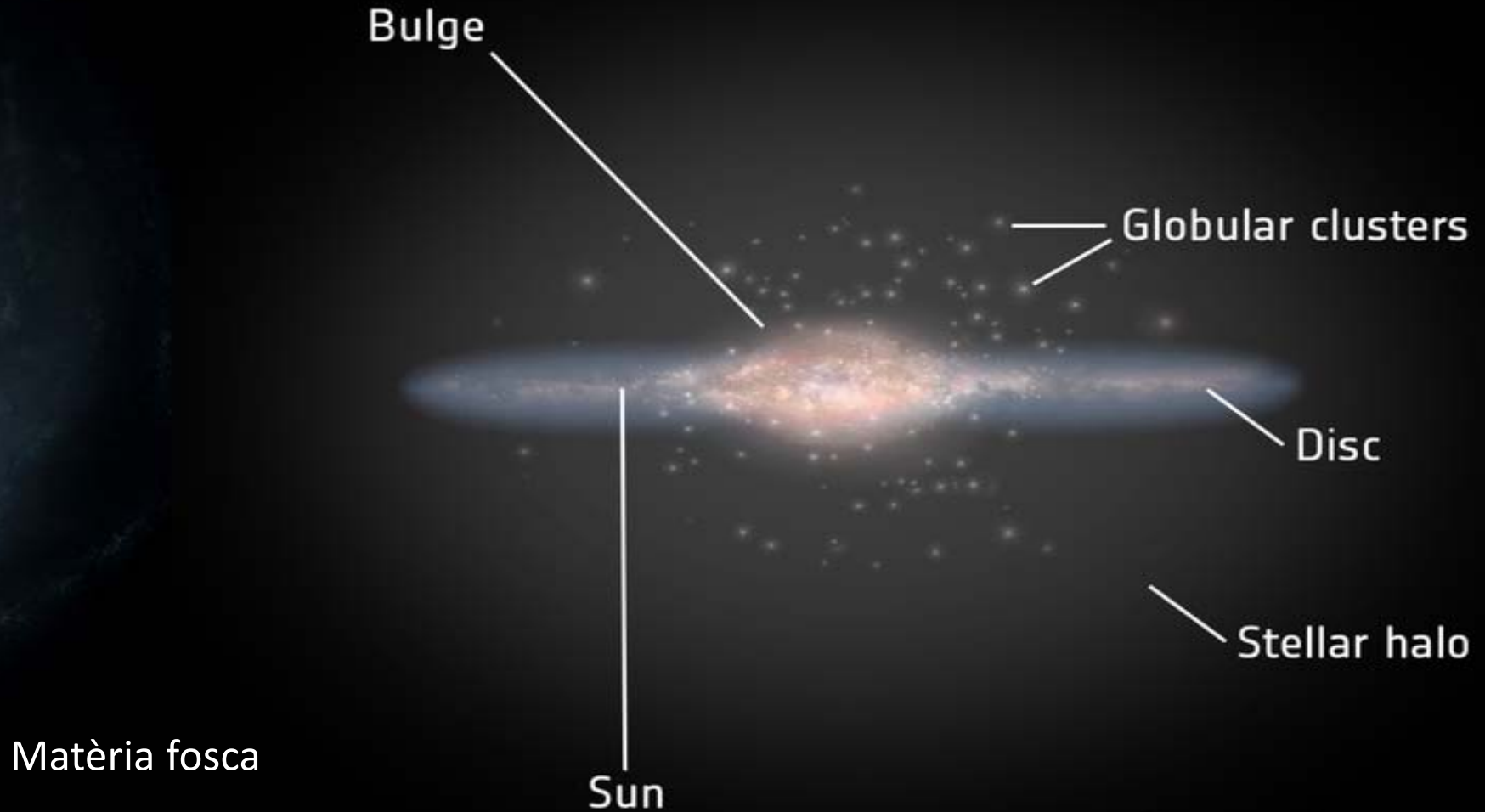
2. Estructura (vista des de fora, de front)

Representació artística de la Galàxia espiral barrada



2. Estructura (vista de costat)

Representació artística de la Galàxia



2. Estructura (vista de costat)



UNIVERSITAT DE
BARCELONA

Universitat Catalana d'Estiu 2022: Ciència i Tecnologia
Astronomia: un viatge des del Sol fins als límits de l'Univers



IEEC[®]
Institut d'Estudis
Espacials de Catalunya

- La Via Làctia és una galàxia espiral
- Les estructures principals són: disc, halo i bulb central
- El disc és on hi ha la major part d'estrelles
- El disc és on hi ha el gas i la pols
- El disc és ondulat

La Galàxia i els seus components

1. Història i context
2. Estructura
- 3. Contingut**
4. Moviment
5. Formació i evolució
6. La missió Gaia



- Estrelles:
 - de tots tipus: joves, velles, mortes, calentes, fredes, grans, menudes, ...
 - isolades o en sistemes múltiples
 - amb exoplanetes o sense
 - agrupacions: cúmuls oberts/globulars
- Nanes marrons, planetes
- Medi interestel·lar: gas, pols
- Forats negres
- Matèria fosca

3. Contingut. Estrelles



3. Contingut. Cúmuls oberts al disc



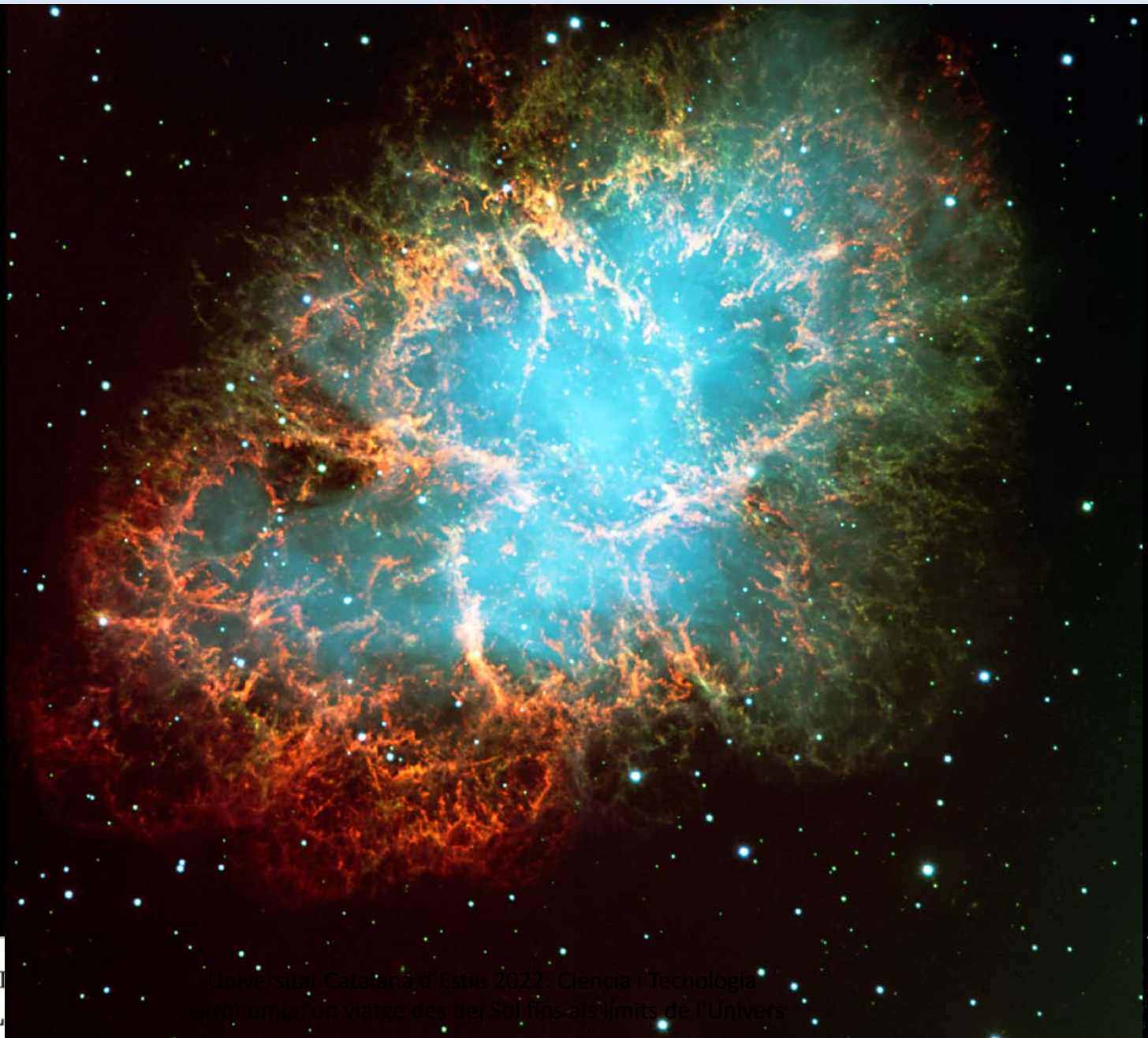
3. Contingut. Cúmuls oberts al disc



3. Contingut. Cúmuls globulars a l'halo



3. Contingut. Estrelles mortes (restes de supernoves)

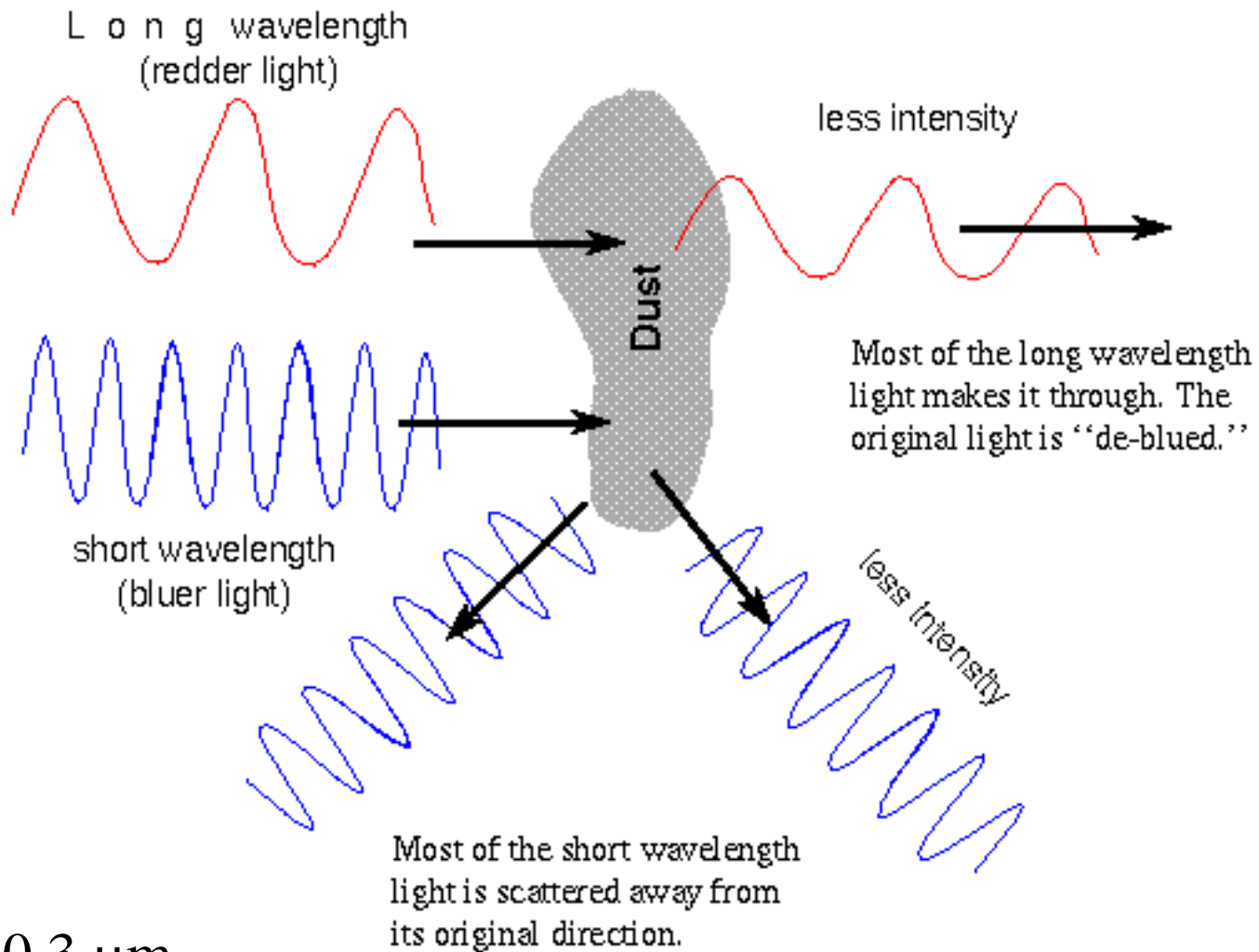


3. Contingut. Estrelles mortes (nebuloses planetàries)



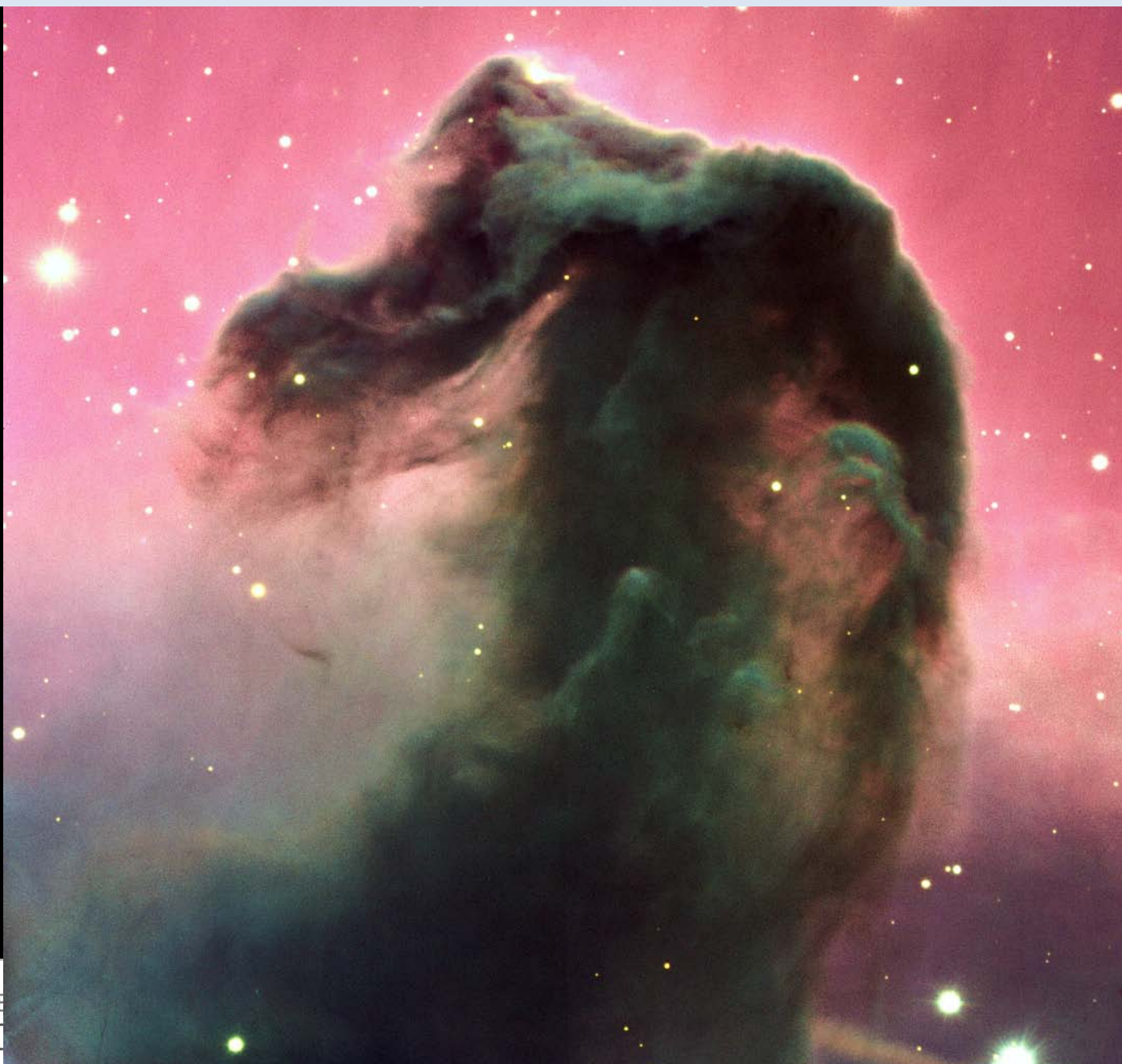
3. Contingut. Medi interestel·lar

Reddening and Extinction



mida de $0.3 \mu\text{m}$

3. Contingut. Medi interestel·lar

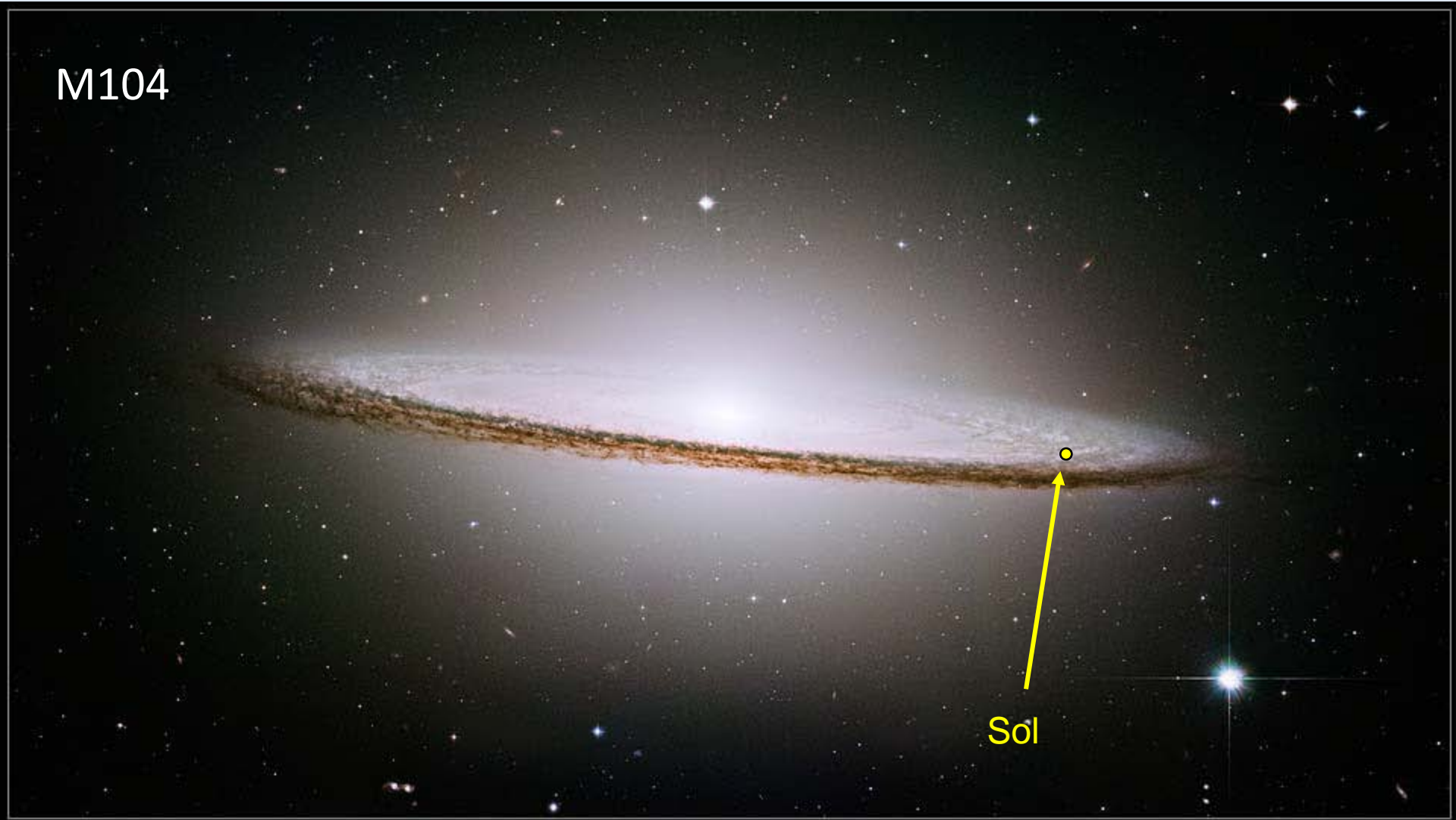


3. Distribució: Núvols, pols; formació estel·lar

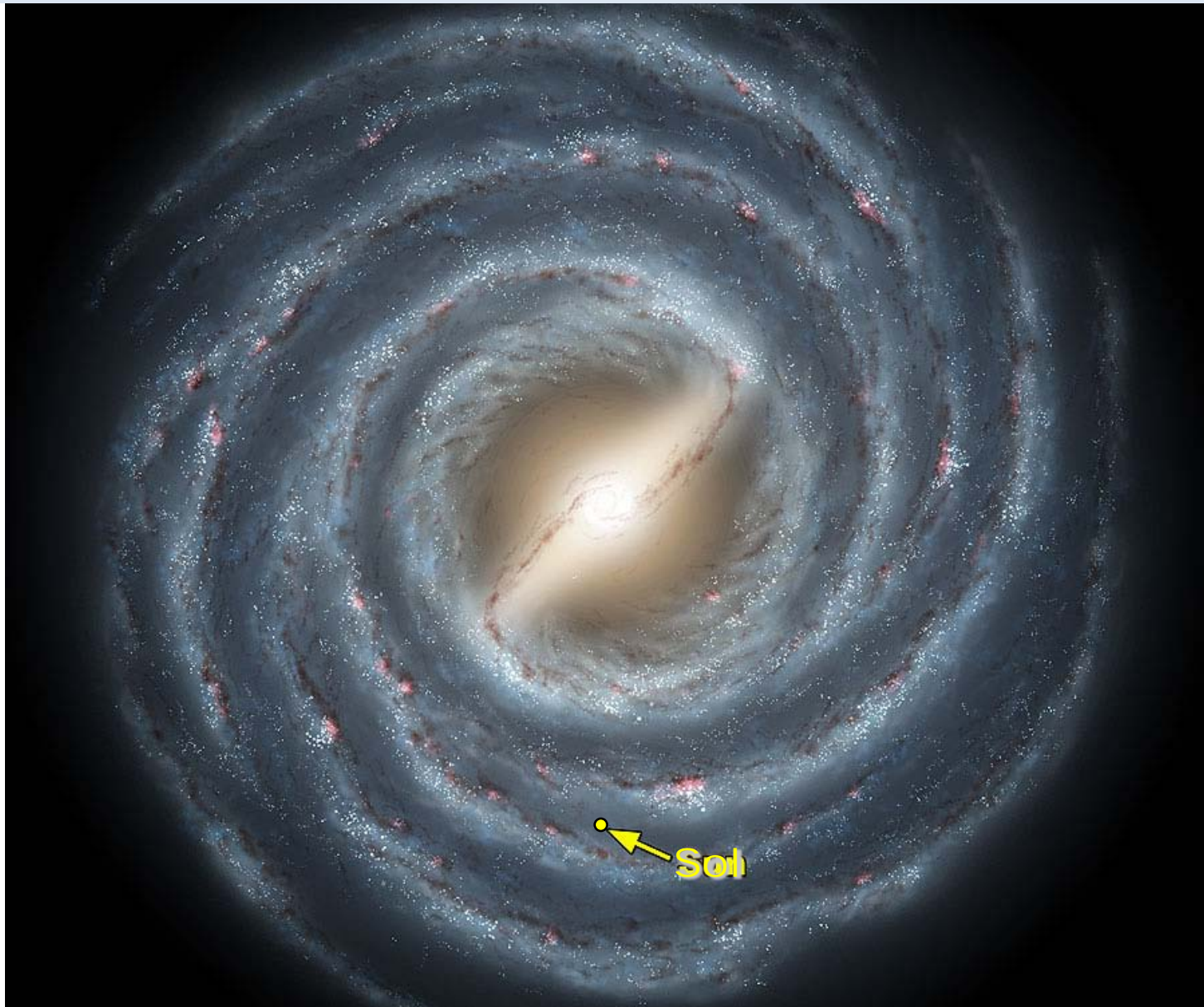
M104

Sol

Hubble
Heritage



3. Distribució: Núvols, pols; formació estel·lar



- Les estrelles poden estar isolades o en grups
- Les estrelles es formen majoritàriament en els braços espirals
- Al disc és on hi ha les estrelles més joves (formades recentment)
- A l'halo hi ha les estrelles més velles (antigues)
- La pols ens impedeix la visió en el visible
- Estem limitats a veure a l'entorn del Sol (en visible)

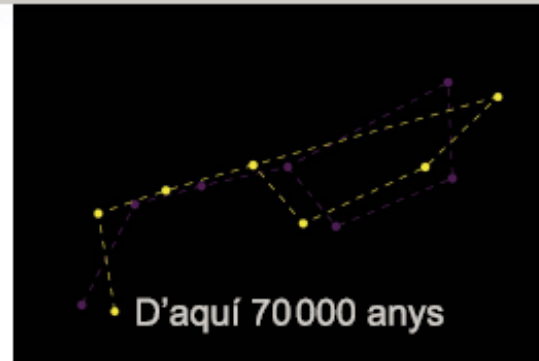
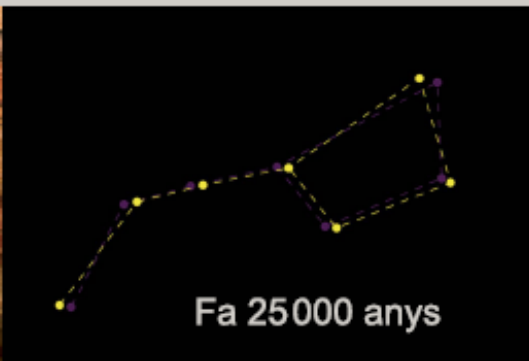
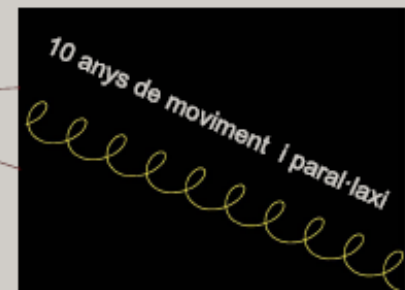
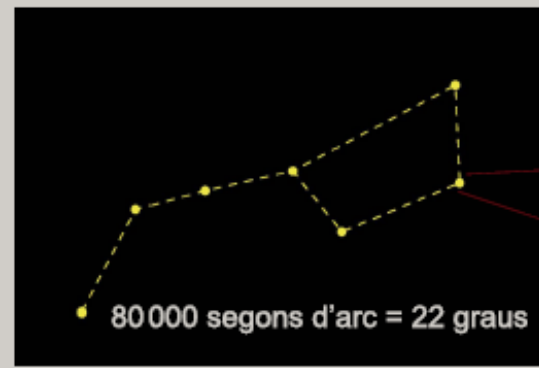
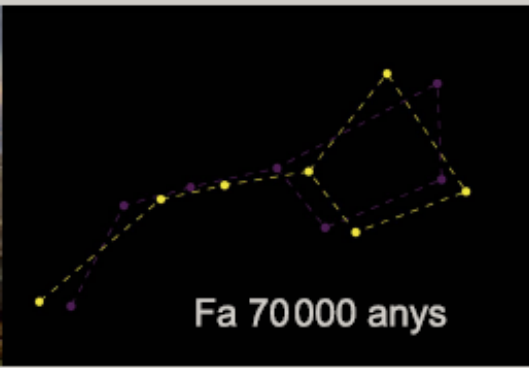
La Galàxia i els seus components

1. Història i context
2. Estructura
3. Contingut
- 4. Moviment**
5. Formació i evolució
6. La missió Gaia



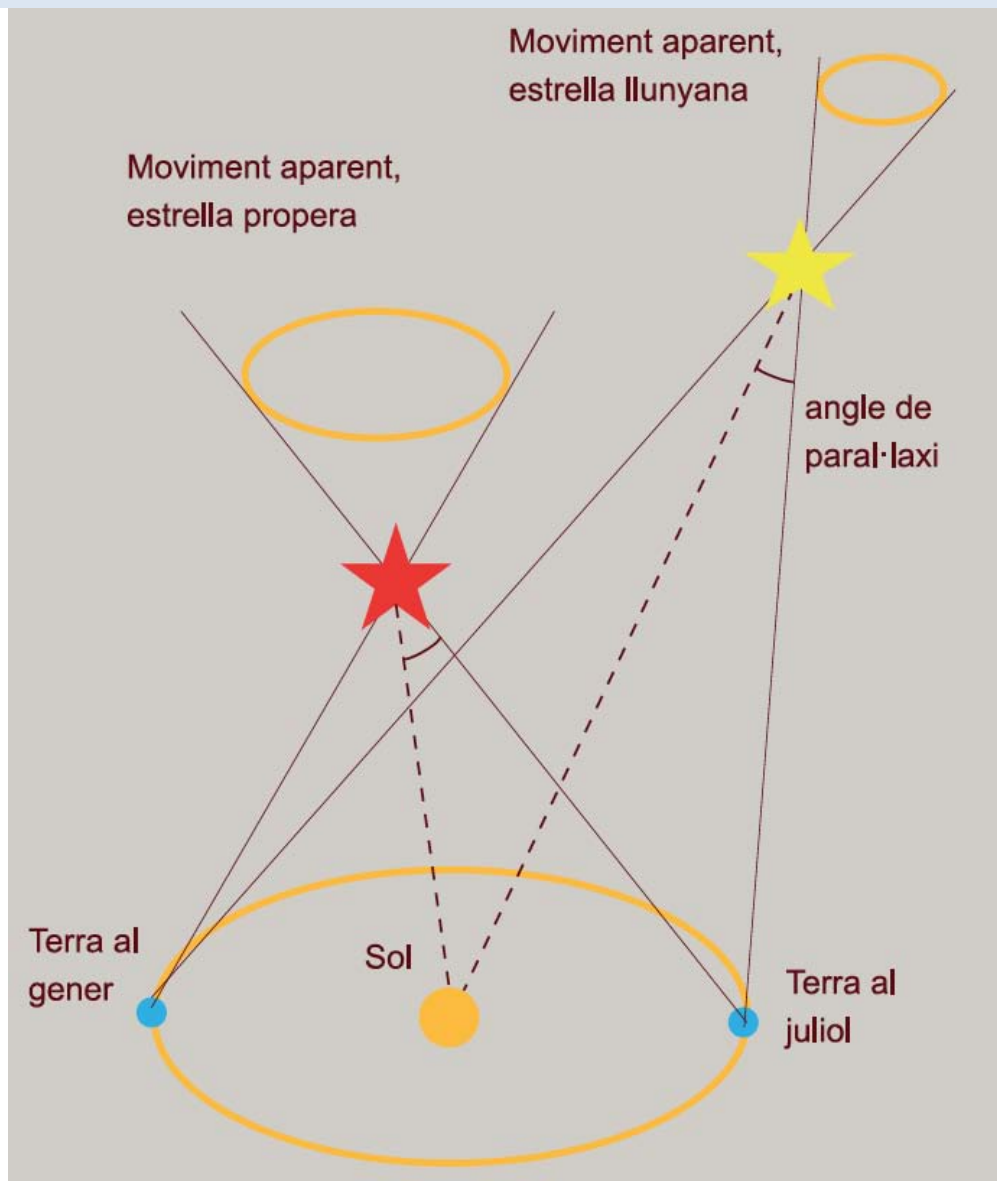
L'Óssa Major al llarg dels temps

1 segon d'arc





4. Moviment. Paral·laxi



4. Moviment. Moviment propi i paral·laxi



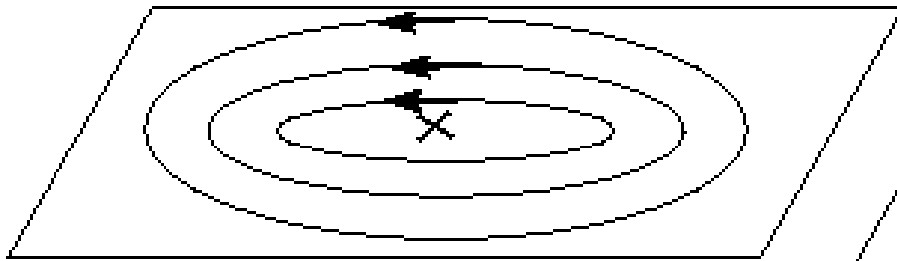
UNIVERSITAT DE
BARCELONA

Universitat Catalana d'Estiu 2022: Ciència i Tecnologia
Astronomia: un viatge des del Sol fins als límits de l'Univers

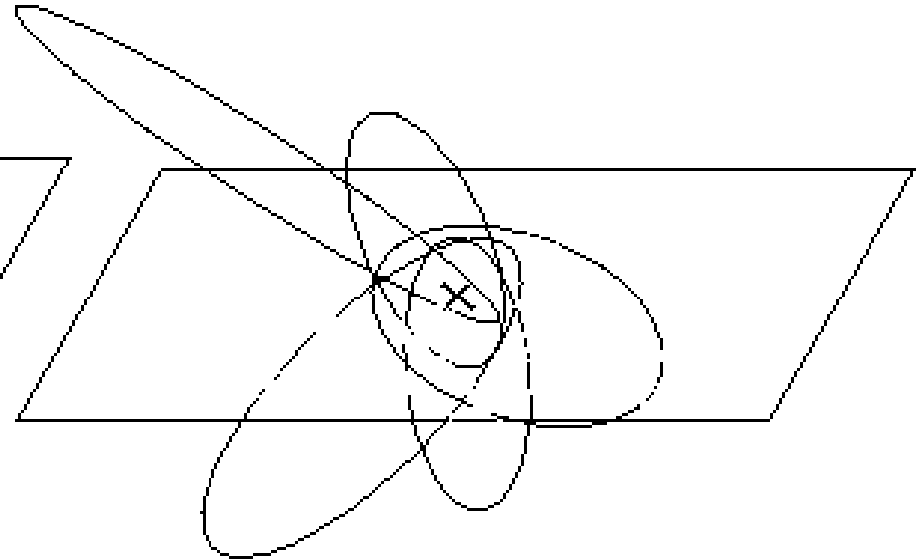


IEEC[®]
Institut d'Estudis
Espacials de Catalunya

4. Moviment. Òrbites



Estrelles Població I: moviment ordenat, òrbites circulars en el pla del disc; joves, més riques en metalls.



Estrelles Població II: moviment desordenat, òrbites excèntriques que creuen el pla; velles, més pobres en metalls.

4. Moviment. Òrbita del Sol al voltant del centre galàctic

Milky Way – like galaxy

The Solar system moves around the center of our galaxy (like planets around the Sun) and also wobbles up and down around the mid-plane of the galaxy.

The circular motion around the center is shown by the dashed line; the **actual** motion of the Solar system is shown by the solid green line.

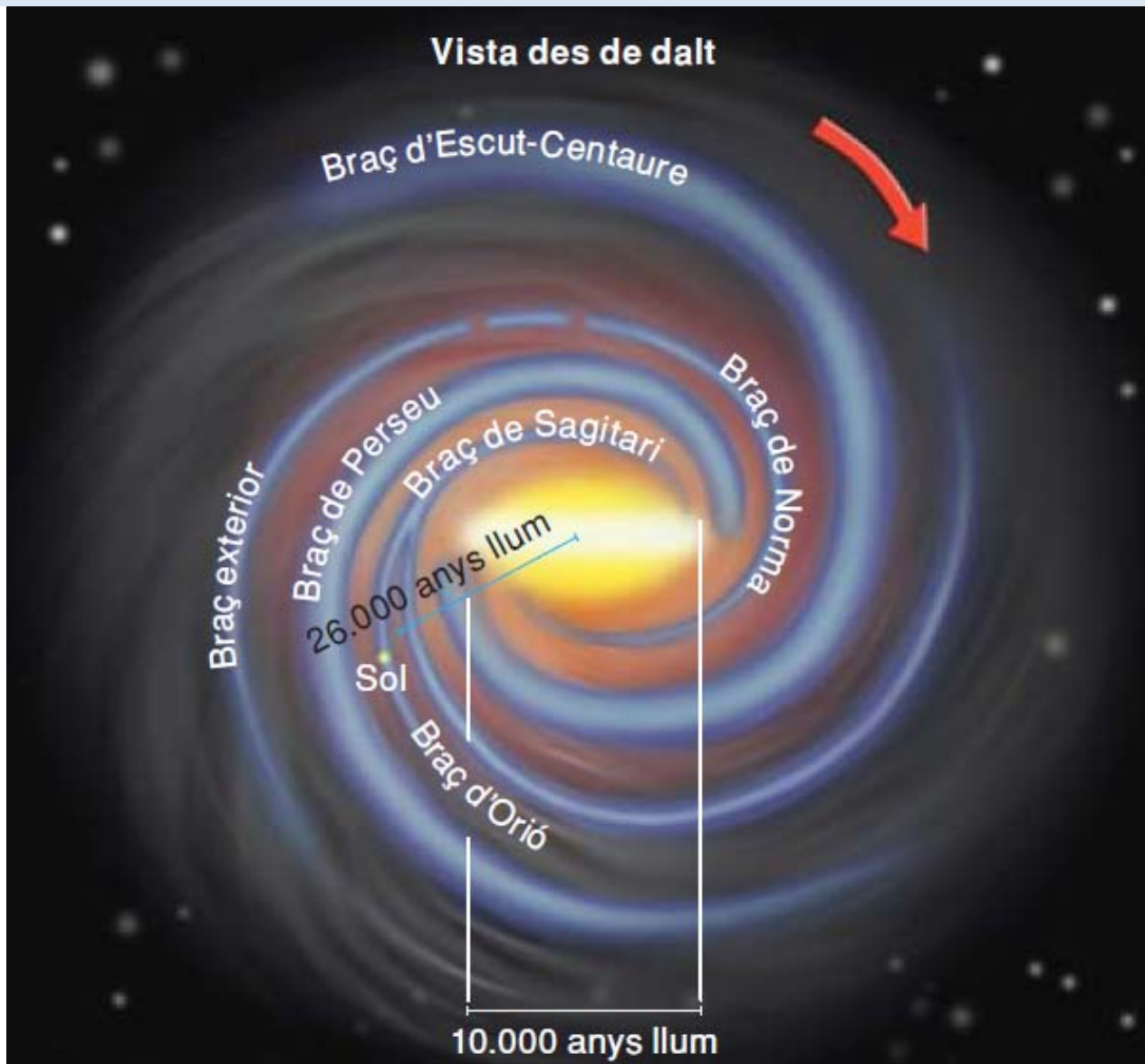
7,5 km/s
87 milions
d'anys

Solar System (Sun and the planets)

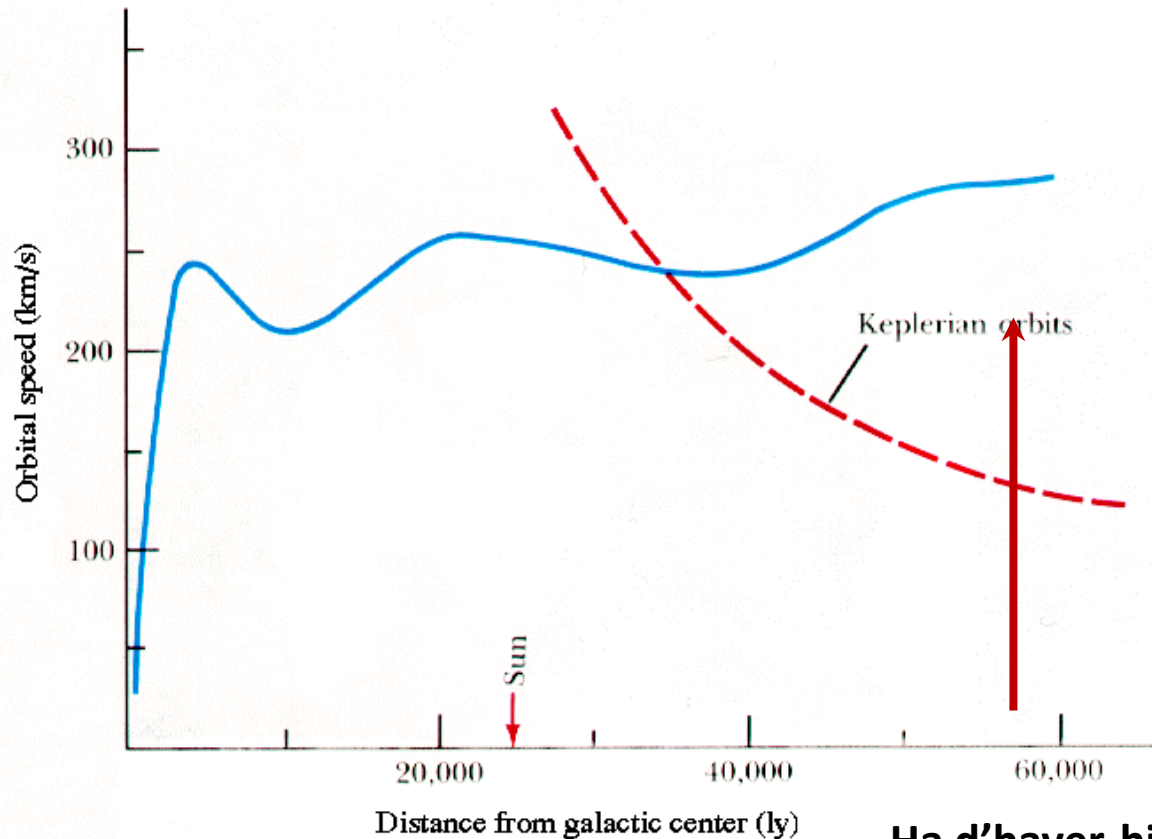
220 km/s = 792.000 km/h
250 milions d'anys a fer una volta completa

Medvedev, 2007

4. Moviment. Rotació del disc

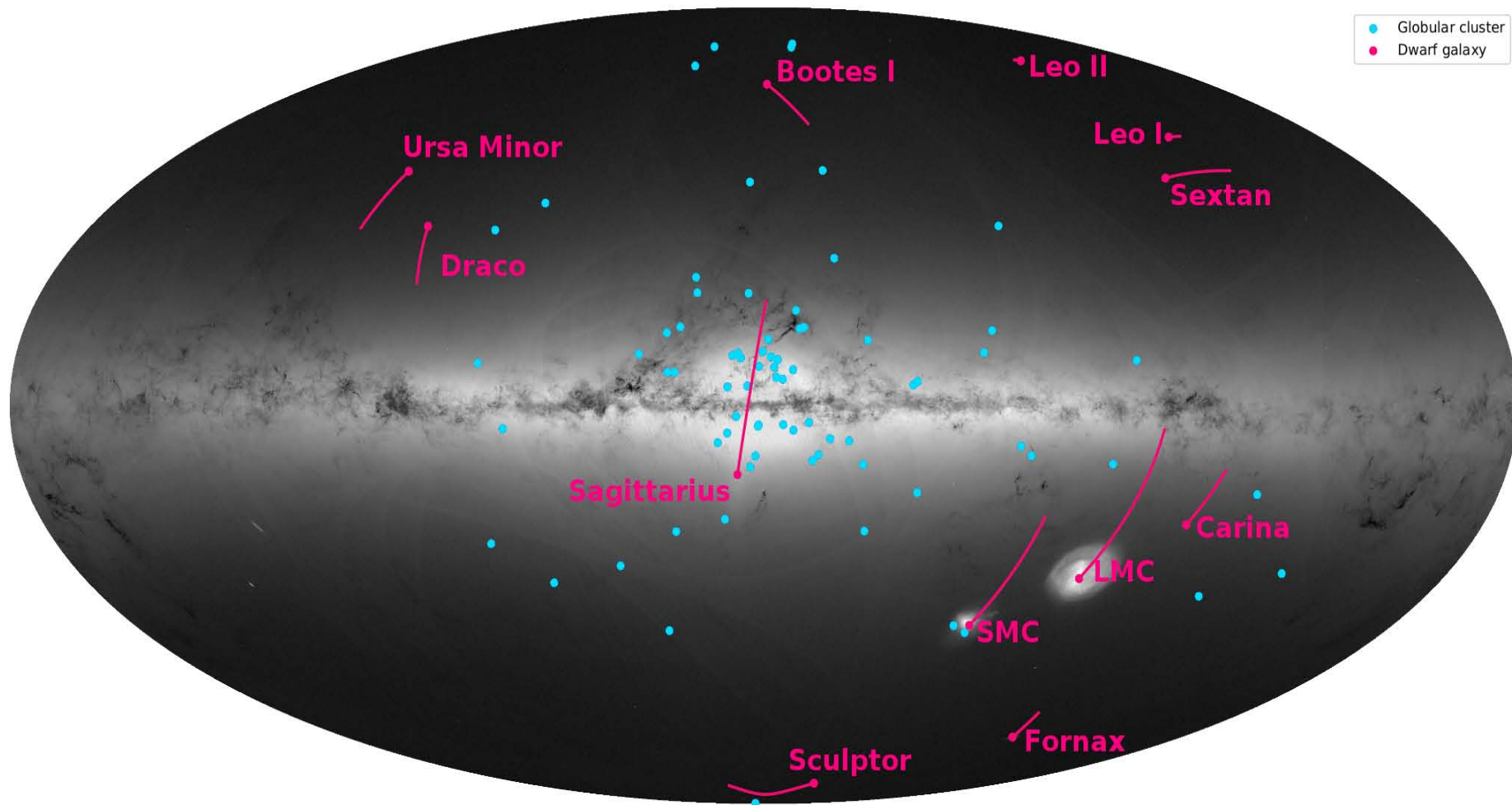


Vera Florence Rubin (1928-2016)



**Ha d'haver-hi matèria addicional:
MATÈRIA FOSCA**

4. Moviment: La massa de la Galàxia



Massa de la Galàxia = $9.1^{+6.2}_{-2.6} \cdot 10^{11}$ masses solars

4. Moviment: La massa de la Galàxia



Massa de la Galàxia = $9.1^{+6.2}_{-2.6} \cdot 10^{11}$ masses solars



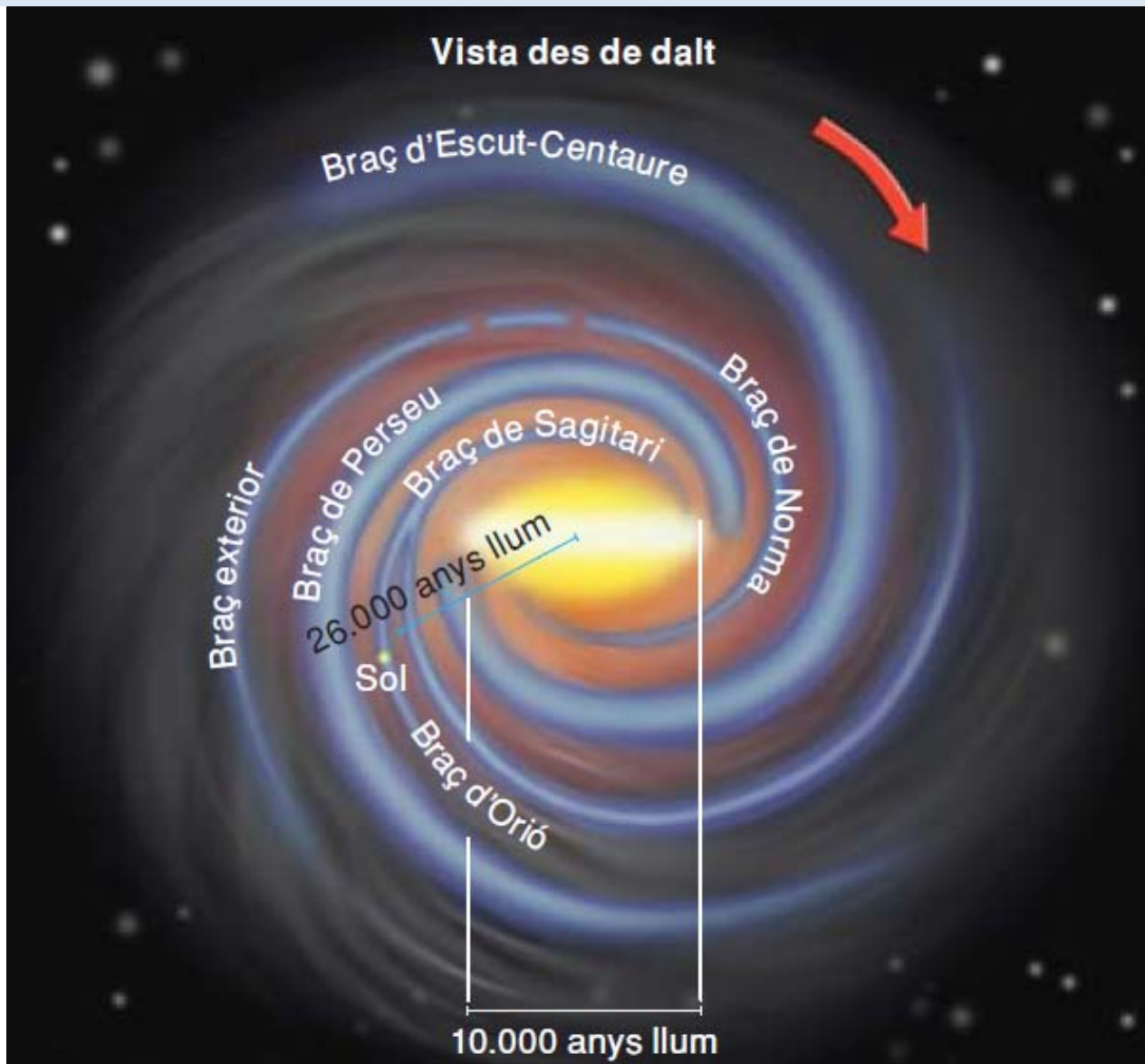
UNIVERSITAT DE
BARCELONA

Universitat Catalana d'Estiu 2022: Ciència i Tecnologia
Astronomia: un viatge des del Sol fins als límits de l'Univers

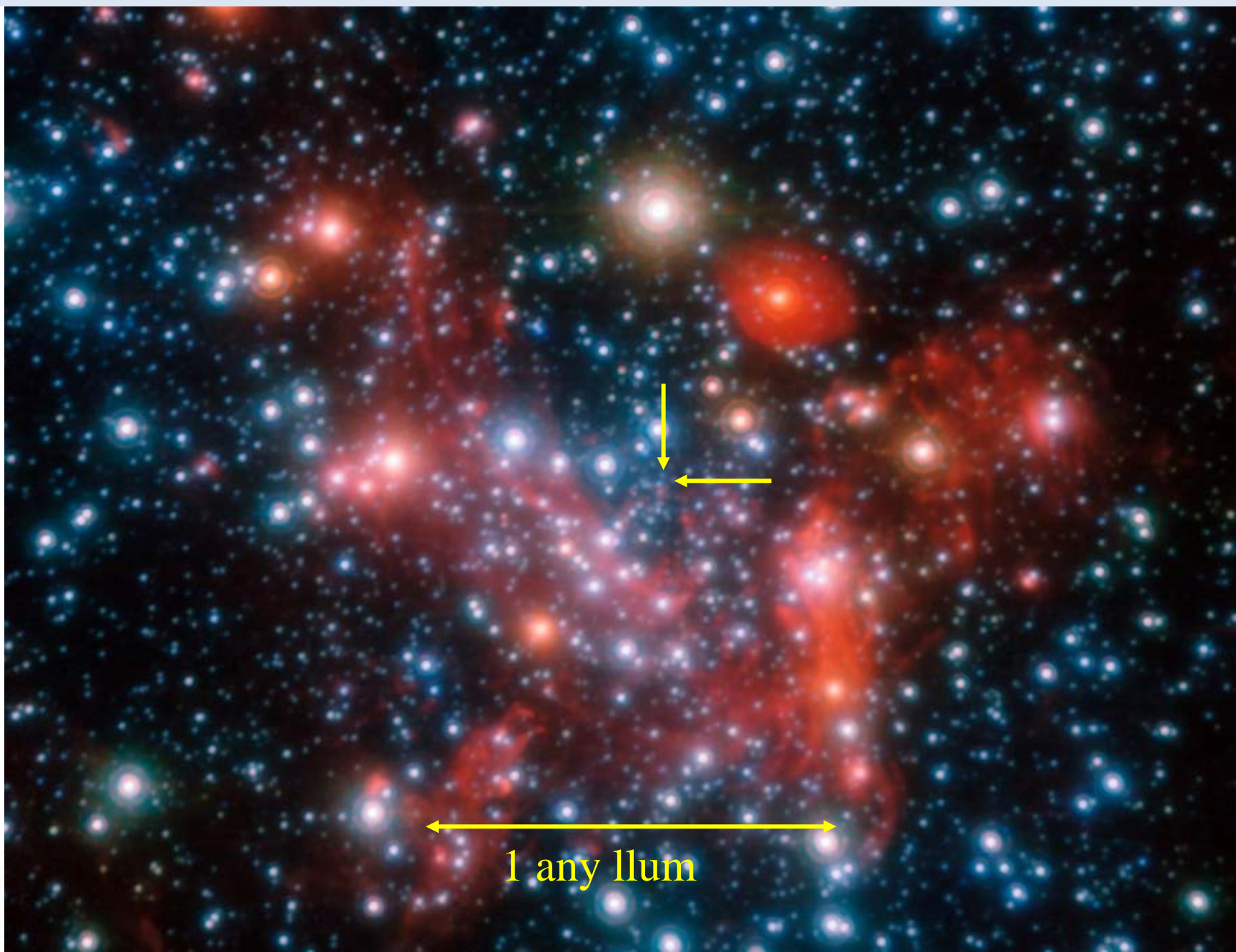


IEEC[®]
Institut d'Estudis
Espacials de Catalunya

4. Moviment. Centre galàctic



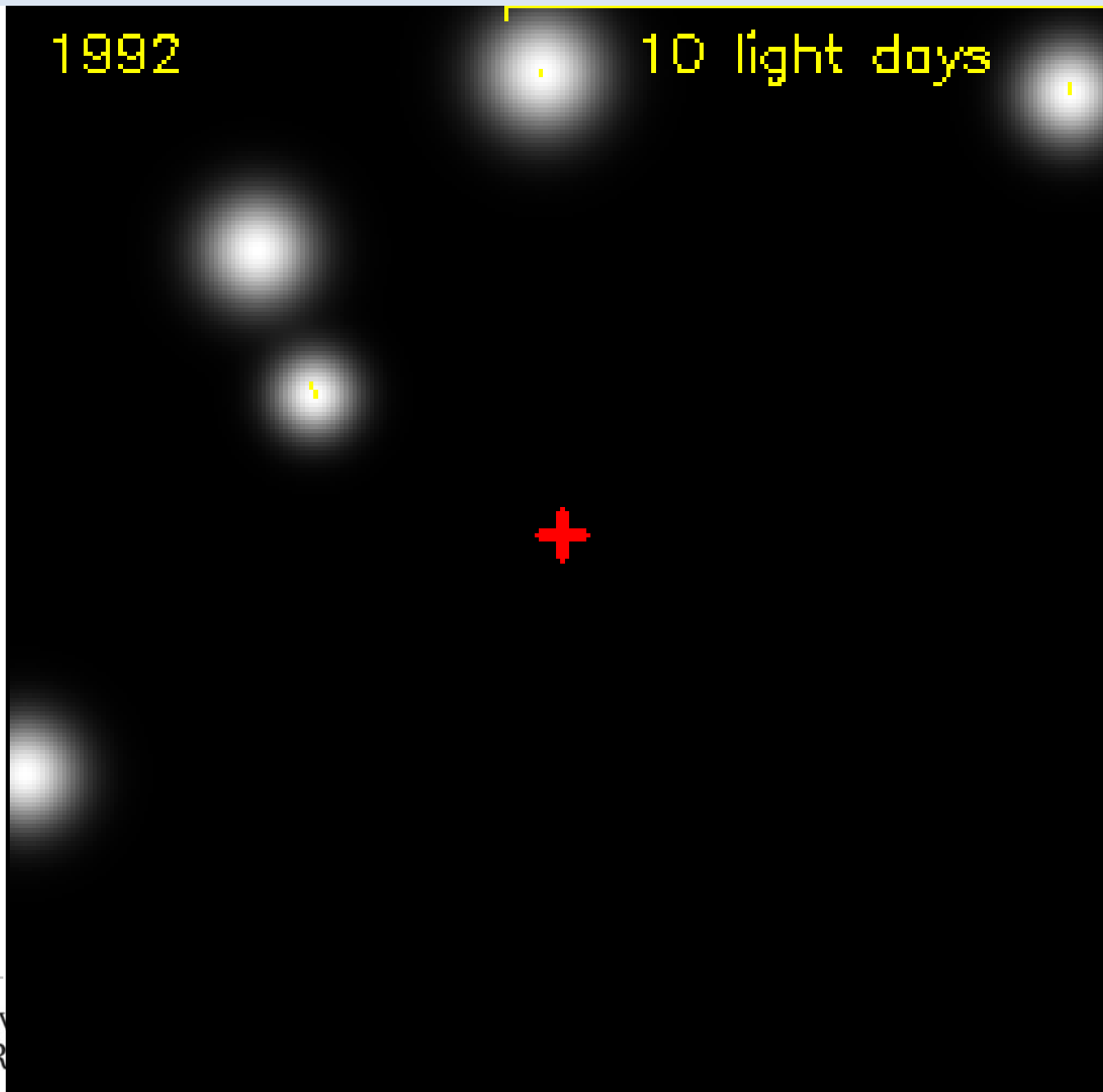
4. Moviment. Centre galàctic



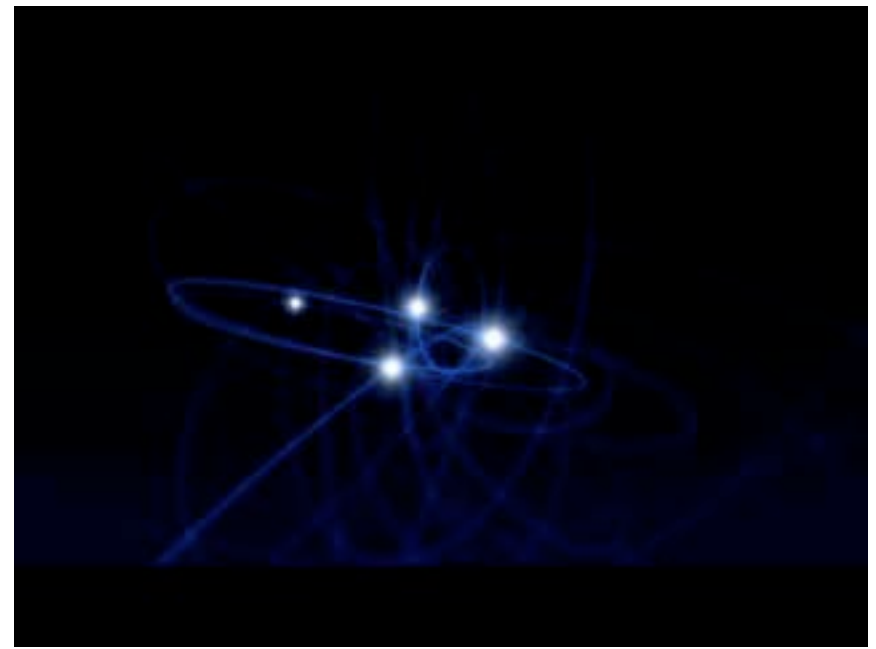
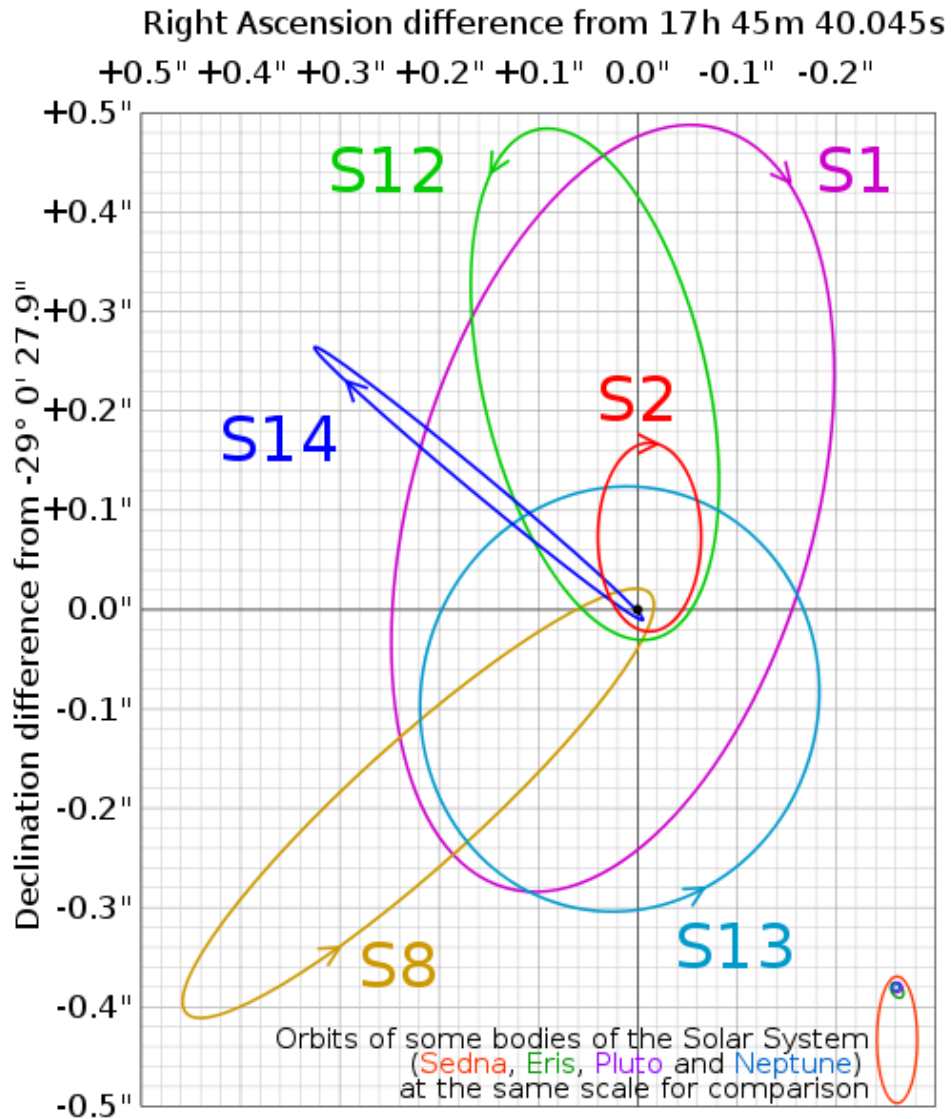
1 any llum



4. Moviment. Centre galàctic



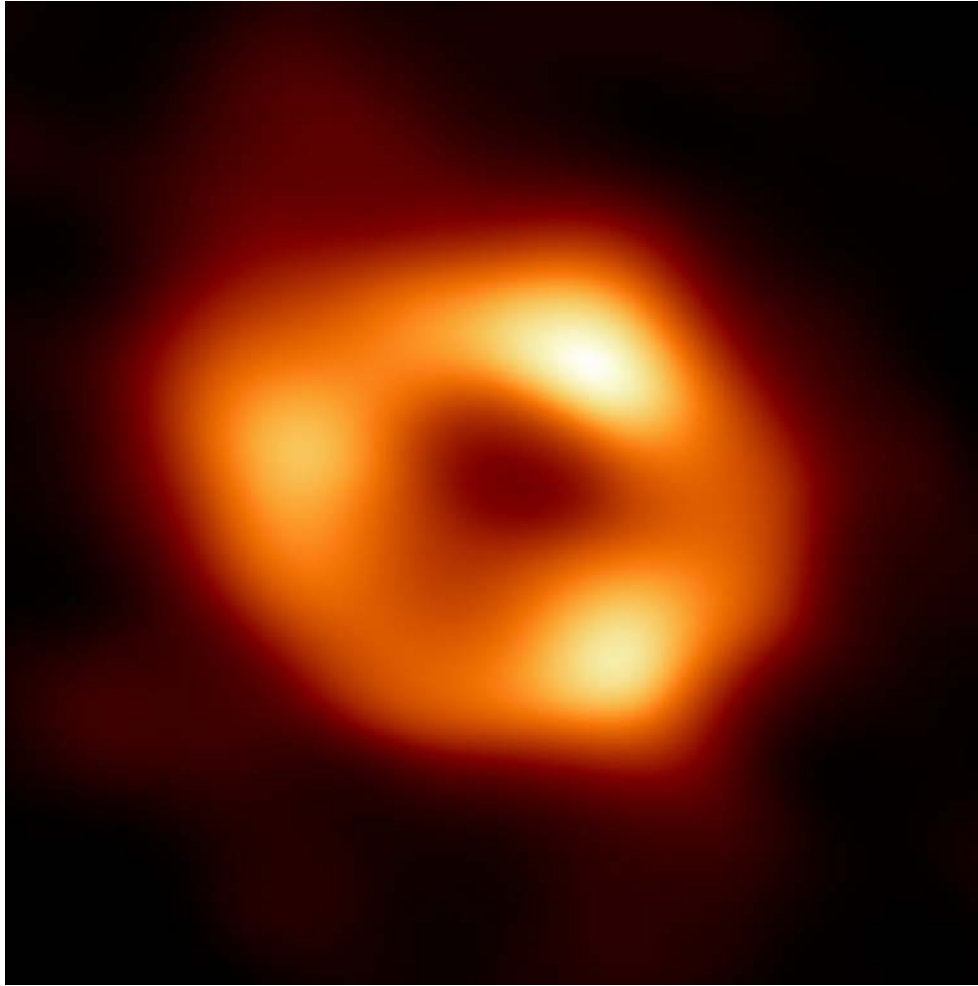
4. Moviment. Centre galàctic



Animació a: Journey to the Galactic Center - YouTube

4. Moviment. Forat negre

**Forat negre equivalent a 4 milions de sols =
8 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 kg**



Col·laboració:
Event Horizon
Telescope

maig-2022

<https://www.eso.org/public/spain/news/eso2208-eht-mw/?lang>



UNIVERSITAT DE
BARCELONA

Universitat Catalana d'Estiu 2022: Ciència i Tecnologia
Astronomia: un viatge des del Sol fins als límits de l'Univers



- Es pot mesurar el moviment de les estrelles comparant les posicions en diversos anys
- Les estrelles del disc es mouen ordenadament
- Les estrelles de l'halo es mouen en òrbites aleatòries
- El moviment espiral fa que les estrelles es formin als braços
- El moviment de les estrelles del centre de la Via Làctia ha permès de determinar que hi ha un forat negre equivalent a 4 milions de sols
- El moviment global permet determinar l'existència de matèria fosca
- La massa de la Galàxia és de $\sim 10^{12}$ masses solars

La Galàxia i els seus components

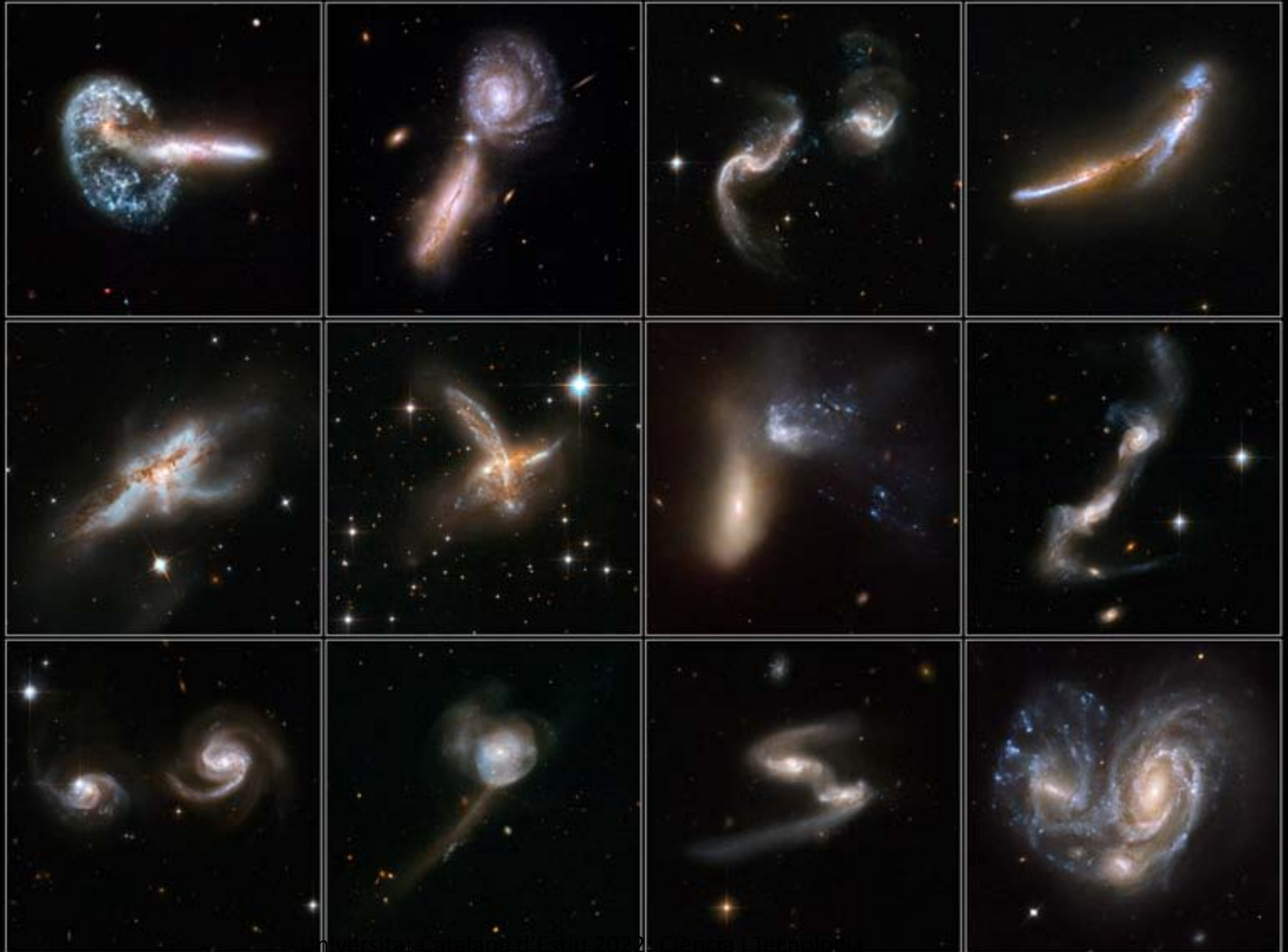
1. Història i context
2. Estructura
3. Contingut
4. Moviment
5. Formació i evolució
6. La missió Gaia



5. Formació i evolució. Barreges de galàxies

Interacting Galaxies

Hubble Space Telescope • ACS/WFC • WFPC2



NASA, ESA, the Hubble Heritage (AURA/STScI)-ESA/Hubble Collaboration, and A. Evans (University of Virginia, Charlottesville/NRAO/Stony Brook University)

STScI-PRC08-16a



UN
BA



unya

5. Formació i evolució. Barreges de galàxies

Col·lisió amb una galàxia nana

Sagittarius
Dwarf Galaxy

Milky Way

https://www.esa.int/Science_Exploration/Space_Science/Gaia/Galactic_crash_may_have_triggered_Solar_System_formation

NGC 5907

150.000 anys llum

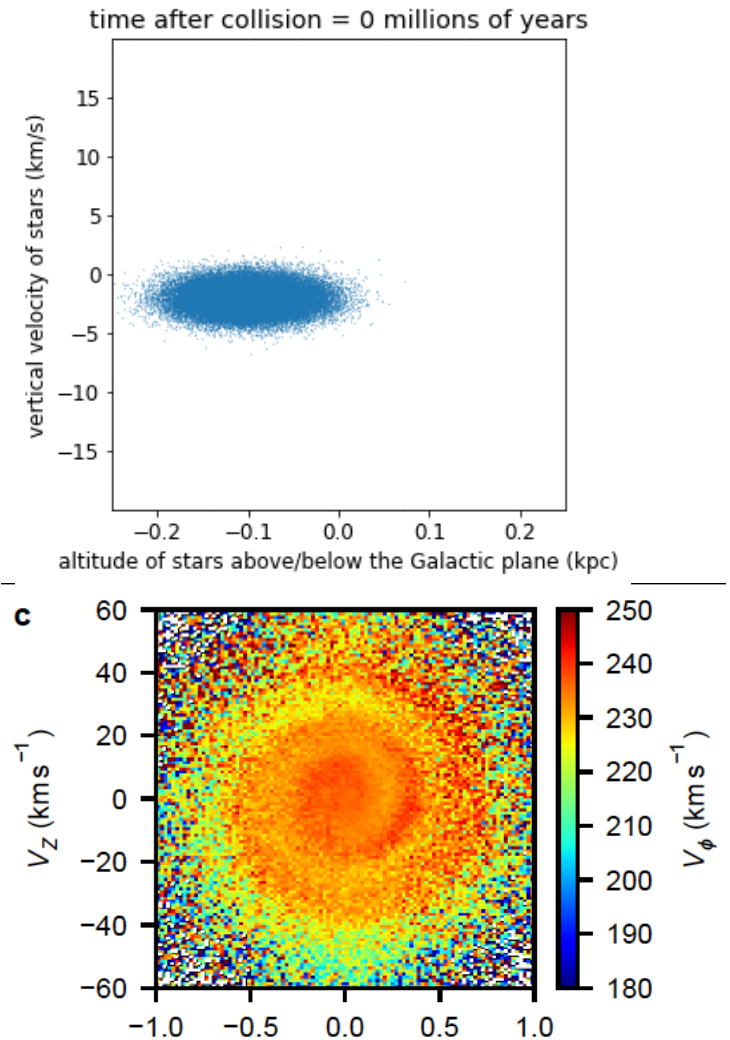
5. Formació i evolució. Barreges de galàxies



Pas d'una galàxia menor fa uns 300-900 milions d'anys: galàxia nana de Sagtari

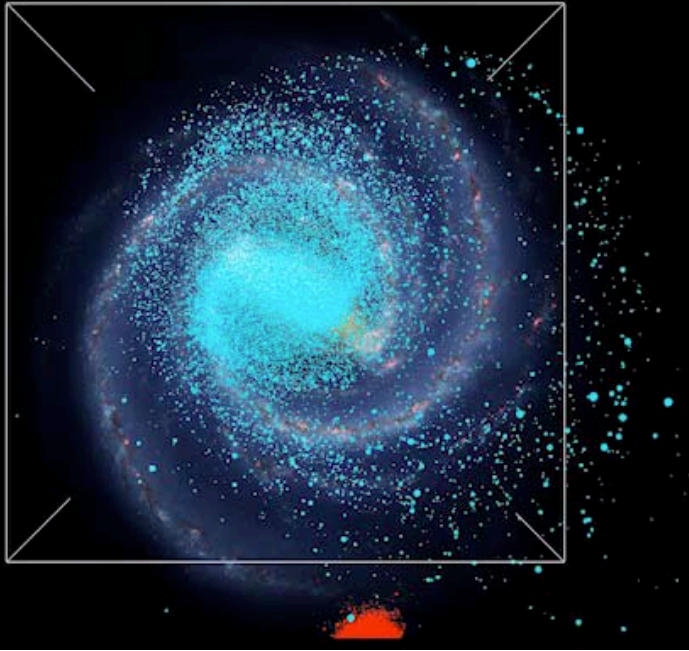
Antoja et al, *Nature*, 2018

<http://sci.esa.int/gaia/60663-gaia-hints-at-our-galaxies-turbulent-life/>



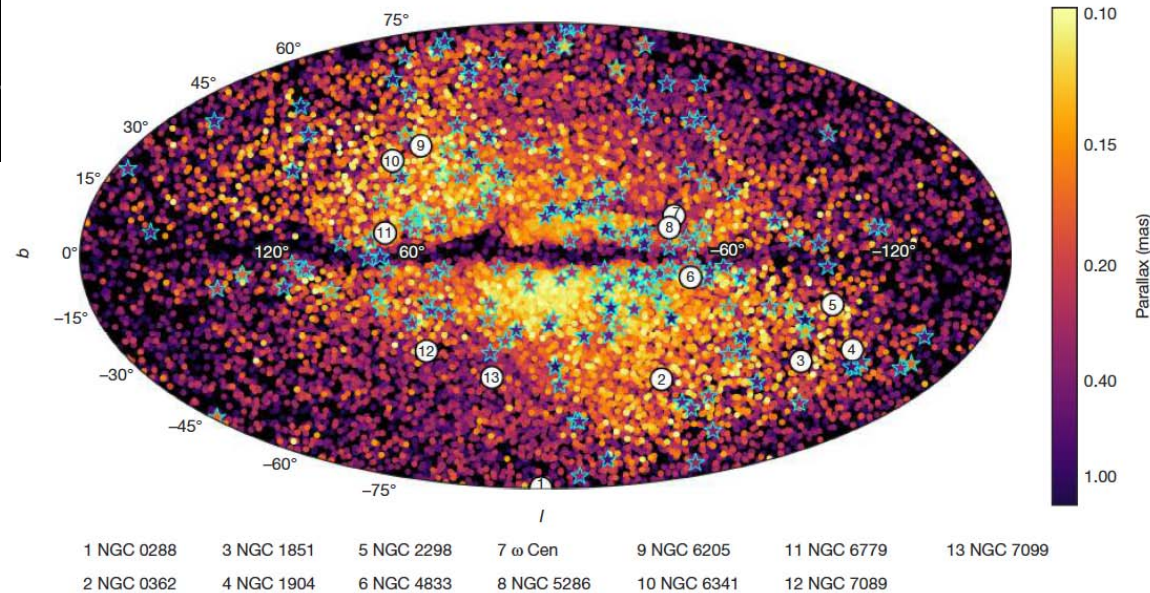
5. Formació i evolució. Barreges de galàxies

<https://sci.esa.int/web/gaia/-/60897-merger-in-the-early-formation-stages-of-our-galaxy>



Moviment retrògrad
Diferent composició química
10 mil milions d'anys
Gaia-Enceladus (una mica més gran que SMC)

Helmi et al, *Nature*, 2018



Col·lisió amb una galàxia semblant a la nostra



https://en.wikipedia.org/wiki/Andromeda%E2%80%93Milky_Way_collision



UNIVERSITAT DE
BARCELONA

Universitat Catalana d'Estiu 2022: Ciència i Tecnologia
Astronomia: un viatge des del Sol fins als límits de l'Univers



IEEC^R
Institut d'Estudis
Espacials de Catalunya

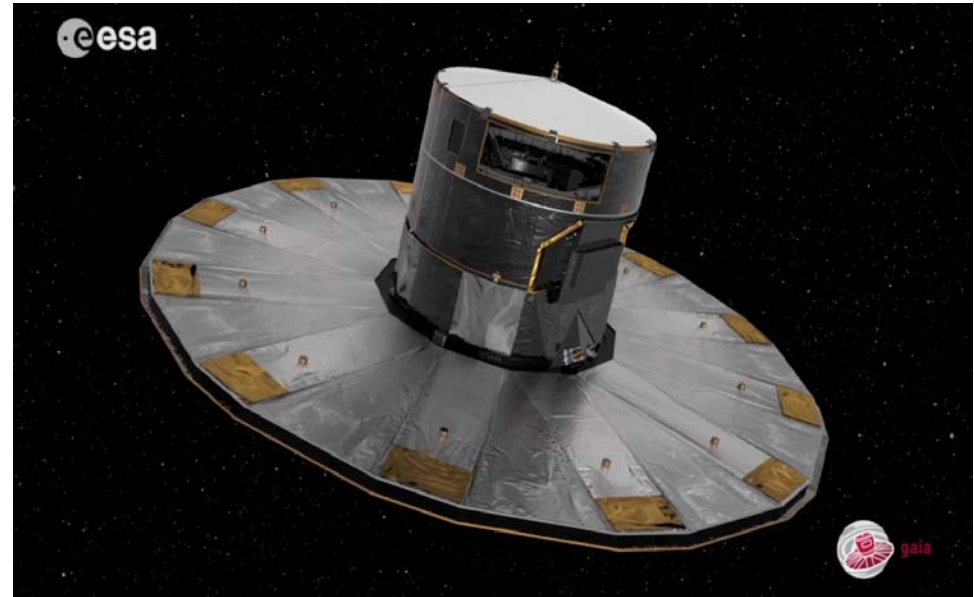
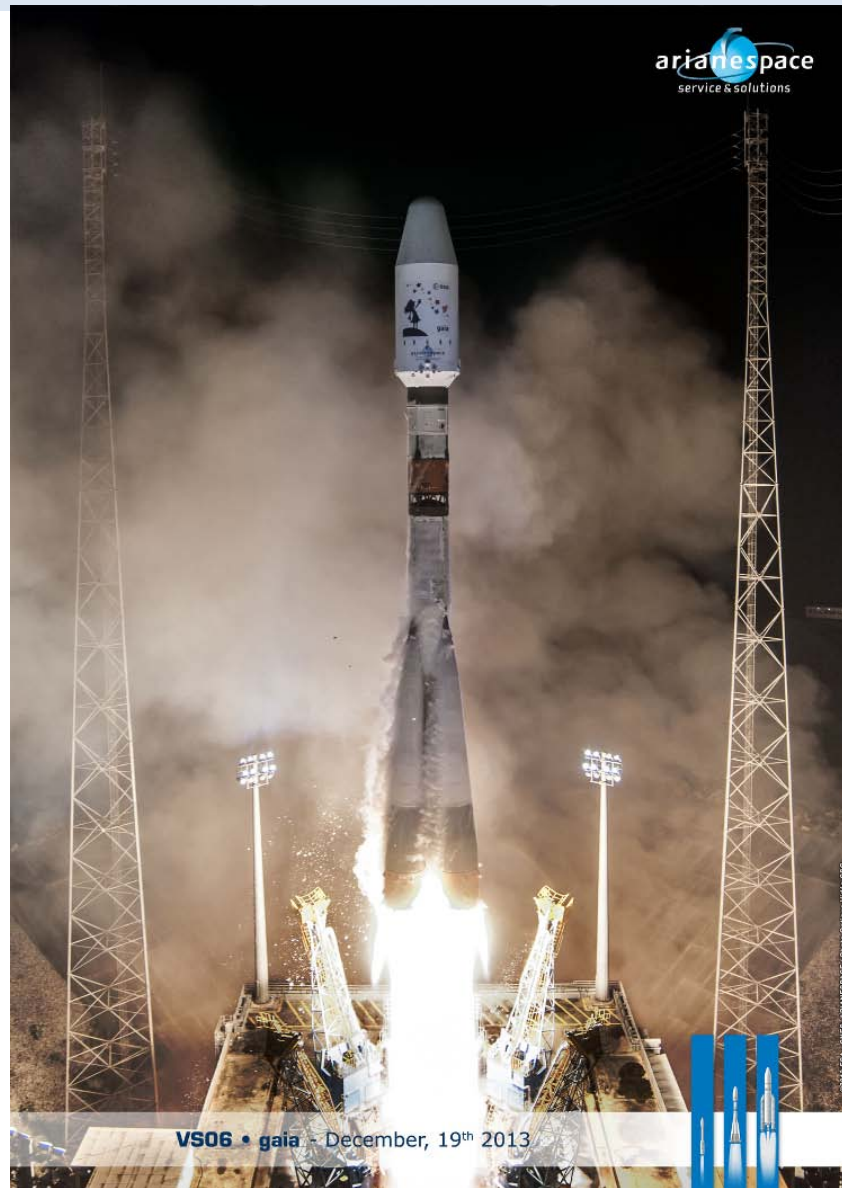
- La Via Làctia interacciona amb les galàxies del seu entorn
- El processos de barreja de galàxies són comuns
- La Via Làctia ha sofert, està sofrint i tindrà processos de barreja
- Si la Via Làctia engull una galàxia menuda, els canvis són petits
- Amb la col·lisió de la Via Làctia amb Andromeda, les dues galàxies acabaran fusionant-se i esdevenint una galàxia espiral gegant

La Galàxia i els seus components

1. Història i context
2. Estructura
3. Contingut
4. Moviment
5. Formació i evolució
6. La missió Gaia



6. La missió Gaia. Dates



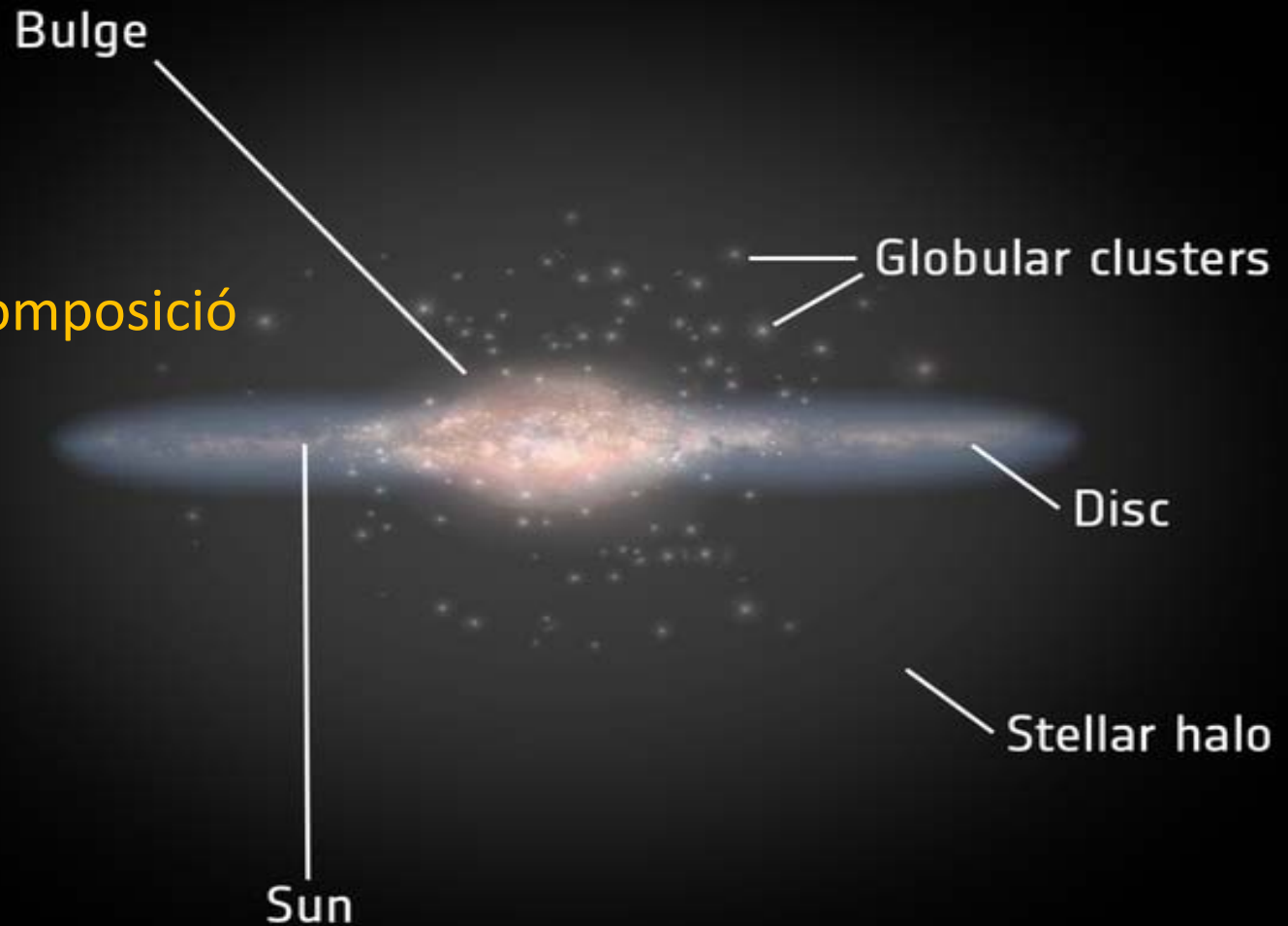
- Llançament al 19-des-2013
- Operacions científiques jul-2014 – 2025
- Primer arxiu (14 mesos) set-2016
- Segon arxiu (22 mesos) abr-2018
- Tercer arxiu (34 mesos) des-2020 i 13-6-2022

6. La missió Gaia. Objectiu

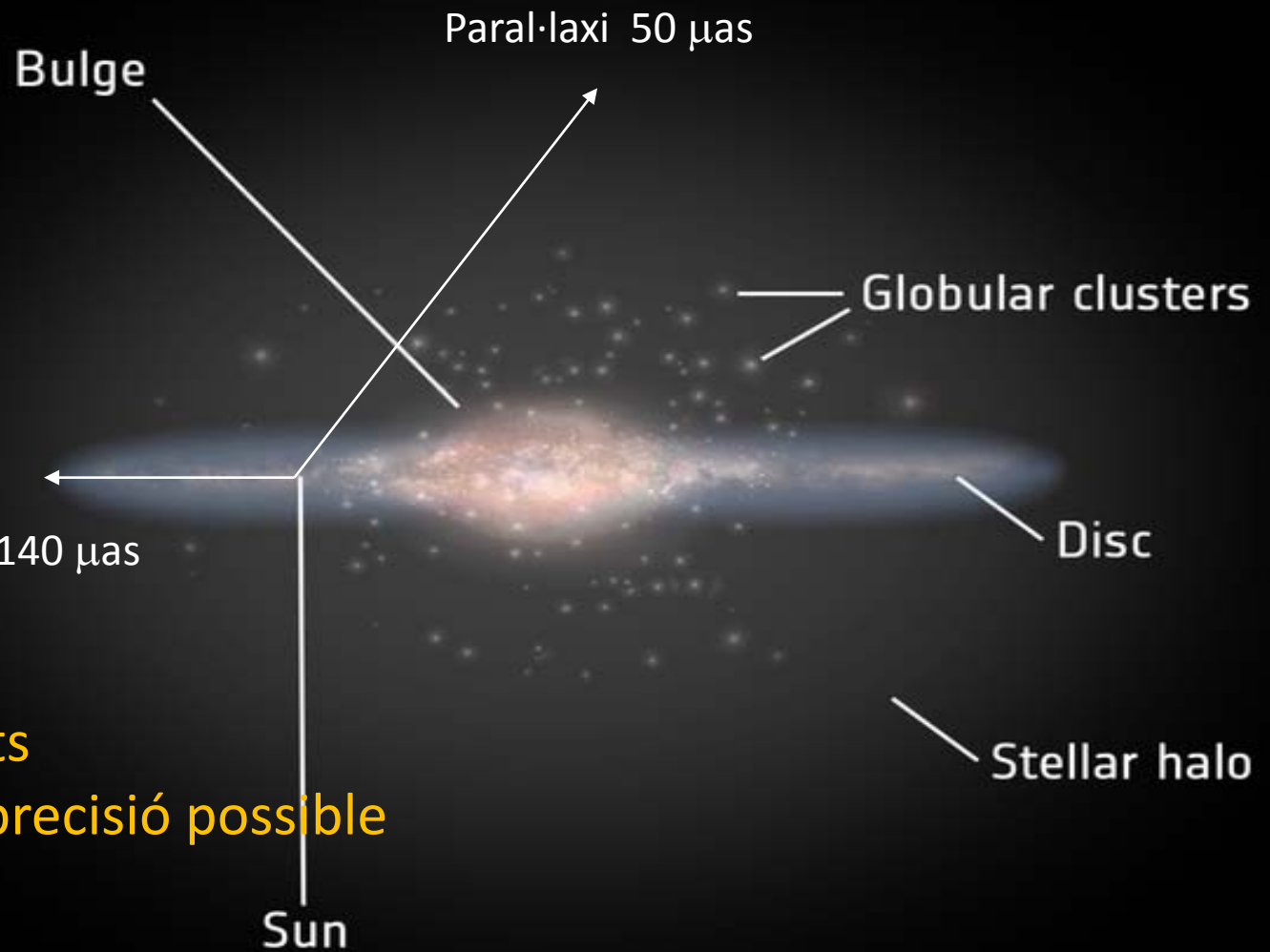
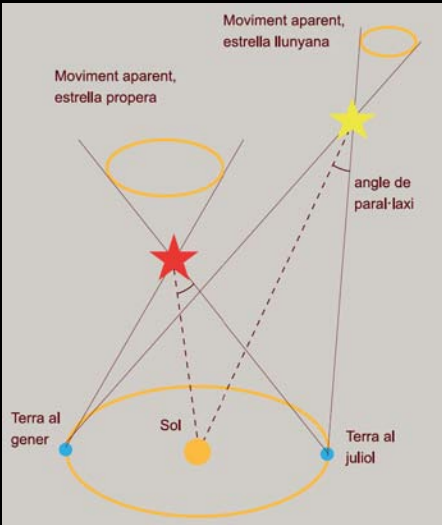
Observar en totes direccions
Com més quantitat millor, com més lluny millor



On són
Com es mouen
Com són: edat, composició



6. La missió Gaia. Objectiu

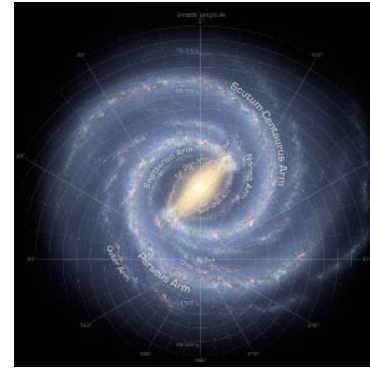


Angles molt petits
Amb la máxima precisió possible

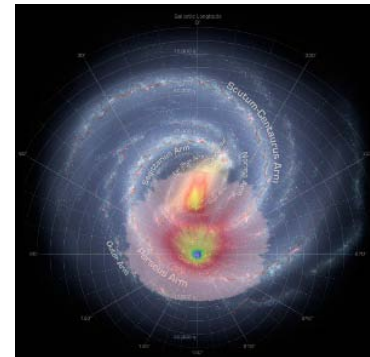
6. La missió Gaia. Objectiu



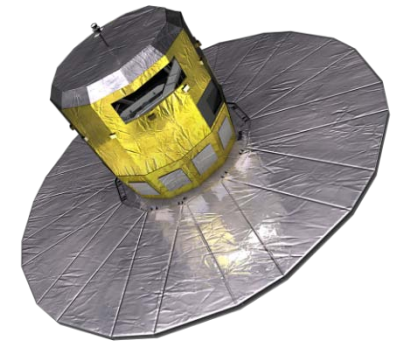
Lluna plena
30 minuts arc



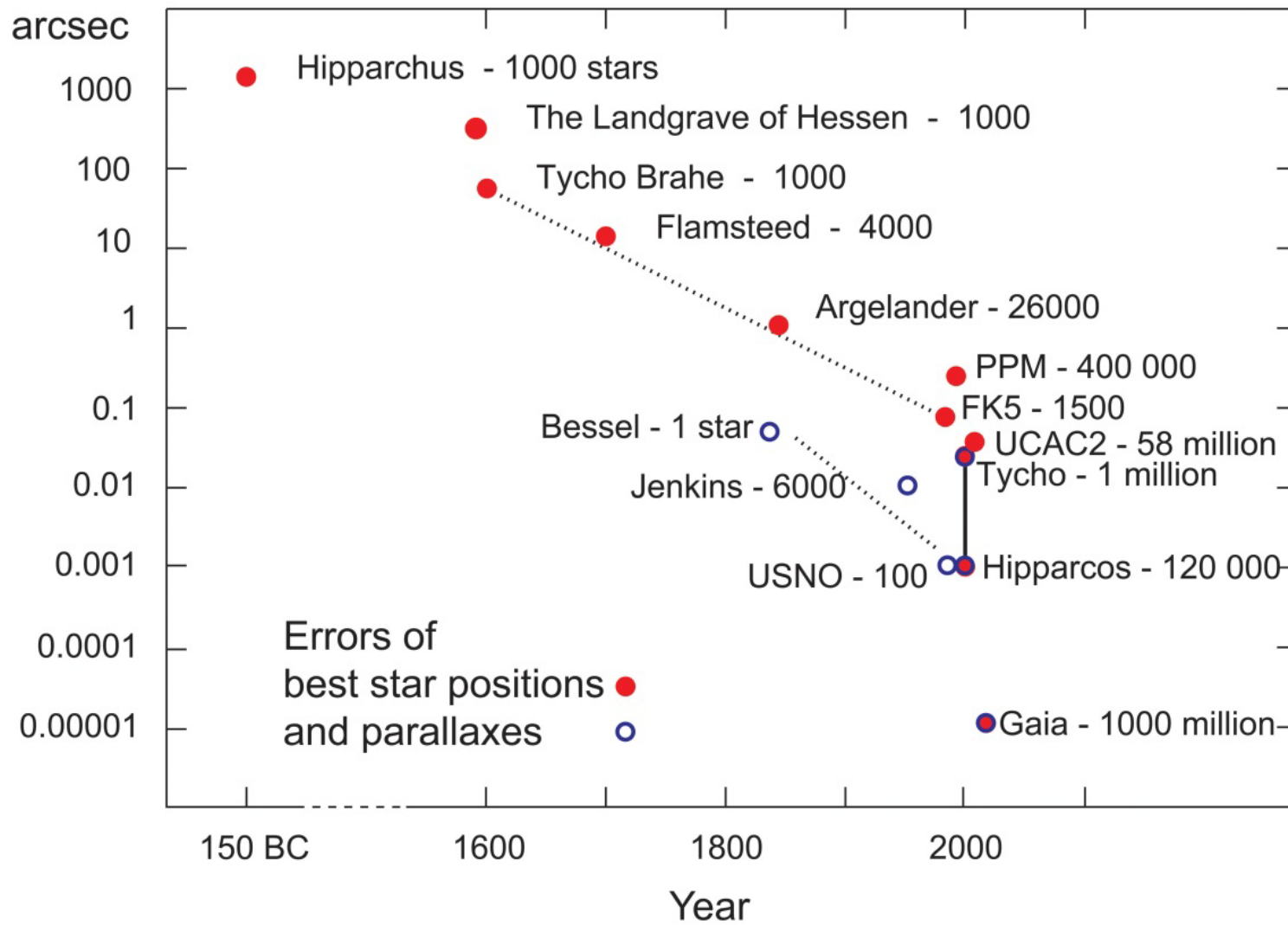
Hipparcos (1989-1993)
 $1.2 \cdot 10^5$ estrelles



Gaia (2013-2019-2025(?))
 $1.8 \cdot 10^9$ estrelles



6. La missió Gaia. Objectiu



6. La missió Gaia. Modus operandi

<https://www.cosmos.esa.int/web/gaia/media-gallery/videos>



UNIVERSITAT DE
BARCELONA

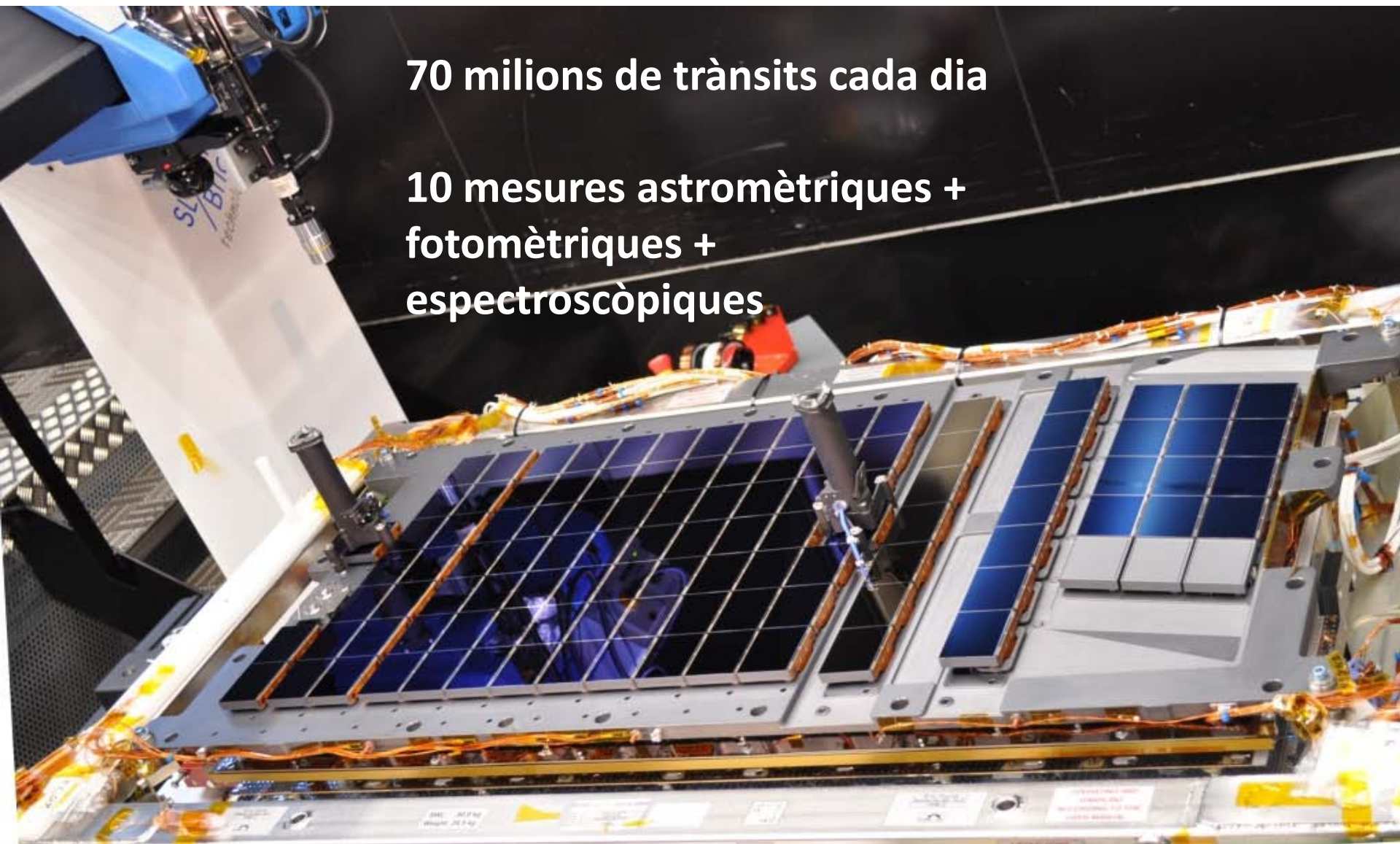


IEEC
Institut d'Estudis
Espacials de Catalunya

6. La missió Gaia. La càmera amb mil milions d'ulls

70 milions de trànsits cada dia

**10 mesures astromètriques +
fotomètriques +
espectroscòpiques**



UNIVERSITAT DE
BARCELONA

Universitat Catalana d'Estiu 2022: Ciència i Tecnologia
Astronomia: un viatge des del Sol fins als límits de l'Univers



IEEC[®]
Institut d'Estudis
Espacials de Catalunya

6. La missió Gaia. Equip humà

GAIA DATA PROCESSING AND

- Austria
- Belgium
- Croatia
- Czech Republic
- Denmark
- Finland
- France
- Germany
- Greece
- Hungary
- Italy
- Poland
- Portugal
- Slovenia
- Spain
- Sweden
- Switzerland
- The Netherlands
- United Kingdom

With small contributions from:

Algeria, Brazil, Chile, China, Israel, USA,
European Southern Observatory



6. La missió Gaia. Gaia és única

- Per la magnitud límit
- Pel nombre d'estrelles, galàxies, asteroides, ...
- Per la precisió de les mesures
- Impacte a tots els camps de l'astrofísica
- Catàleg de referència per a tots els projectes presents i futurs, des de terra i des de l'espai
- És una missió TOTALMENT europea
- El grup de Barcelona hi té un paper molt rellevant



Gràcies

Fig: ESA/Gaia-CC BY-SA 3.0 IGO



UNIVERSITAT DE
BARCELONA

Universitat Catalana d'Estiu 2022: Ciència i Tecnologia
Astronomia: un viatge des del Sol fins als límits de l'Univers



IEEC
Institut d'Estudis
Espacials de Catalunya