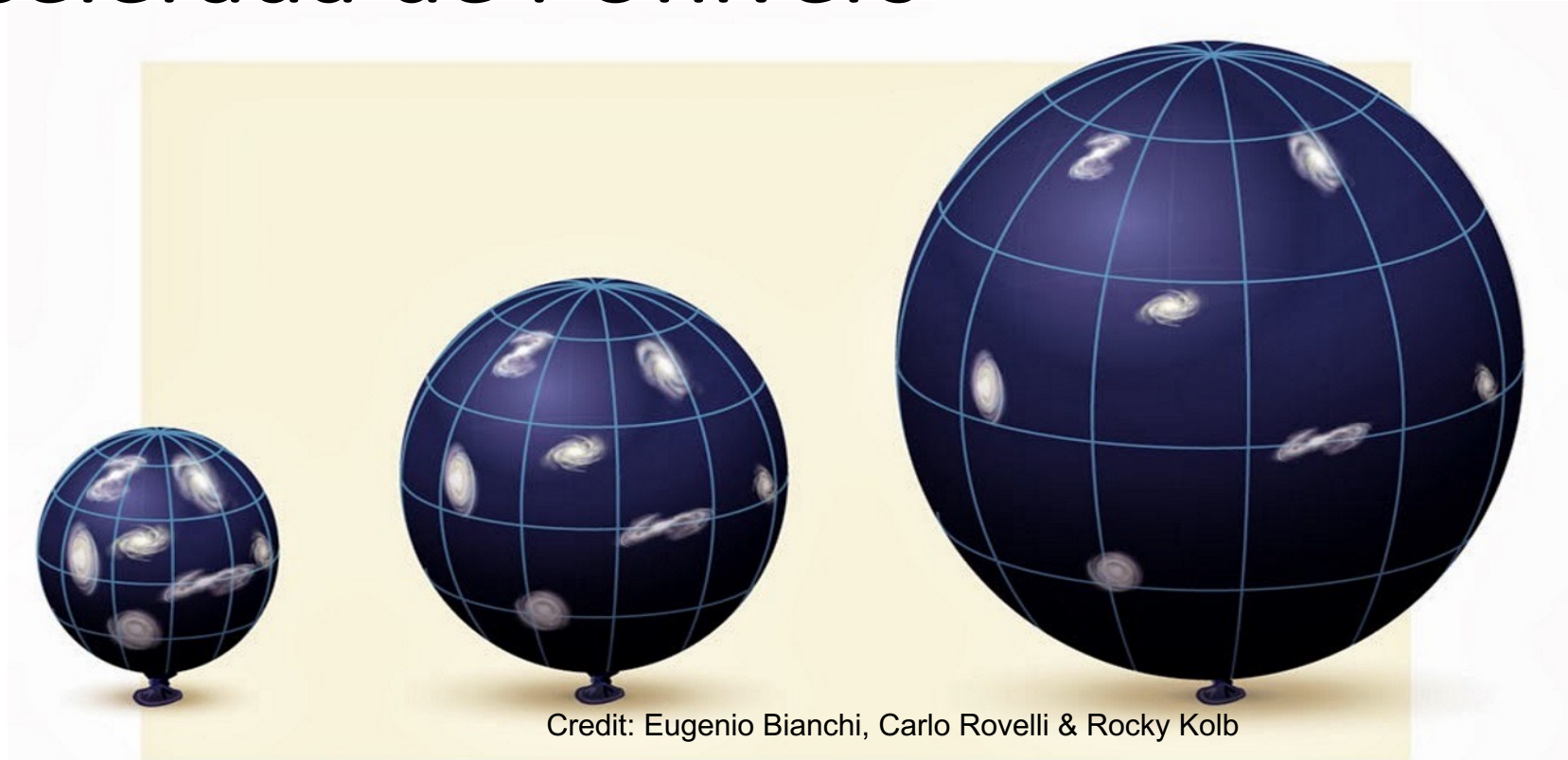


Energia fosca i l'expansió accelerada de l'Univers



Credit: Eugenio Bianchi, Carlo Rovelli & Rocky Kolb

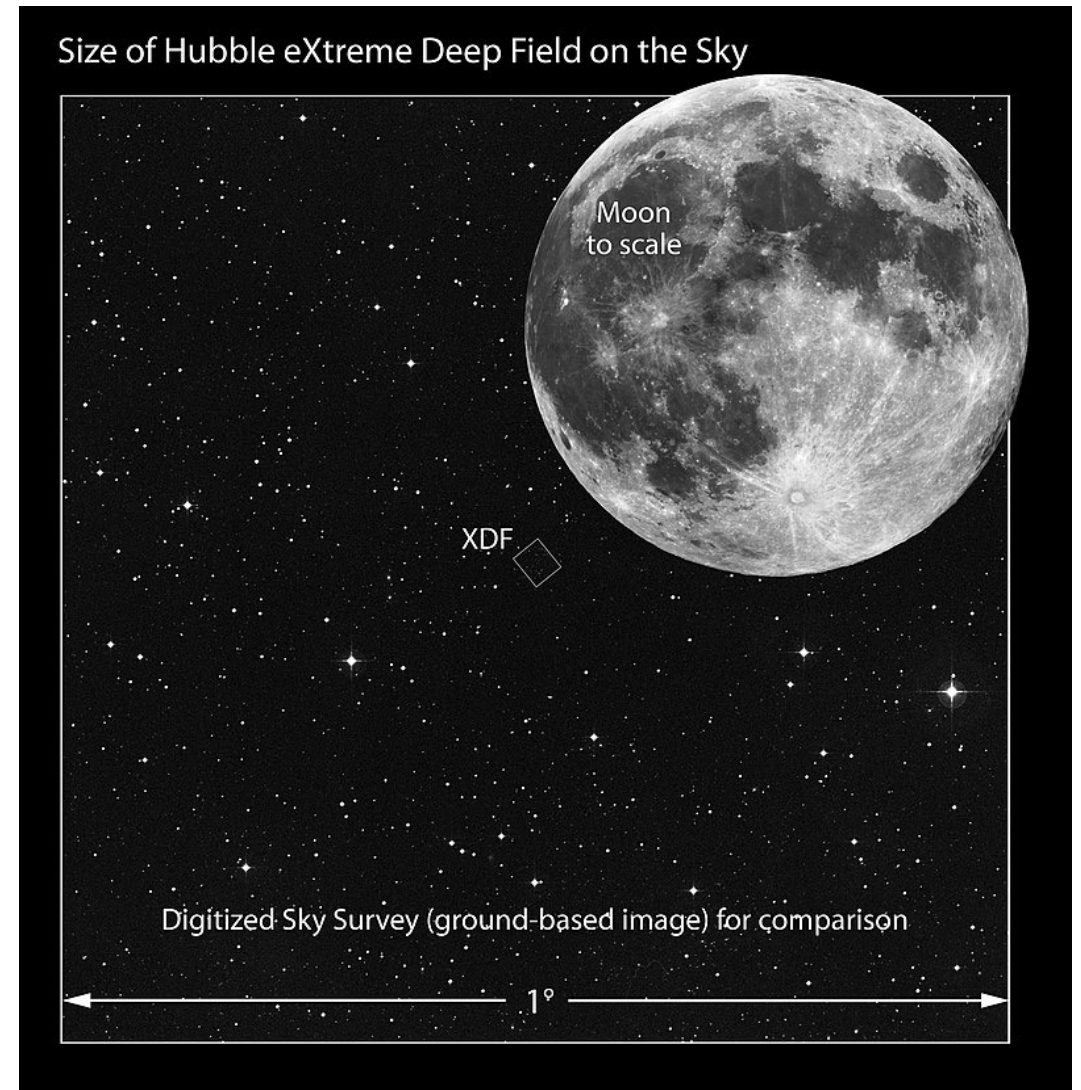
Andreu Font Ribera

Institut de Física d'Altes Energies (IFAE)



La Via Làctea, la nostra galàxia, formada per milers de millions d'estrelles

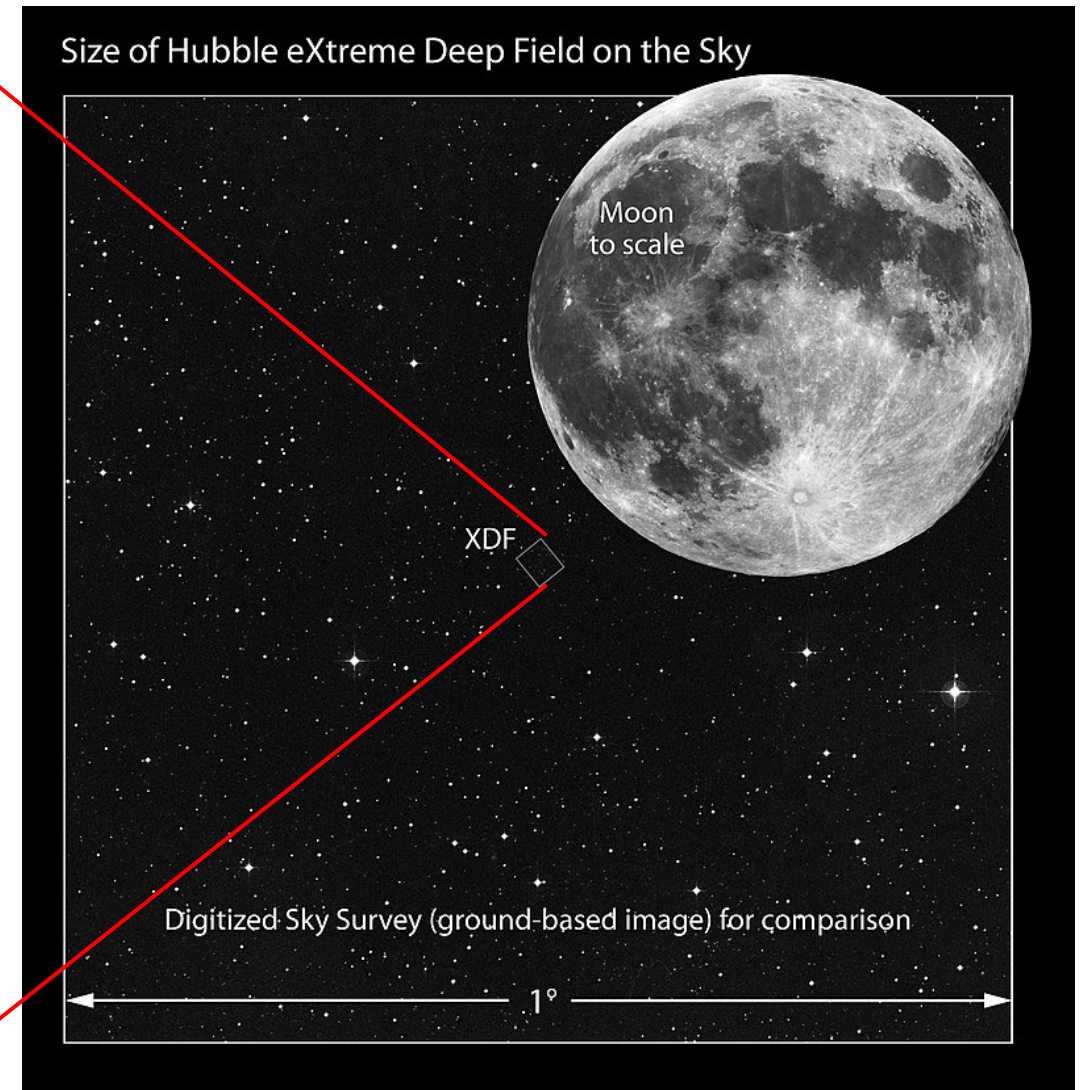
El telescopi especial Hubble ens permet estudiar objectes invisibles a ull nu



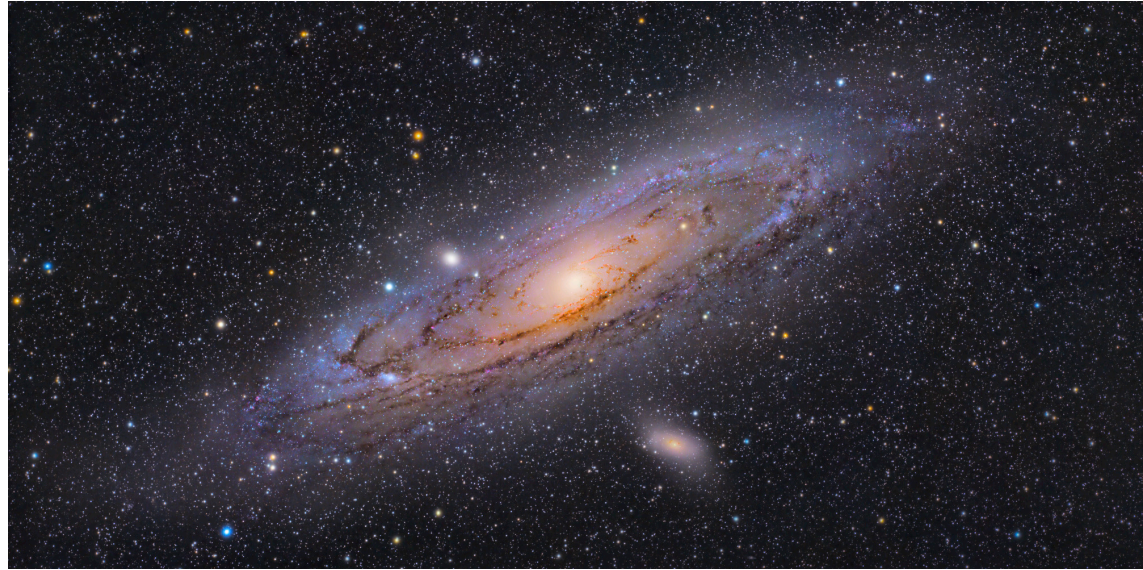
El telescopi especial Hubble ens permet estudiar objectes invisibles a ull nu

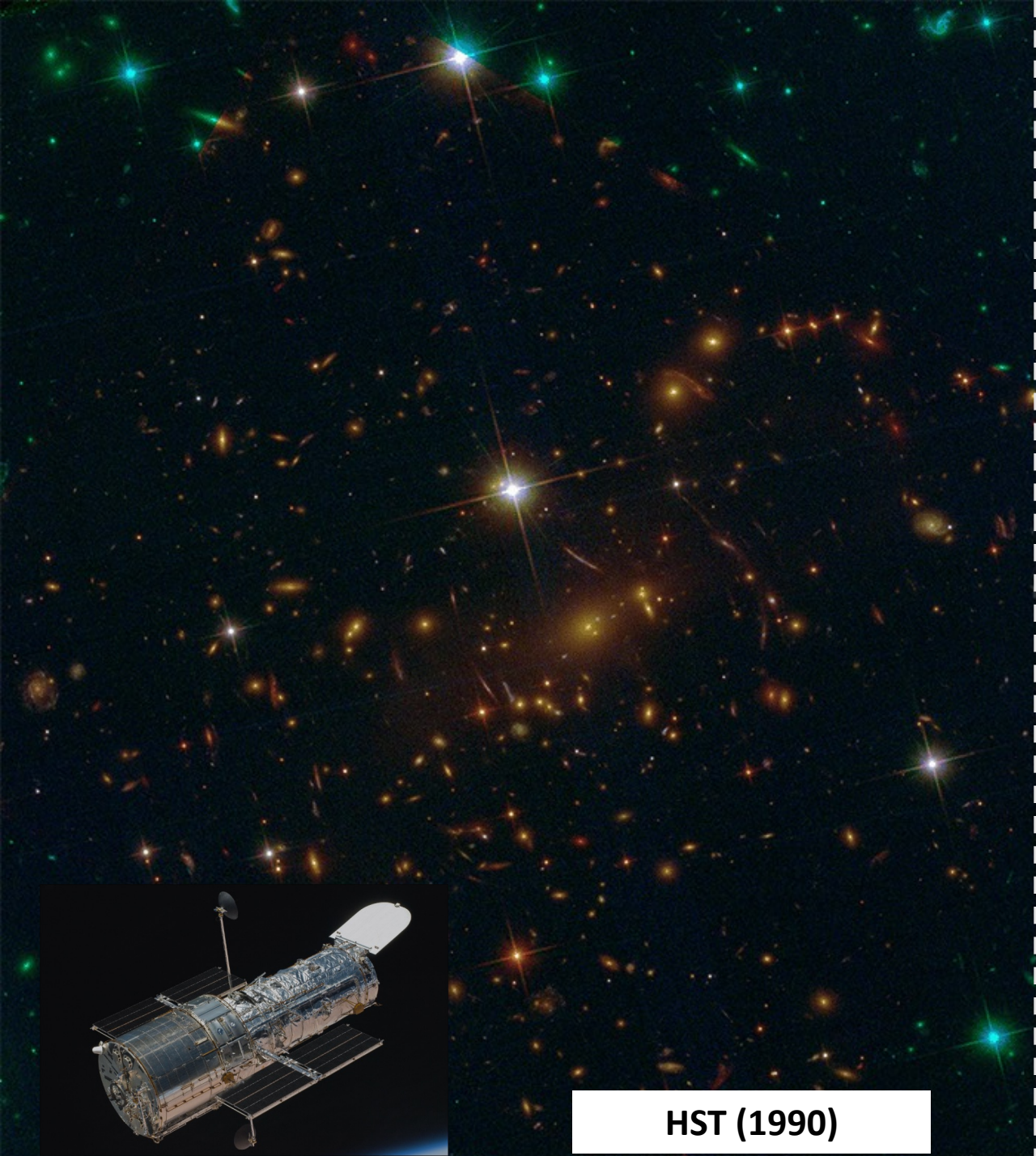


Cada punt aquí és una galàxia!

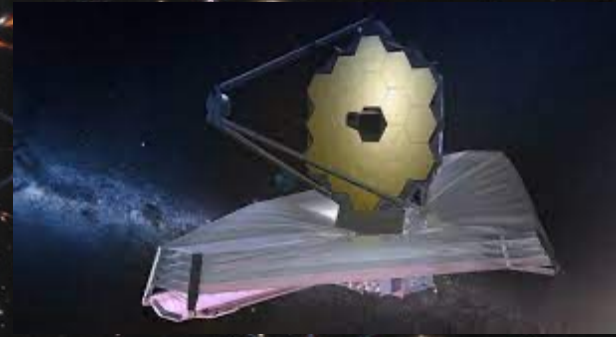


De galaxies n'hi ha de tot tipus: en
veiem de properes, llunyanes,
espirals, elíptiques... i que xoquen!





HST (1990)

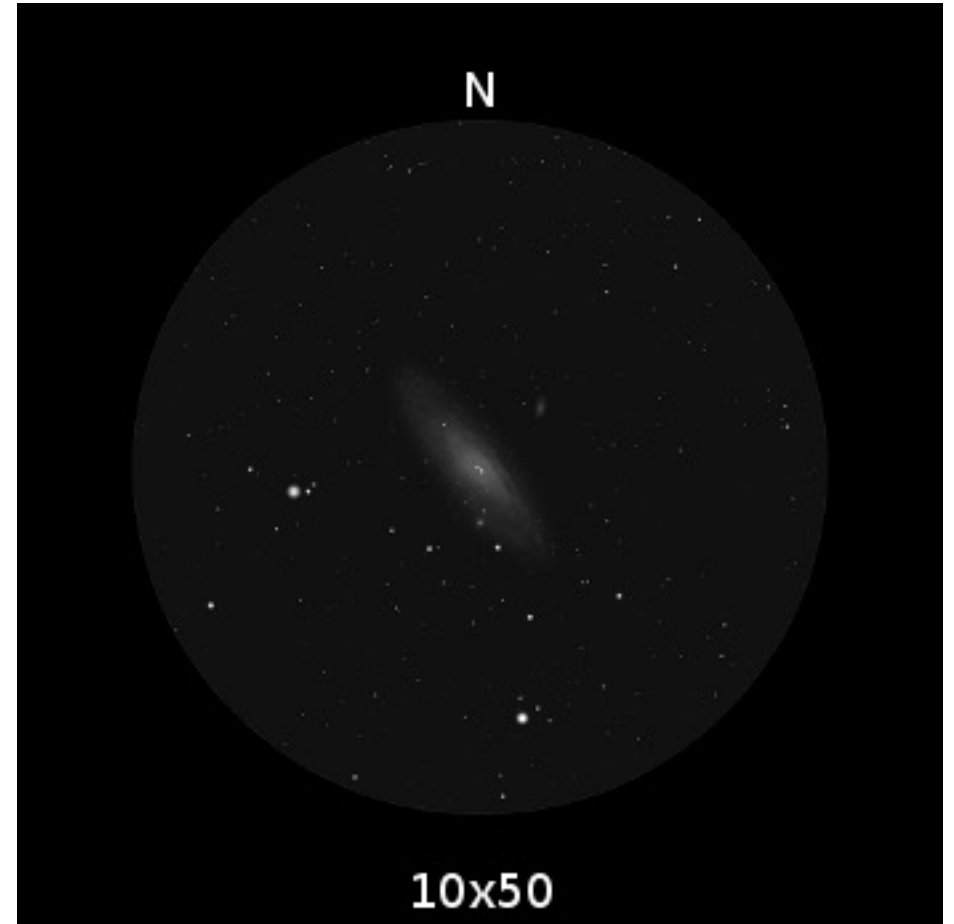
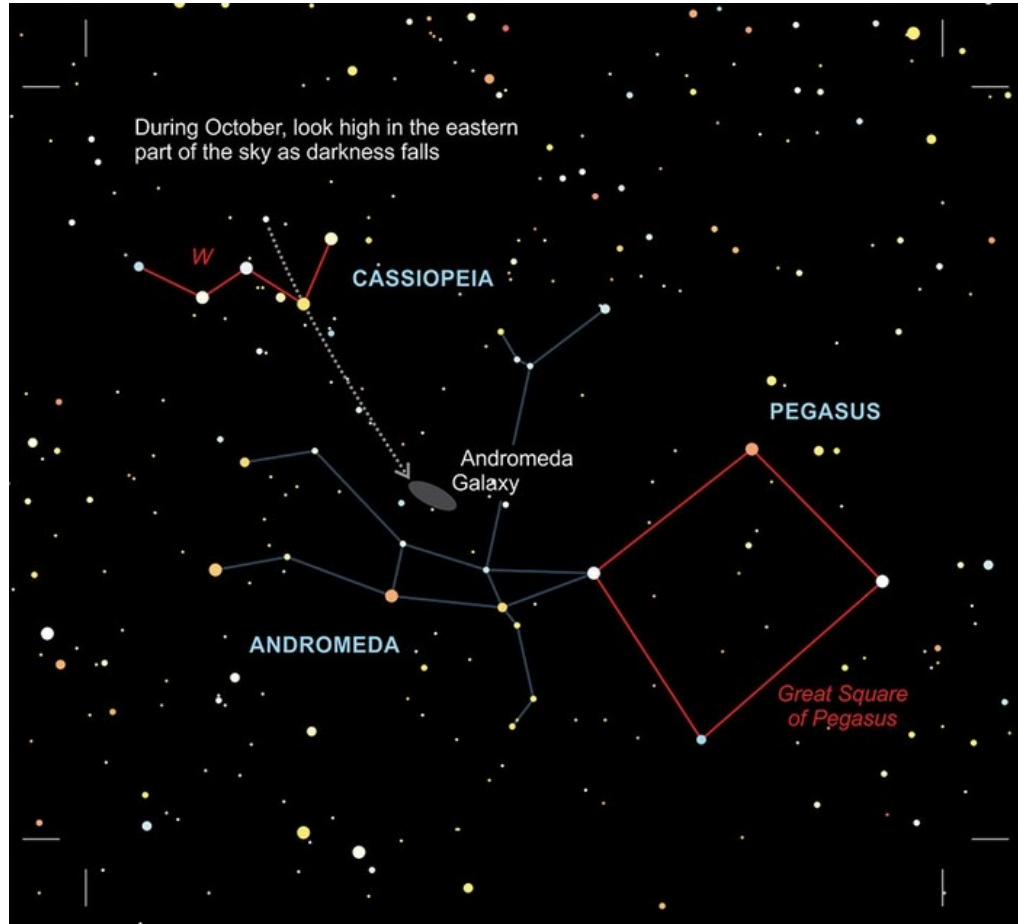


JWST (2021)

De que parlarem avui?

- **Nebuloses i galaxies**
- L'Univers s'està expandint!
- Energia fosca
- Cartografiats de galàxies

Nebuloses i galaxies: Andròmeda, la nostra veïna



Molt difícil a ull nu (Al-Sufi en parlava a l'any 964!), però és pot veure amb binocles

Nebuloses i galaxies: història

- Any 150: Ptolomeu parla de 5 estrelles "nebuloses"
- Any 964: Al-Sufi parla del "petit núvol" d'Andromeda
- Any 1610: Peiresc parla de la nebulosa d'Orió
- Any 1783: Messier presenta el seu catàleg de 103 "nebuloses"



Nebuloses i galaxies: el gran debat (1920)

La **nebulosa** d'Andròmeda al 1900



Remontem-nos a principis del sXX:
què són totes aquestes nebuloses?

El 1920 es convoca un **gran debat**
a Washington per discutir-ho

En **Harlow Shapley** (entre altres) defensava que:

- Totes les estrelles de l'Univers són dins la Via Làctea
- Les nebuloses són grups d'estrelles dins la Via Làctea

En **Heber Curtis** (entre altres) defensava que:

- Les nebuloses són “universos illa”, fora de la Via Làctea
- La Via Làctea tan sols és una illa més

El 1885 s'havia observat una explosió a Andròmeda

En Shapley defensava que l'explosió hauria de ser
extremadament brillant si Andròmeda estava tan lluny

Tant de bo poguéssim mesurar la distància a Andròmeda!

Nebuloses i galxies: com mesurar distàncies

Com més lluny és un objecte, menys llum ens n'arriba

$$\text{Flux} = \text{lluminositat} / \text{distància}^2$$

Espectra estàndard: si en sabem la lluminositat, i en medim el flux, en sabem la distància!



Henrietta Leavitt
(1868 – 1921)

Les cefeides són estrelles amb canvis regulars de brillantor

Leavitt va trobar una relació entre la lluminositat i el període (com més llarg el període, més brillants són)

El 1923, Edwin Hubble troba una cefeida a Andròmeda, i en mesura el període i el flux: la distància és molt gran!

Les nebuloses espirals són galxies, fora de la Via Làctea, i de fet Andròmeda és més gran que la nostra galàxia!

L'explosió de 1885 era una supernova (com la de M1), la primera mai observada fora de la Via Làctea

De que parlarem avui?

- Nebuloses i galàxies
- **L'Univers s'està expandint!**
- Energia fosca
- Cartografiats de galàxies

L'Univers s'està expandint!

Però abans, haurem de fer una mica de física...

L'efecte Doppler i les velocitats astronòmiques



Efecte Doppler (sonor): sons més aguts en apropar-se, més greus en allunyar-se



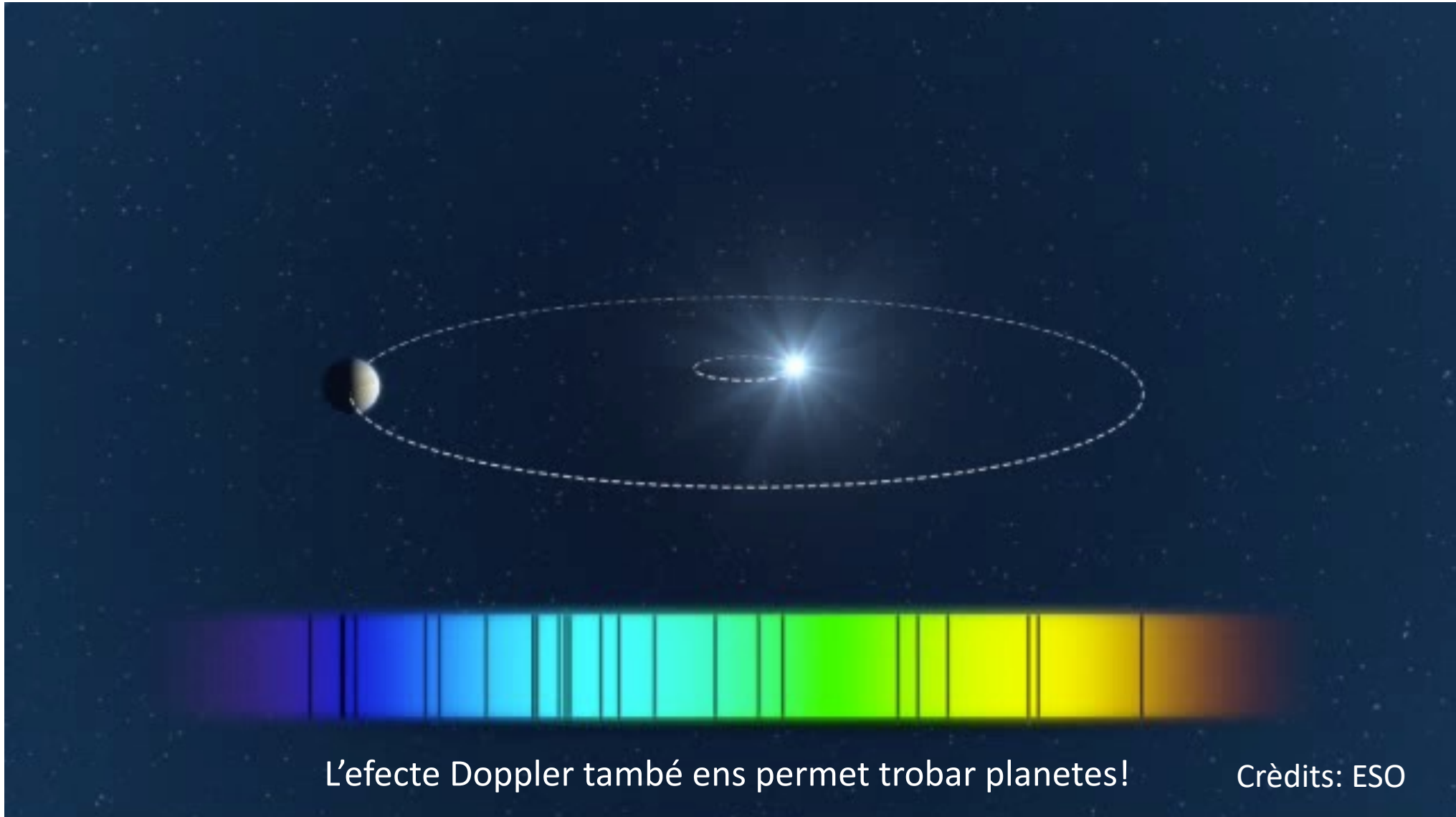
L'espectre lumínic del Sol té "línies d'absorció", causades pel mateix gas a la superfície del Sol

Aquestes línies ens diuen la seva composició: 73% H, 25% He, etc.



Si l'estrella s'allunya (o s'apropa) veurem les línies desplaçades al vermell (o al blau)

L'efecte Doppler i les velocitats astronòmiques



L'Univers s'està expandint!

Vesto Slipher (1917): La llum de les galàxies està “desplaçada cap al vermell” (redshift)

Alexander Friedmann (1922): La relativitat general d'Einstein prediu un univers en expansió

Georges Lemaitre (1927): Les galàxies més llunyanes, s'allunyen més ràpidament!

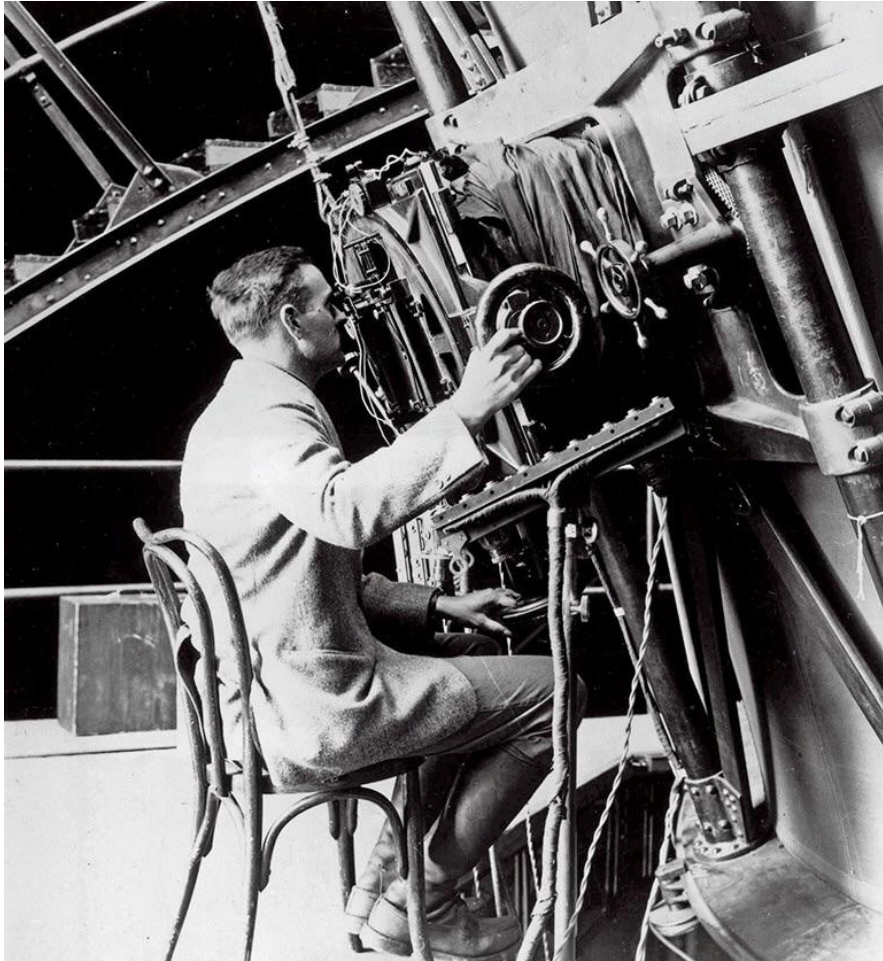
Conseqüència I: l'Univers s'està expandint!

Conseqüència II: l'Univers al principi era MOLT dens (àtom primordial)

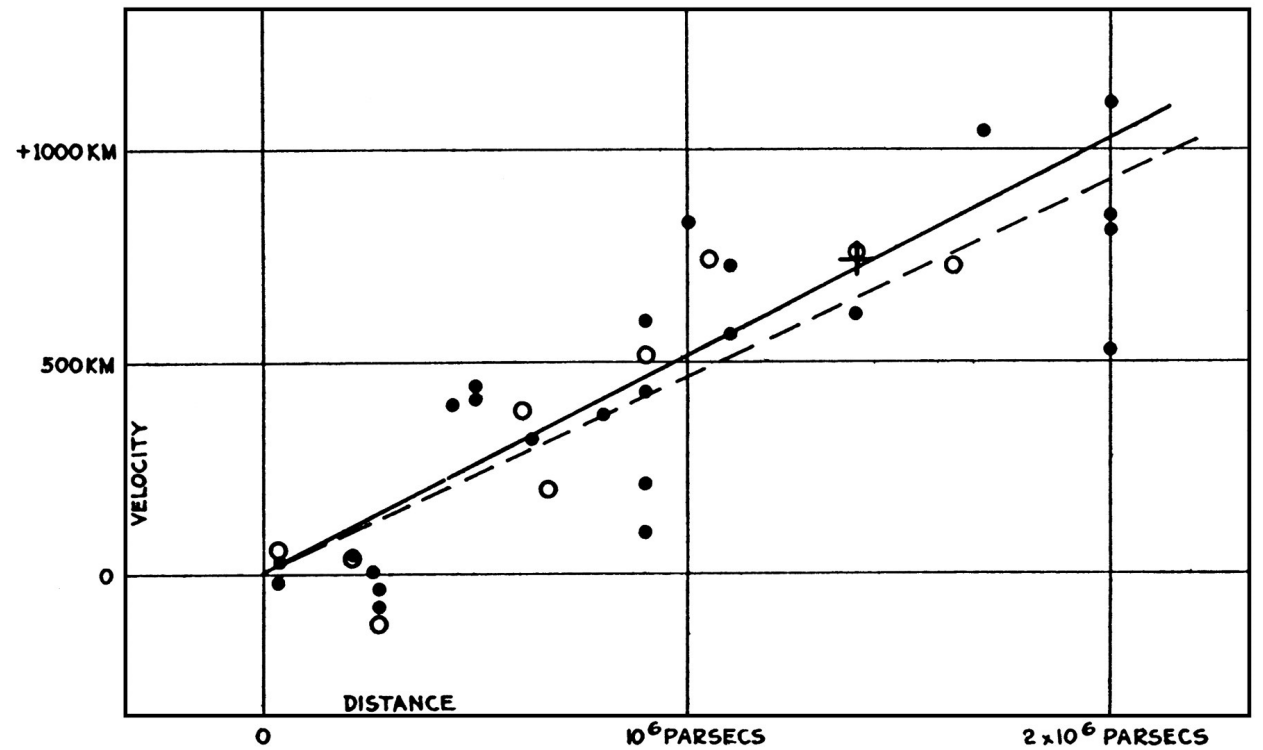
Edwin Hubble (1929): Les galàxies més llunyanes, s'allunyen més ràpidament!

Conseqüència: l'Univers s'està expandint!

L'Univers s'està expandint!

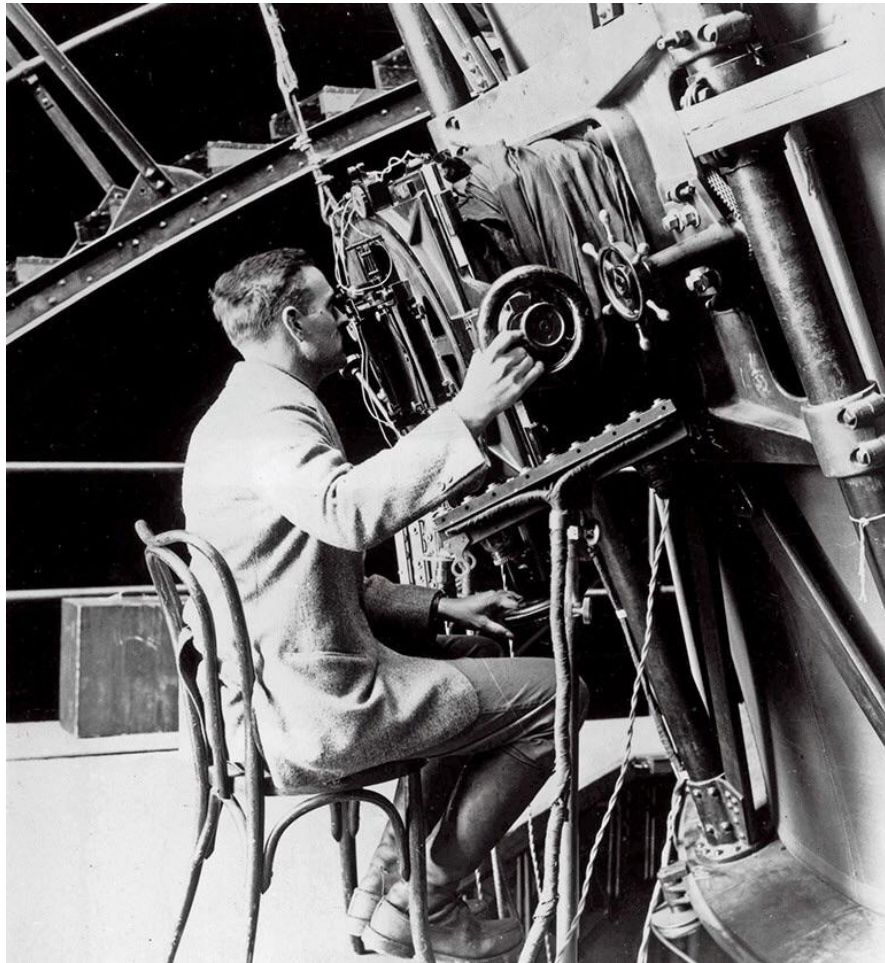


Hubble at telescopi de Mt Wilson

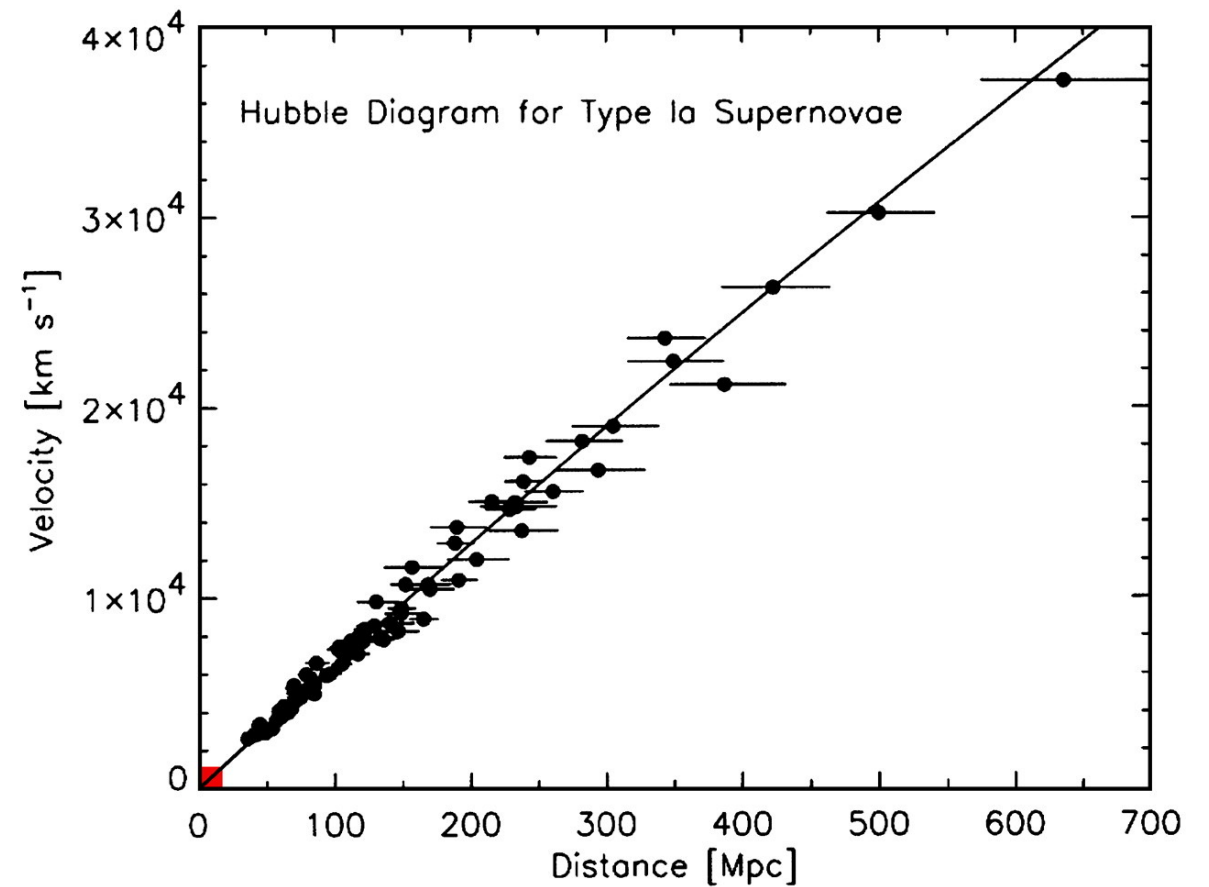


A més distància, més velocitat!

L'Univers s'està expandint!

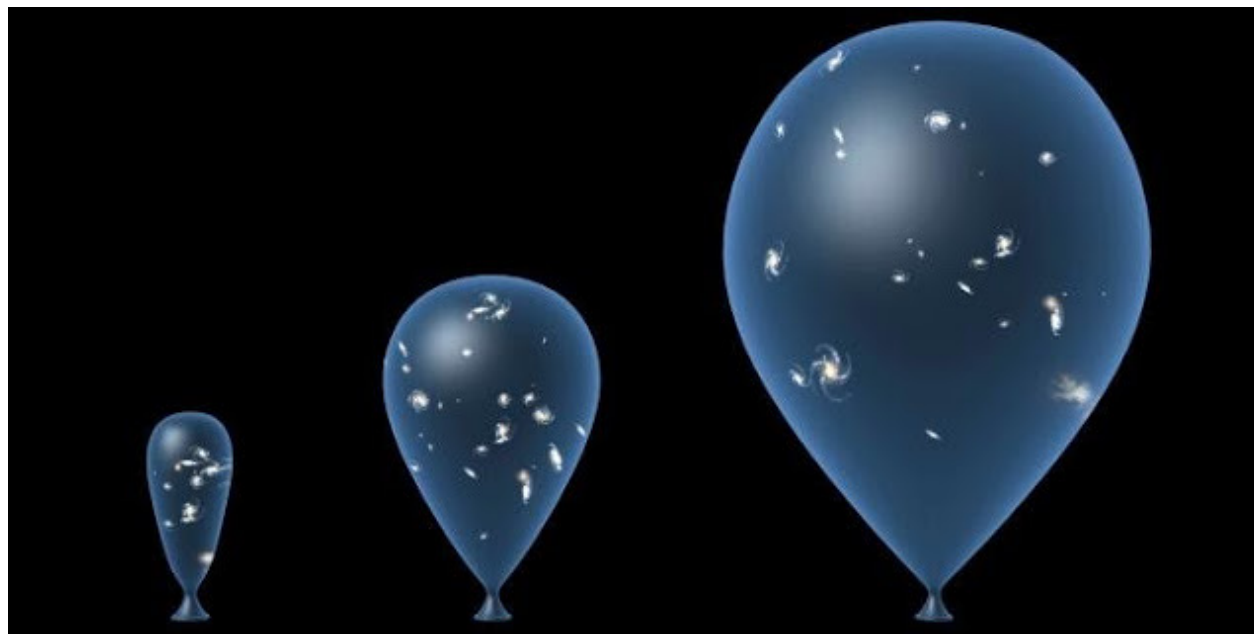


Hubble at telescopi de Mt Wilson

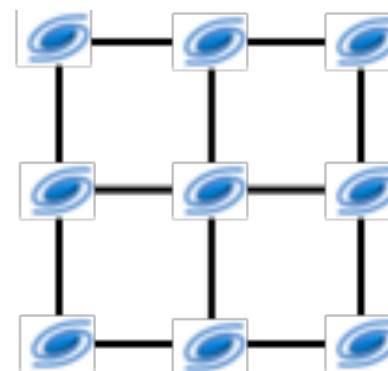
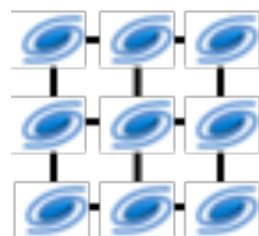


A més distància, més velocitat!

L'Univers s'està expandint!



Passat



Present

De que parlarem avui?

- Nebuloses i galàxies
- L'Univers s'està expandint!
- **Energia fosca**
- Cartografiats de galàxies

Energia fosca

El ritme d'expansió de l'Univers no ha estat sempre el mateix

En funció de la densitat d'energia promig de l'Univers, l'expansió **desaccelera** més o menys ràpidament

La llum de galaxies llunyanes ha viatjat durant millions d'anys, i ens permet “viatjar al passat” i reconstruir l'expansió de l'Univers

1998: dos equips de cosmòlegs (liderats per Saul Perlmutter i Bryan Schmidt) estudien supernoves molt distants per estudiar els canvis en l'expansió

L'expansió està accelerant!!!

Energia fosca

Avui en dia l'acceleració ha estat confirmada per diverses proves independents

És molt difícil d'explicar: la gravetat hauria de frenar-ne l'expansió!

- 1) Cal modificar la relativitat general d'Einstein a escales cosmològiques?
- 2) El buit quàntic podria tenir associada una energia?
- 3) Una partícula nova “escalar” (com el bosó de Higgs), amb propietats peculiars?

Energia fosca és el nom generic que es fa servir per referir-se a les solucions 2 i 3

De que parlarem avui?

- Nebuloses i galàxies
- L'Univers s'està expandint!
- Energia fosca
- **Cartografiats de galàxies**

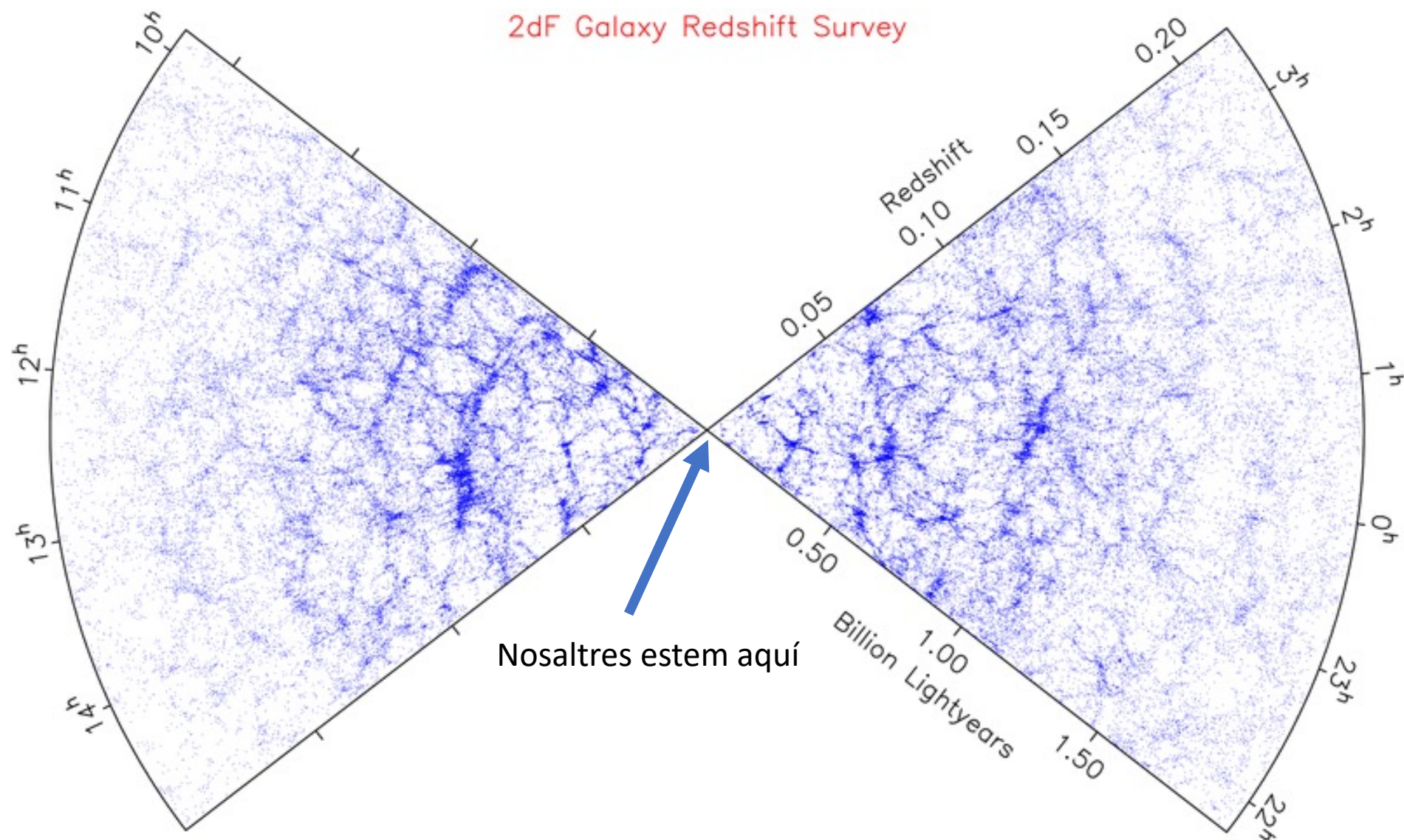
Cartografiats de galàxies

També podem estudiar l'expansió de l'Univers amb mapes 3D de galaxies

Els mapes de galaxies més llunyanes (quasars) ens permeten estudiar l'Univers com era fa 11 mil millions d'anys!

En els darrers 20 anys els cosmòlegs hem intentat fer mapes de galaxies cada vegada més grans, i més detallats

Cartografiats de galàxies

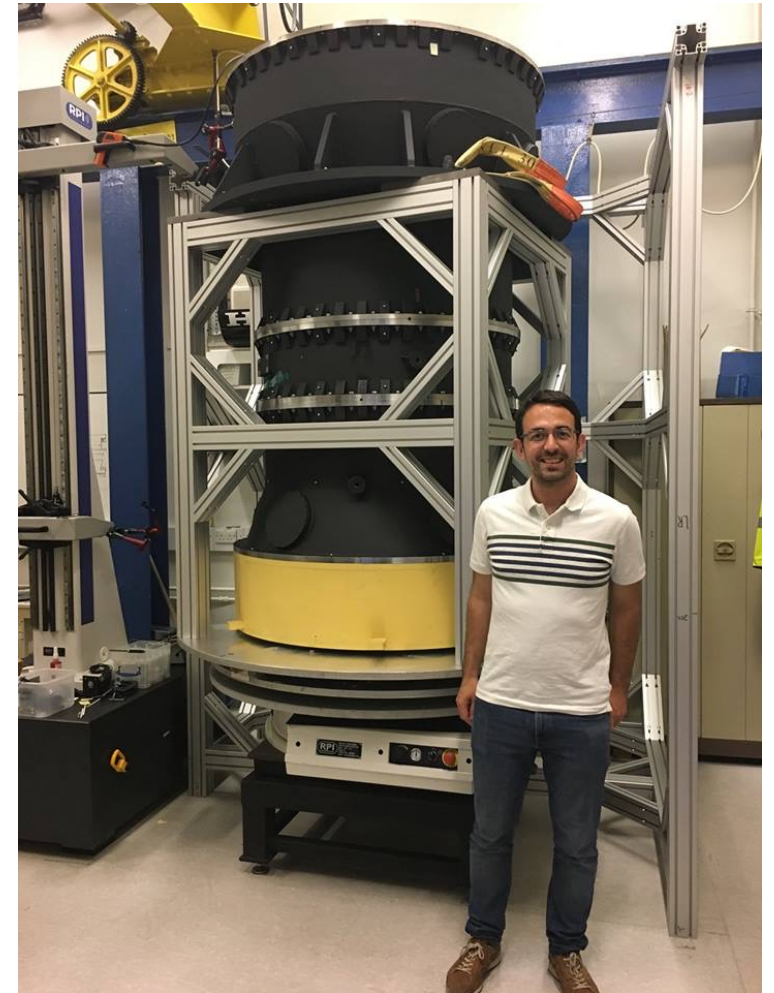


Cartografiats de galaxies: Dark Energy Spectroscopic Instrument (DESI)

L'instrument espectroscòpic de l'energia fosca (DESI) és una col·laboració internacional, basat als EUA, amb una important participació catalana (IFAE, ICE, ICCUB)

Va començar a mitjans de maig de 2021, i durant els propers 5 anys construirà un mapa 3D gegant de l'Univers, amb 35 milions de galàxies

Podrem reconstruir la història de l'expansió de l'Univers amb una precisió molt major, i amb una mica de sort entendre què en causa l'acceleració!



Lents correctores a UCL (2018)

Moltes gràcies!