

L'univers accelerat

Eduard Massó
Universitat Autònoma Barcelona

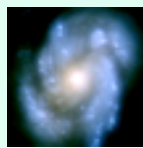


Com sabem que s'accelera ?
És el que esperàvem ?
Per què s'accelera ?



Galaxies - l'objet "elemental" de la cosmologia

Expansió univers



a



b



c

Expansió univers



c

c



a

a



b

b

Expansió univers,
“velocitat” proporcional a distància



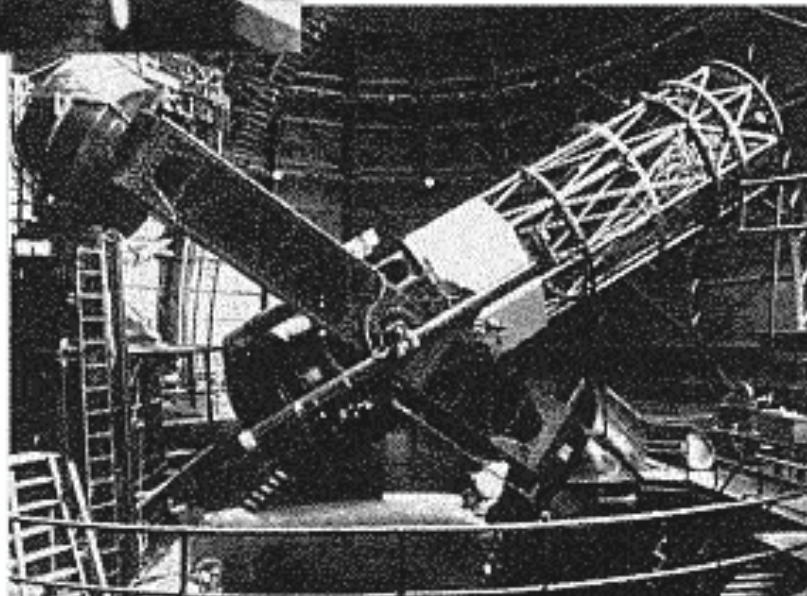
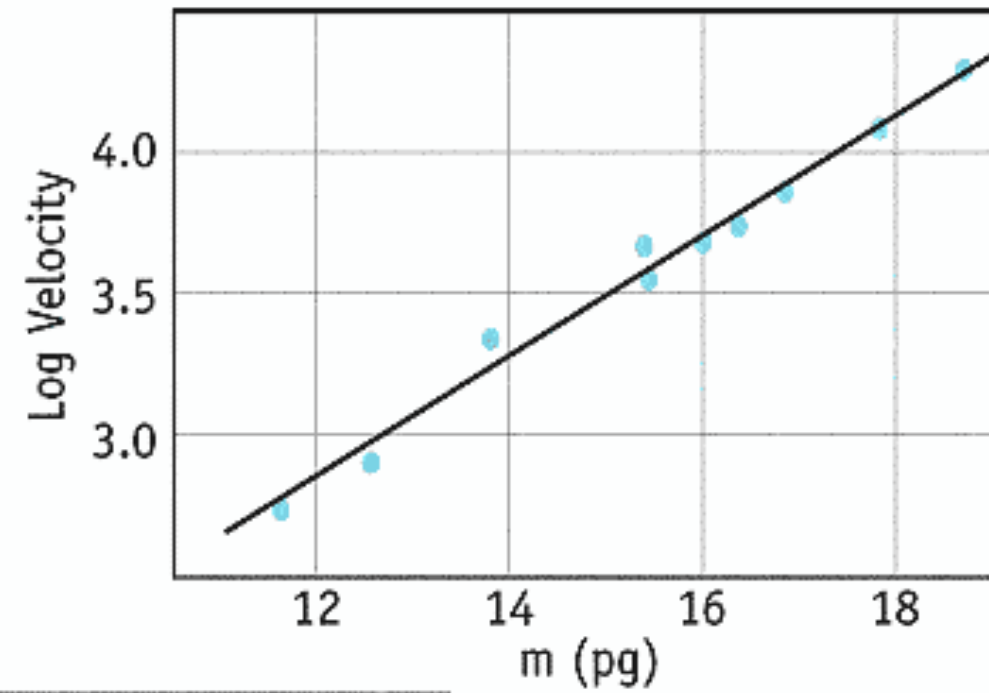
Expansió univers,
“velocitat” proporcional a distància



DISCOVERY OF EXPANDING UNIVERSE



Edwin Hubble

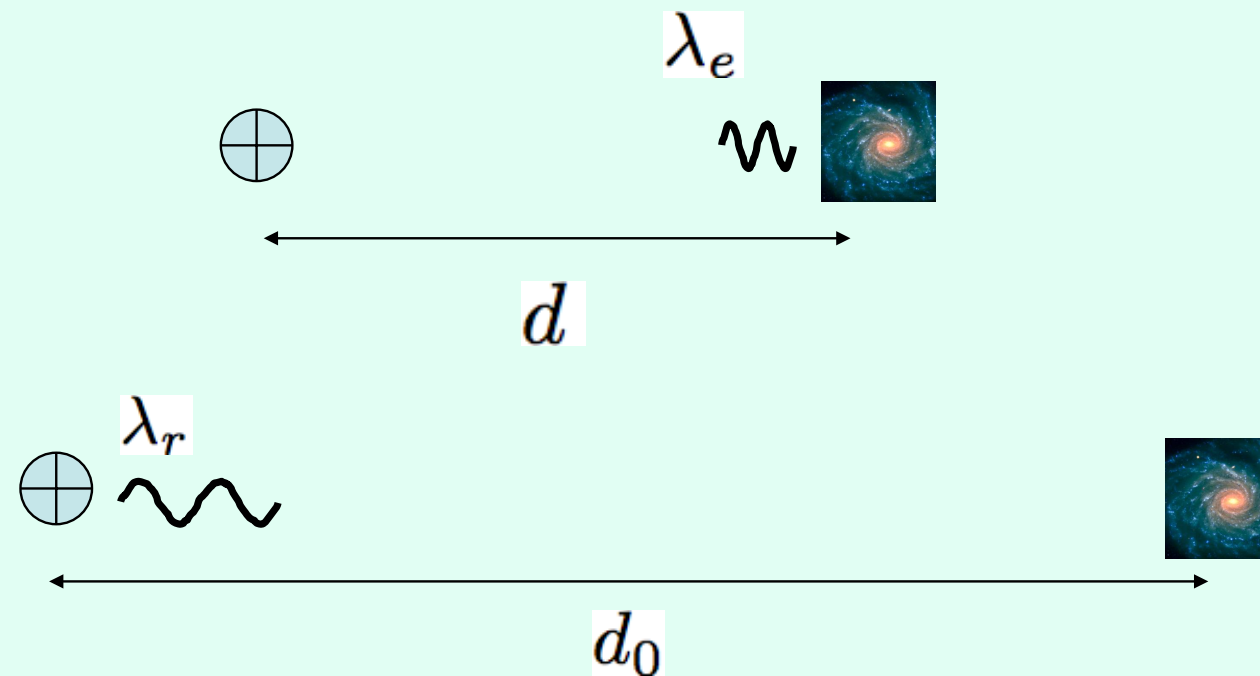


Mt. Wilson
100 Inch
Telescope

Llei de Hubble

“Velocitat d’allunyament” dels objectes visibles
proporcional a la distància

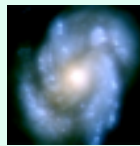
Pròpiament, al desplaçament al vermell (redshift)



$$\frac{\lambda_r}{\lambda_e} = \frac{d_0}{d} = 1 + z$$

redshift

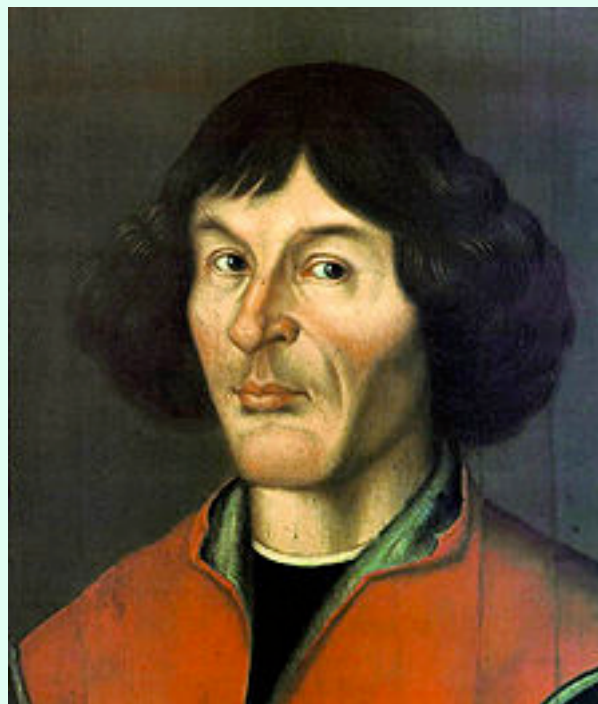
Expansió universal,
no hi ha posició privilegiada



Expansió universal,
no hi ha posició privilegiada



No hi ha posició
d'observació privilegiada:
Principi Copernicà



Copernicus (1473 –1543)

Model del Big Bang

Expansió: l'univers primitiu era calent i dens

Dos esdeveniments importants
en la història de l'univers:

- Nucleosíntesi primordial (elements lleugers relíquia)
- Desacoblament fotons (llum relíquia)

Model del Big Bang

Expansió: l'univers primitiu era calent i dens

Dos esdeveniments importants
en la història de l'univers:

- Nucleosíntesi primordial (elements lleugers relíquia)
- Desacoblament fotons (llum relíquia)

Les dues relíquies deixen traces
que han estat observades

Suport observacional del model

Pla de la xerrada

- Context: expansió univers,
model del Big Bang
- L'acceleració de l'univers
(Premi Nobel de Física 2011)
- Conseqüències

Pregunta:



Quina és
la història
de l'expansió ?

El ritme de l'expansió
és constant o canvia ?
Si canvia, creix o decreix?

La resposta a la pregunta ens donaria informació rellevant

Expectativa (prejudici):

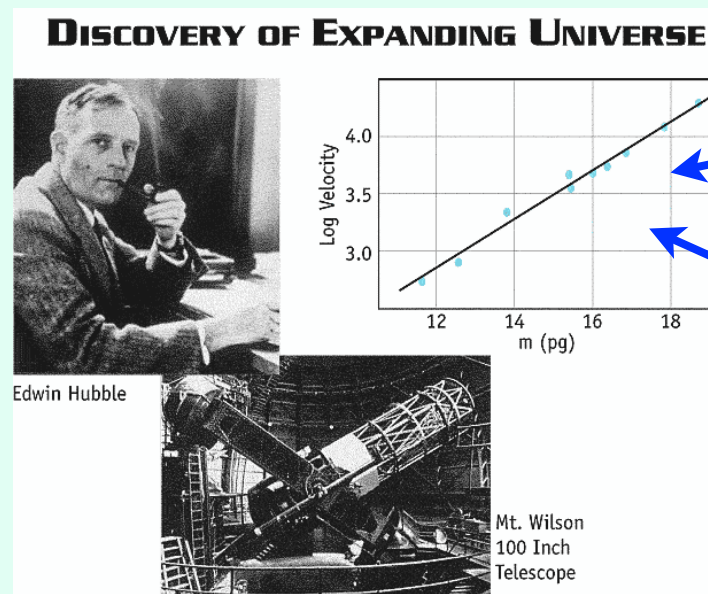
Velocitat expansió disminueix
(gravitació “frena” l’expansió de l’univers)

Expectativa (prejudici):

Velocitat disminueix
(gravitació del petit planeta)



Tenim una expectativa/prejudici,
però són les observacions les que ens diuen com es comporta l'univers



Volem determinar
desviació línia recta

Calen mesures més precises
amb “objectes” més allunyats

Mesurar la “velocitat d’allunyament/redshift”
no és molt difícil;

el **complicat** és saber quan lluny està un objecte astrofísic.

Exemple domèstic:

- Supposem que mesurem la llum provinent de dues espelmes, i volem saber la distància relativa a la que es troben.
- Imaginem que rebem igual llum de les dues.

Conclusió: estan igual de lluny

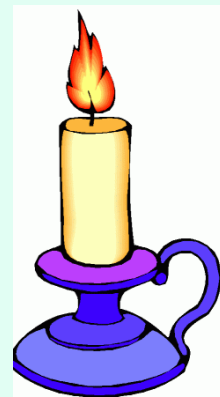
Exemple domèstic:

- Suposem que mesurem la llum provinent de dues espelmes, i volem saber la distància relativa a la que es troben.
- Imaginem que rebem igual llum de les dues.

~~Conclusió: estan igual de lluny~~



més a la vora



més lluny

Espelmes idèntiques



En astronomia:

Candeles estàndard = Igual lluminositat intrínseca

Per a candeles estàndard:

- si mesuro igual lluminositat, estan a la mateixa distància,
- si mesuro un quart de lluminositat, està al doble de distància, etc.

WANTED

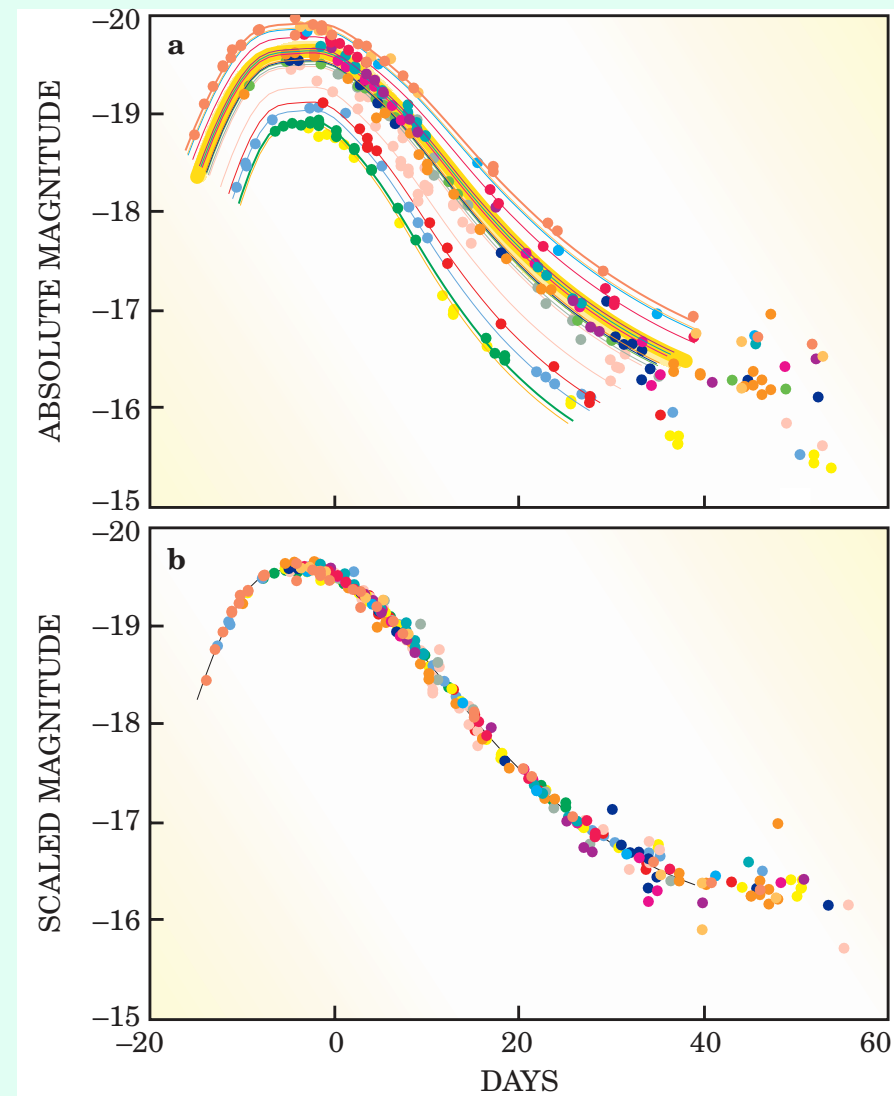
Standard Candles

REWARD

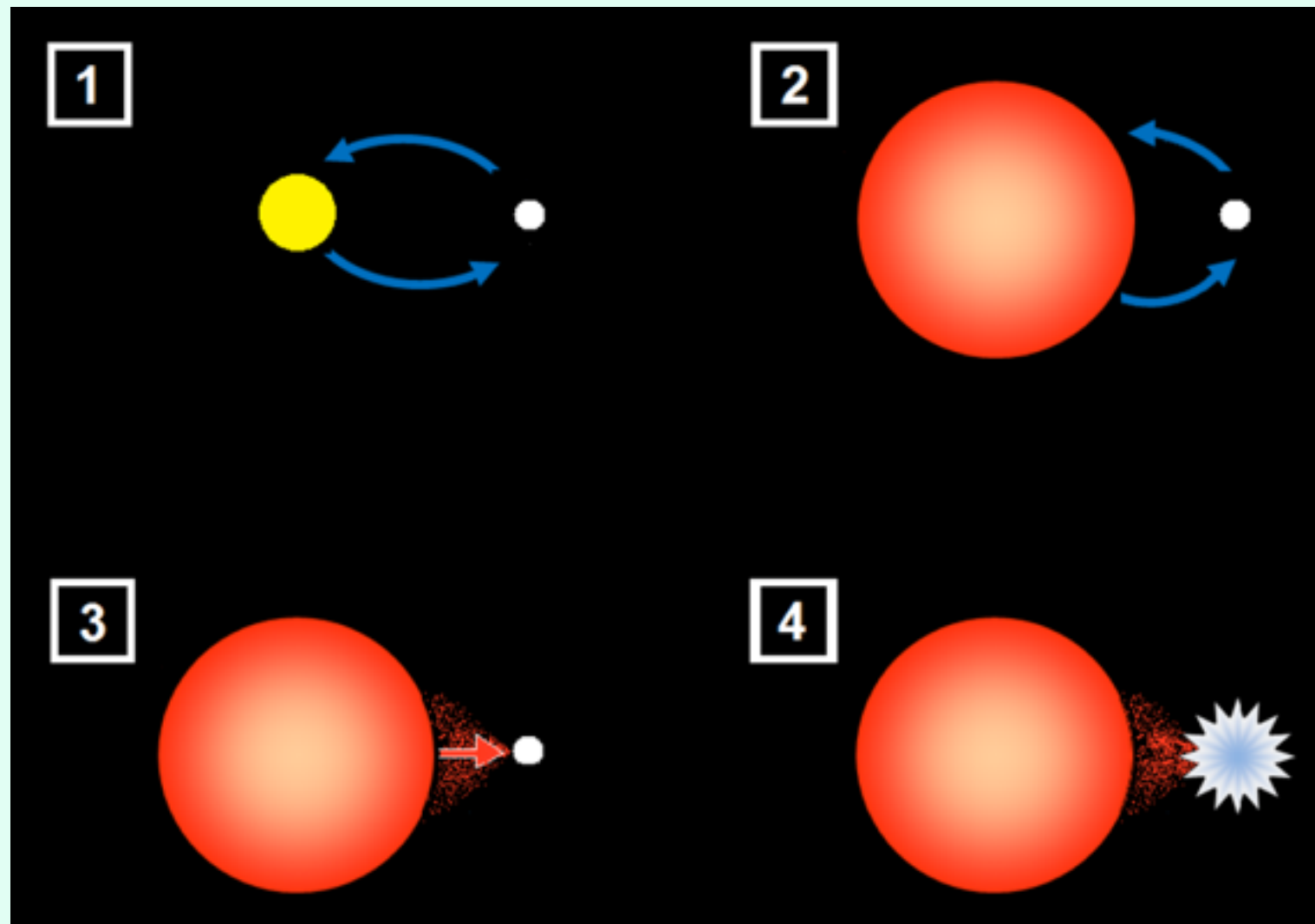
Nobel Prize

Supernova tipus Ia

(Absència H, presència Si ionitzat)



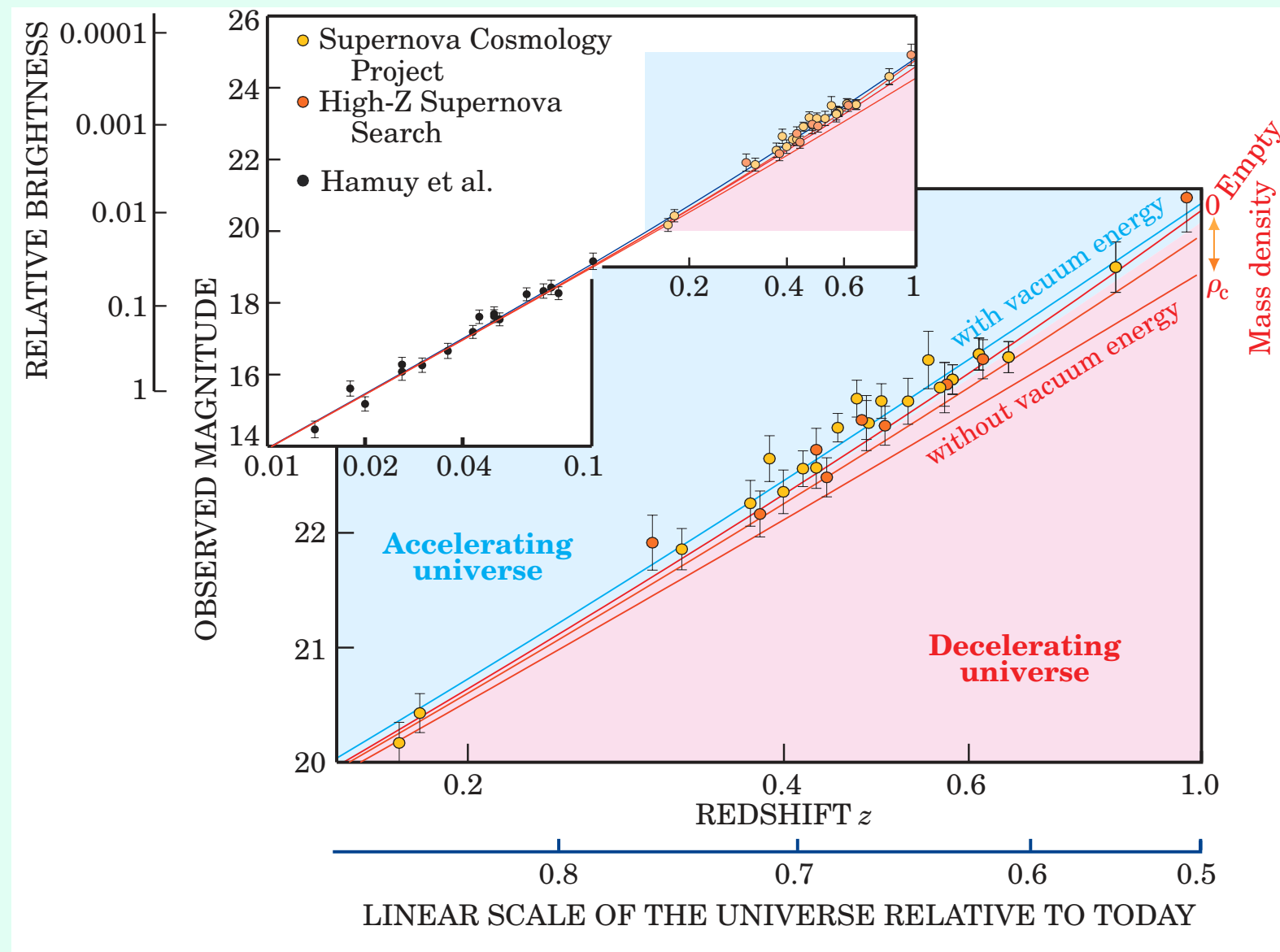
Nana blanca evoluciona cap a SN Ia



Límit de Chandrasekhar

Acceleració de l'univers

Supernova Cosmology Project High-z Supernova Search Team



Pla de la xerrada

- Context: expansió univers,
model del Big Bang
- L'acceleració de l'univers
(Premi Nobel Física 2011)
- Conseqüències

Característiques
expansió univers



Característiques
contingut univers

Característiques
expansió univers



Característiques
contingut univers

$$H^2 \equiv \left(\frac{\dot{a}}{a} \right)^2 = \frac{8\pi G}{3} \rho - \frac{k}{a^2 R_0^2}$$

$$\frac{\ddot{a}}{a} = -\frac{4\pi G}{3} (\rho + 3p)$$

Característiques
expansió univers



Característiques
contingut univers

Característiques
expansió univers

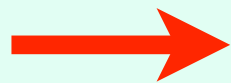


Característiques
contingut univers

Desacceleració

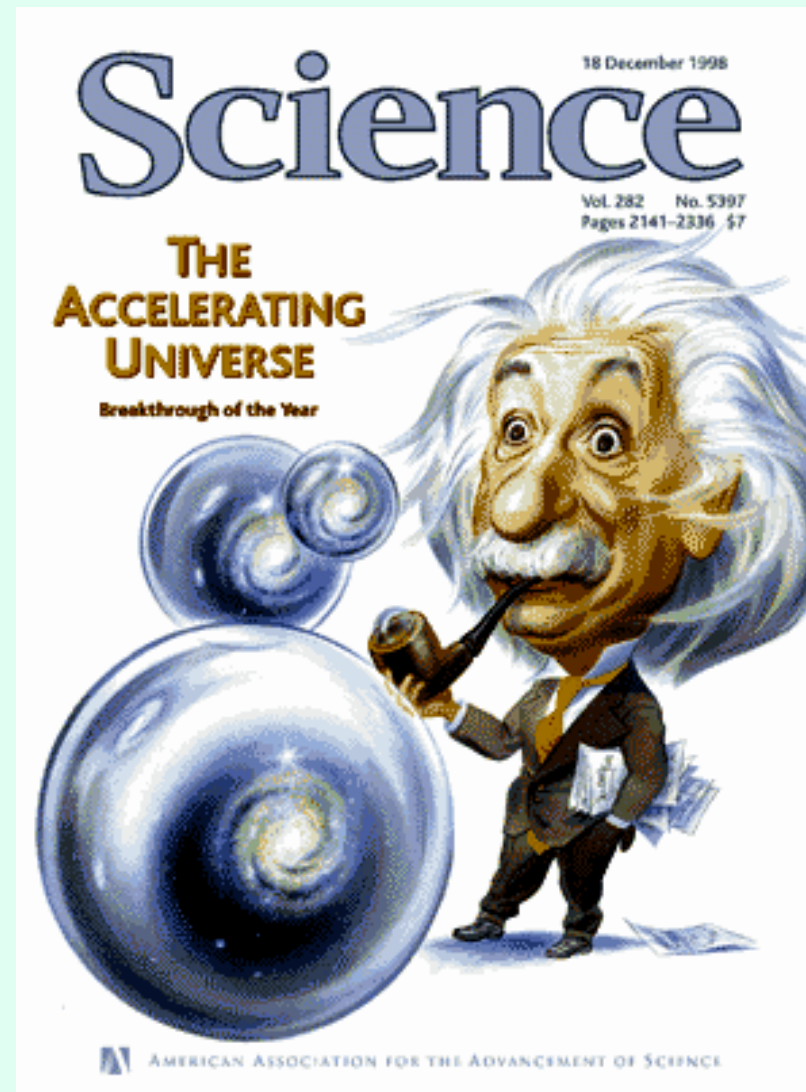


Acceleració





Constant cosmològica

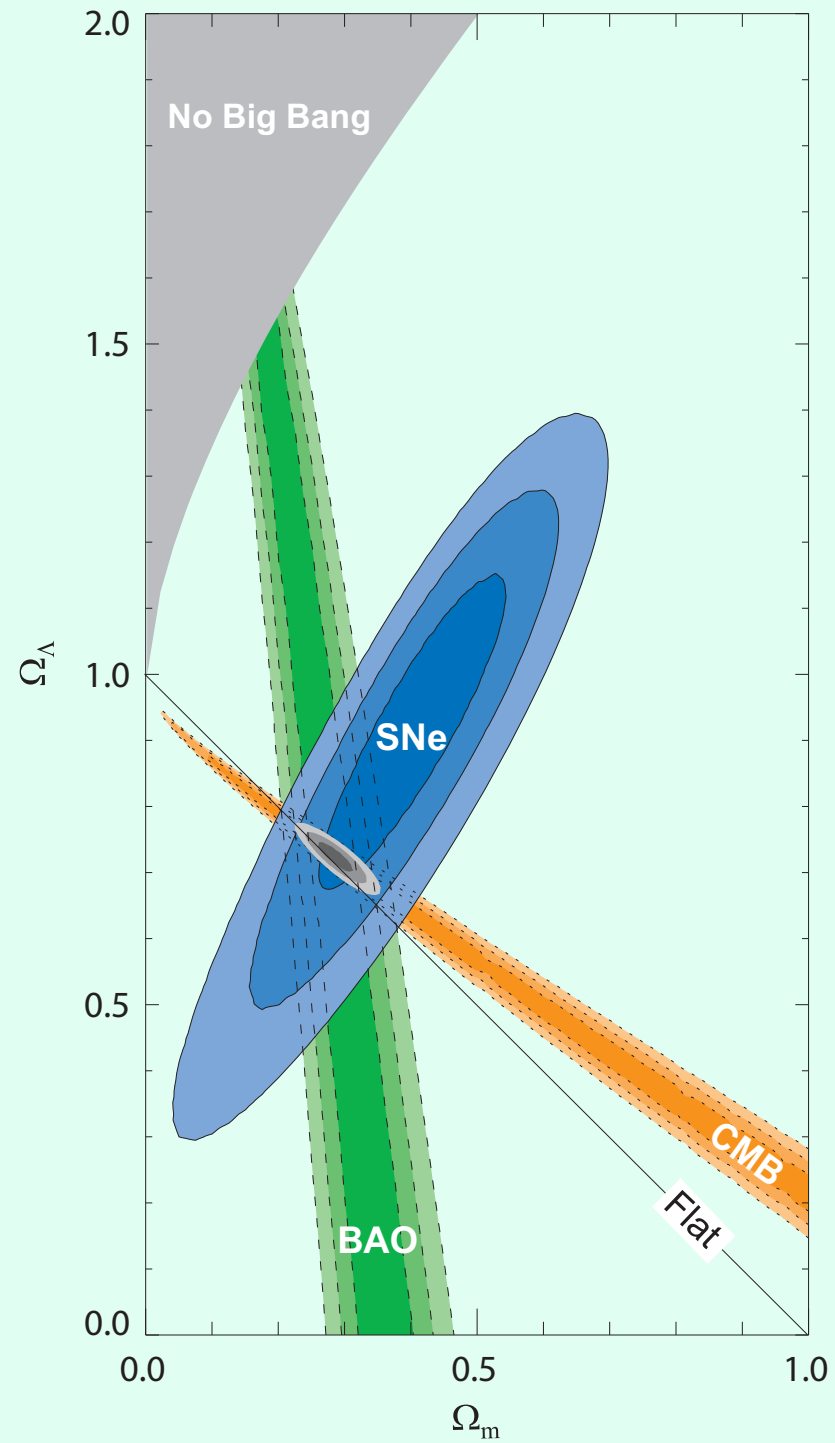


La cc té una història molt complicada ...

Univers: cc + matèria

$$\Omega_M = \frac{\rho_M}{\rho_c}$$

$$\Omega_\Lambda = \frac{\rho_\Lambda}{\rho_c}$$

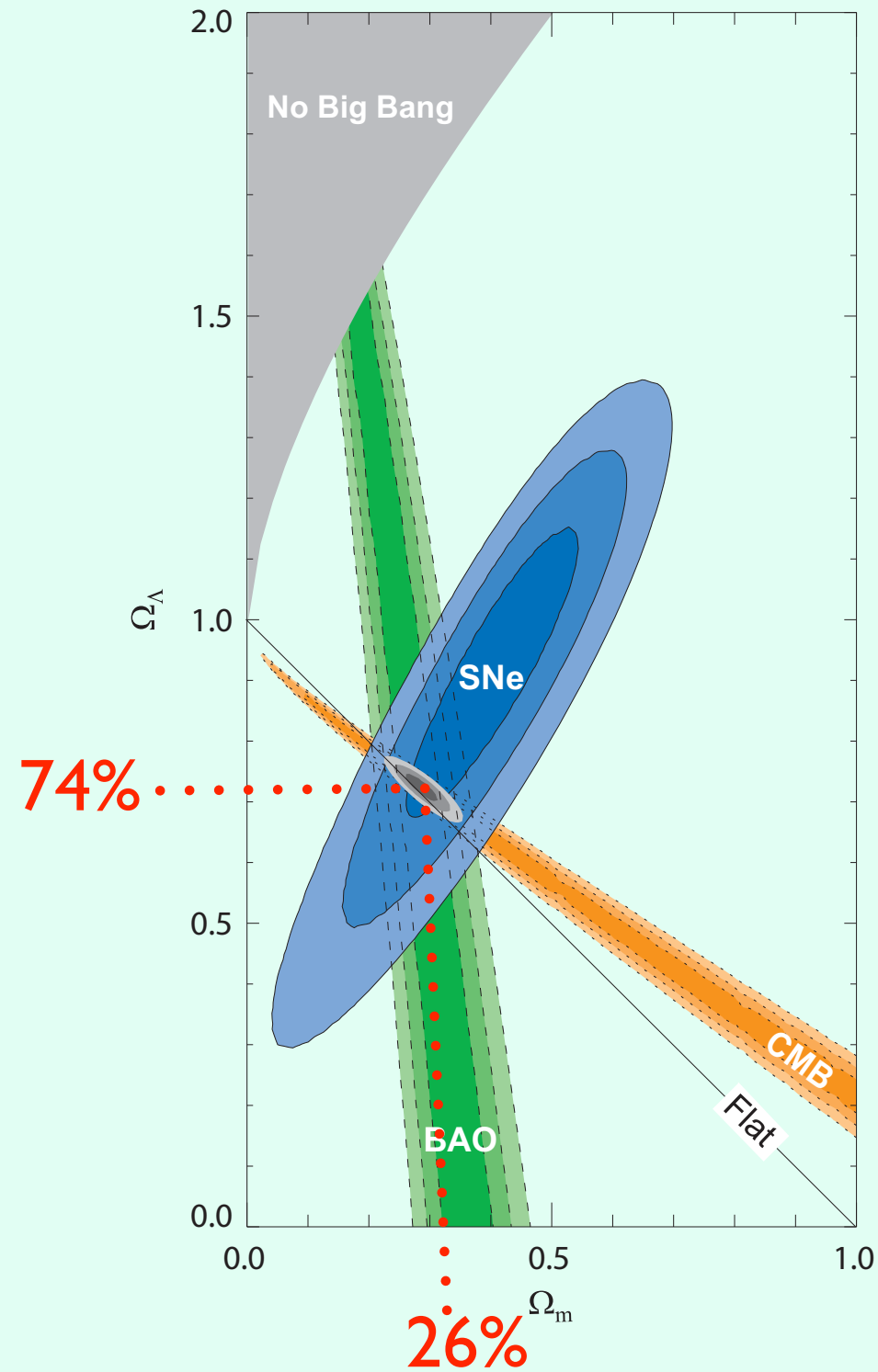


Model de
Concordància:

Univers: cc + matèria

$$\Omega_M = \frac{\rho_M}{\rho_c}$$

$$\Omega_\Lambda = \frac{\rho_\Lambda}{\rho_c}$$



Model de
Concordància:

Constant cosmològica: problemes

- Des del punt de vista de la mecànica quàntica, l'energia del buit actua com una cc

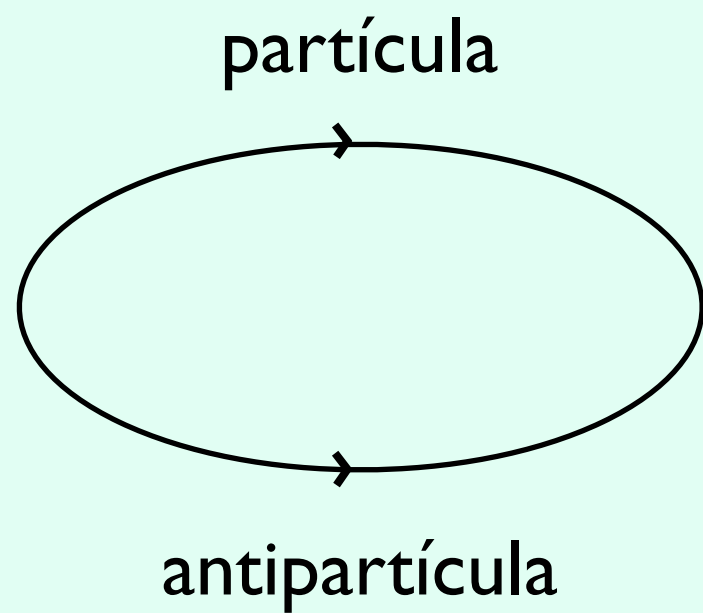
Però prediu valors immensament superiors al valor observat en el Model de Concordància

- Per què just ara la proporció de cc i de matèria és tant semblant ?



Constant cosmològica

Principi d'incertesa



Heisenberg

Principi d'incertesa TOTAL



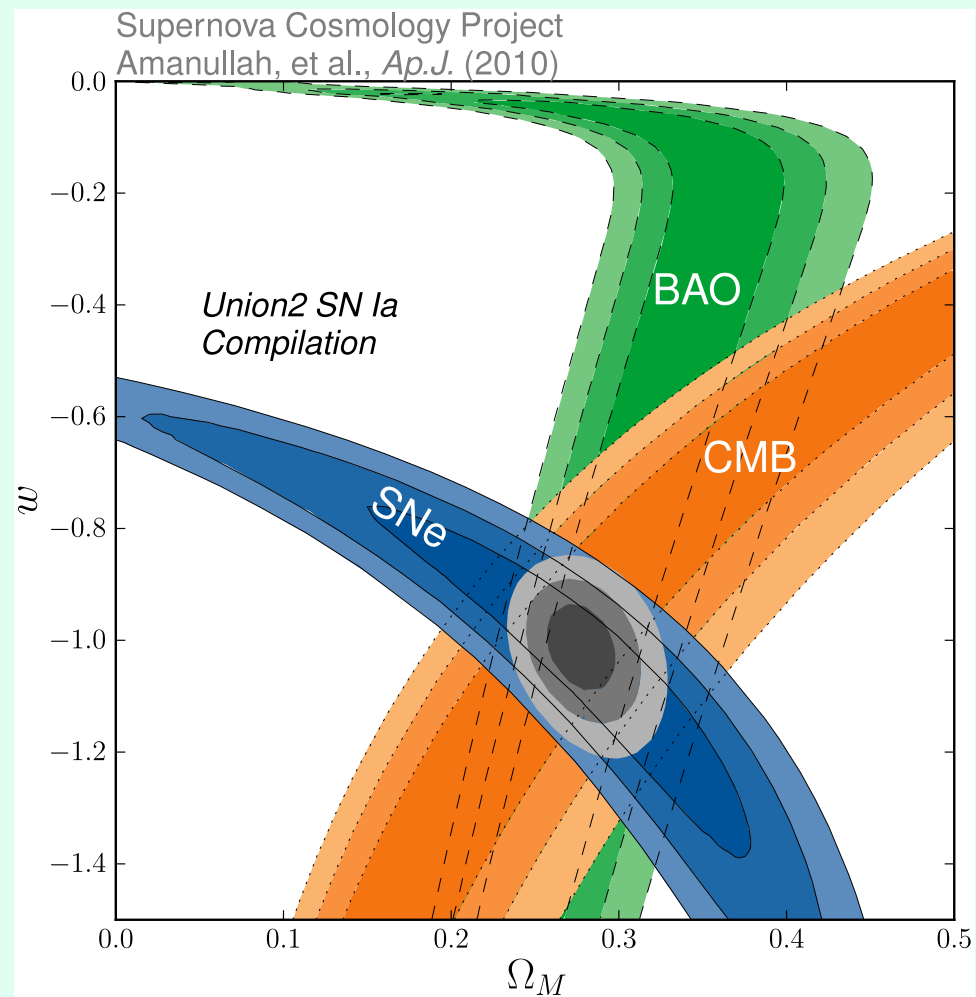
A la recerca de la teoria de l'univers

Alternatives a la cc ?

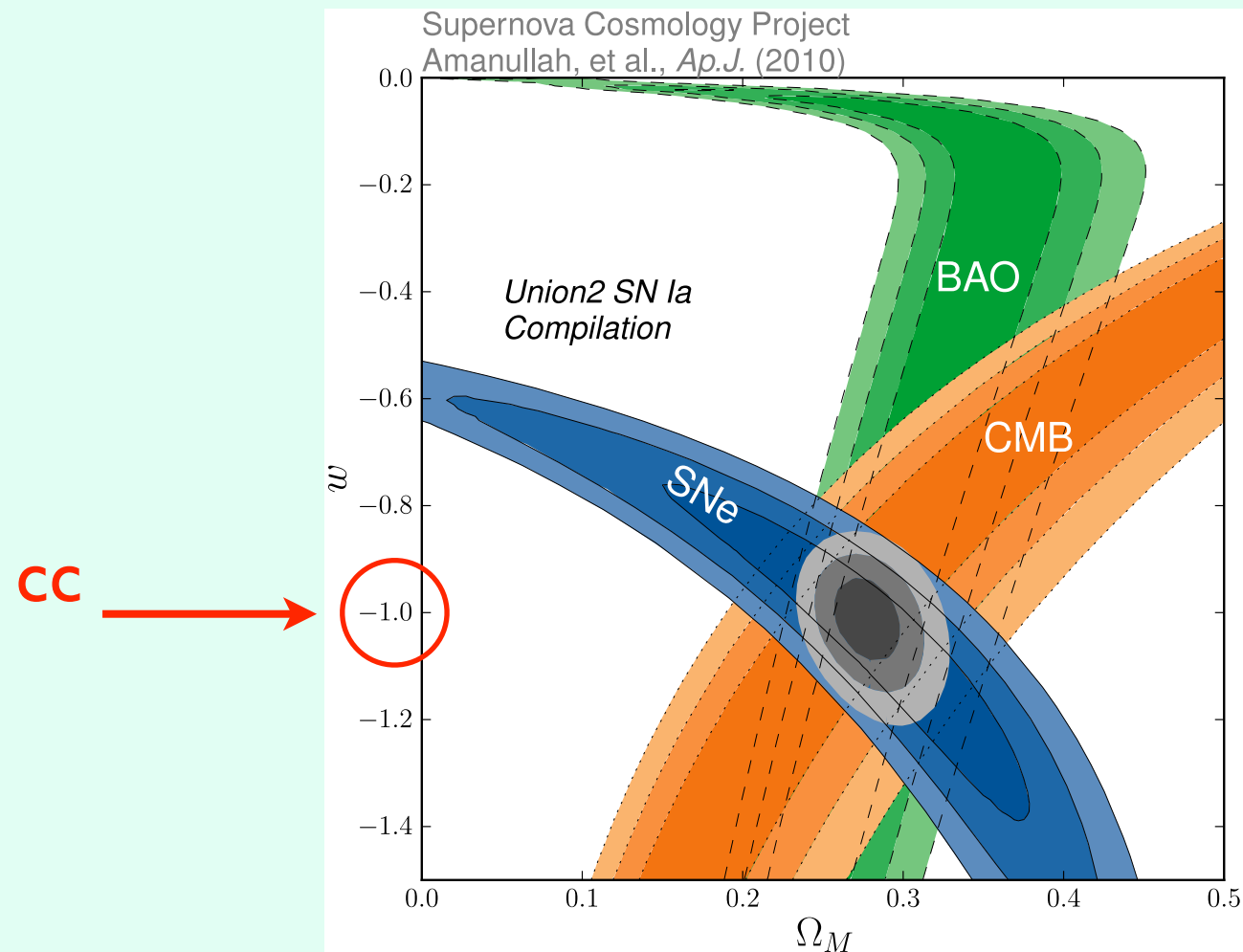
- Teories d'**energia fosca**, que donarien l'acceleració necessària.
En general, no constant en el temps
- **Gravetat modificada** (a grans distàncies)

No tenim per ara models alternatius satisfactoris

Necessitat de progrés experimental

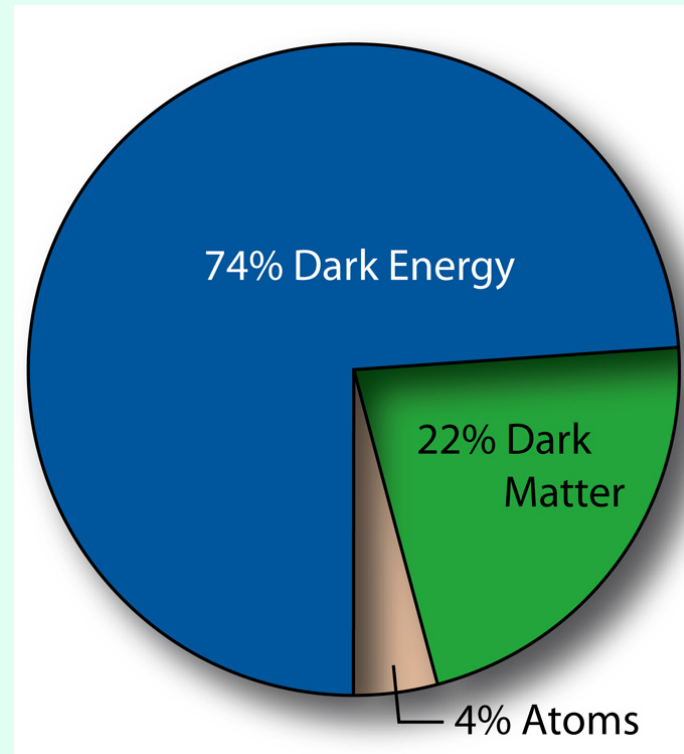


Necessitat de progrés experimental

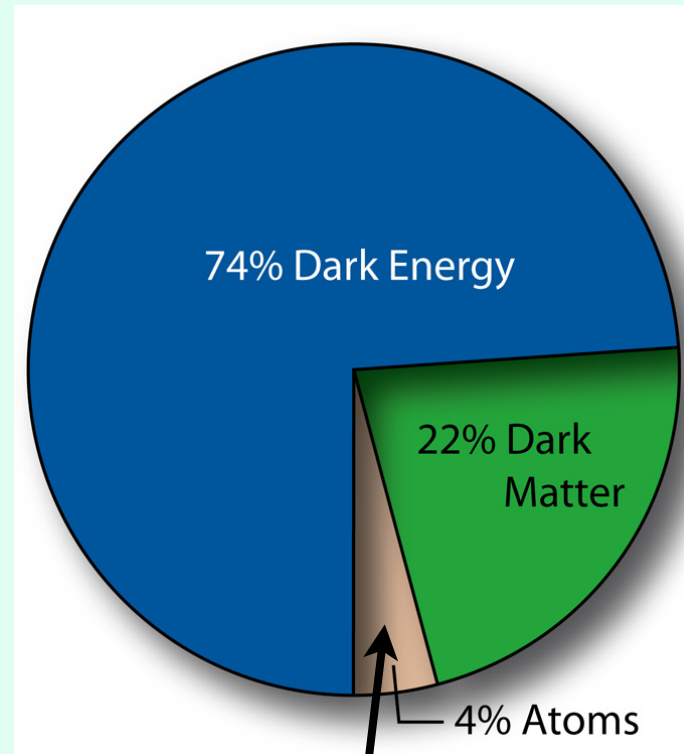


Energia fosca: en general, diferent de -1 i depenent temps

Els components de l'univers

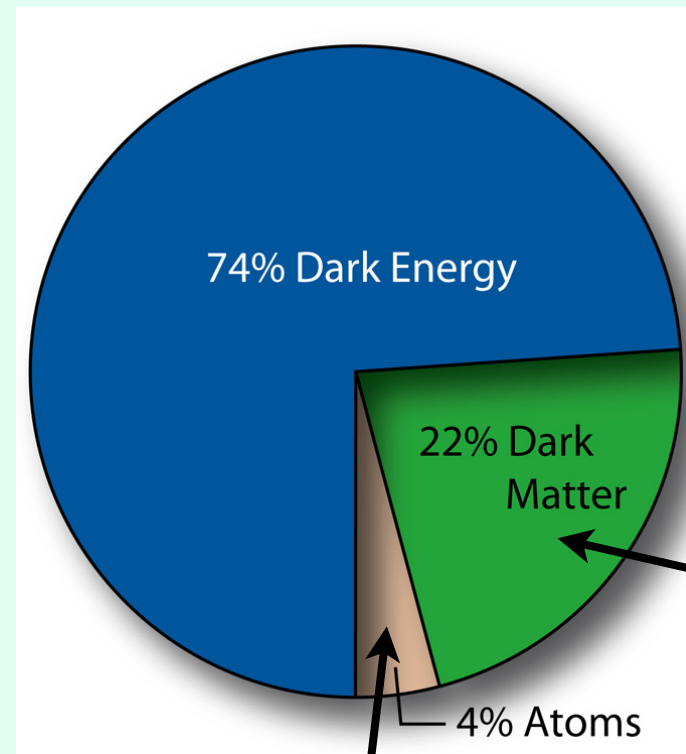


Els components de l'univers



Matèria "normal"

Els components de l'univers

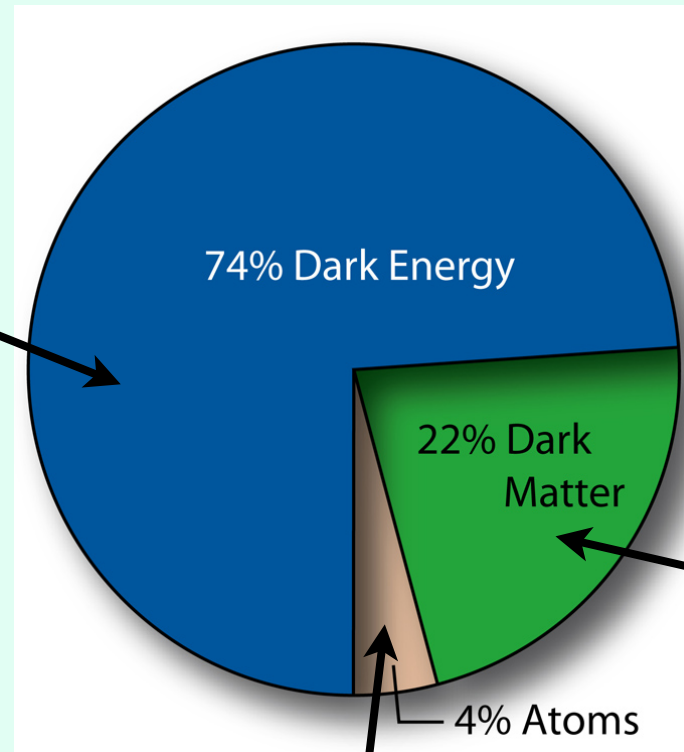


Matèria fosca

Matèria “normal”

Els components de l'univers

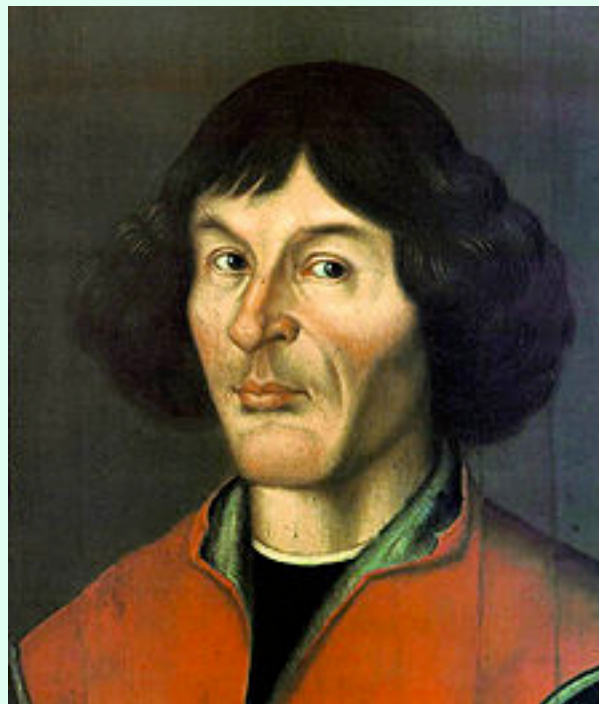
Energia fosca
(potser constant
cosmològica)



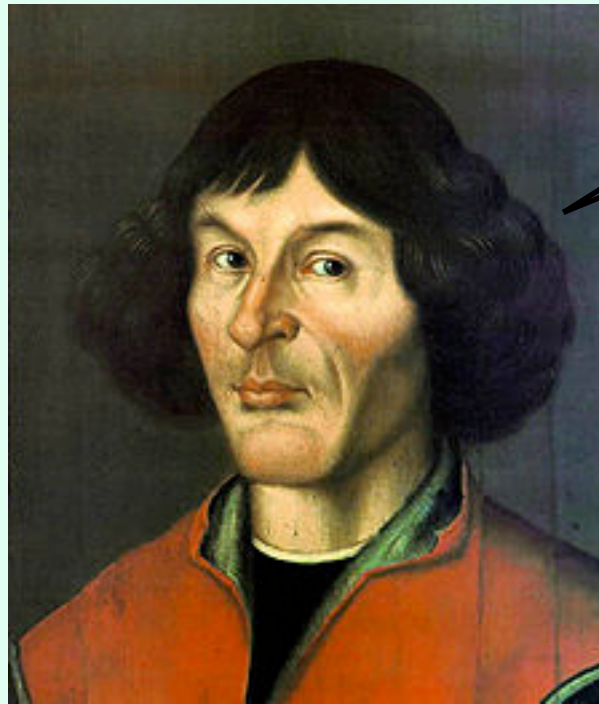
Matèria fosca

Matèria "normal"

Nova Revolució Copernicana



Nova Revolució Copernicana



Ja jo havia avisat !

Nobel ?



Si, gràcies

Els guanyadors del Nobel 2011



Photo: Ariel Zambelich, Copyright © Nobel Media AB

Saul Perlmutter



Photo: Belinda Pratten, Australian National University

Brian P. Schmidt



Photo: Homewood Photography

Adam G. Riess

The Nobel Prize in Physics 2011 was divided, one half awarded to Saul Perlmutter, the other half jointly to Brian P. Schmidt and Adam G. Riess *"for the discovery of the accelerating expansion of the Universe through observations of distant supernovae"*.

- Troballa molt important
- El seu treball ha generat molta activitat experimental i teòrica



*Gràcies per la
vostre atenció*