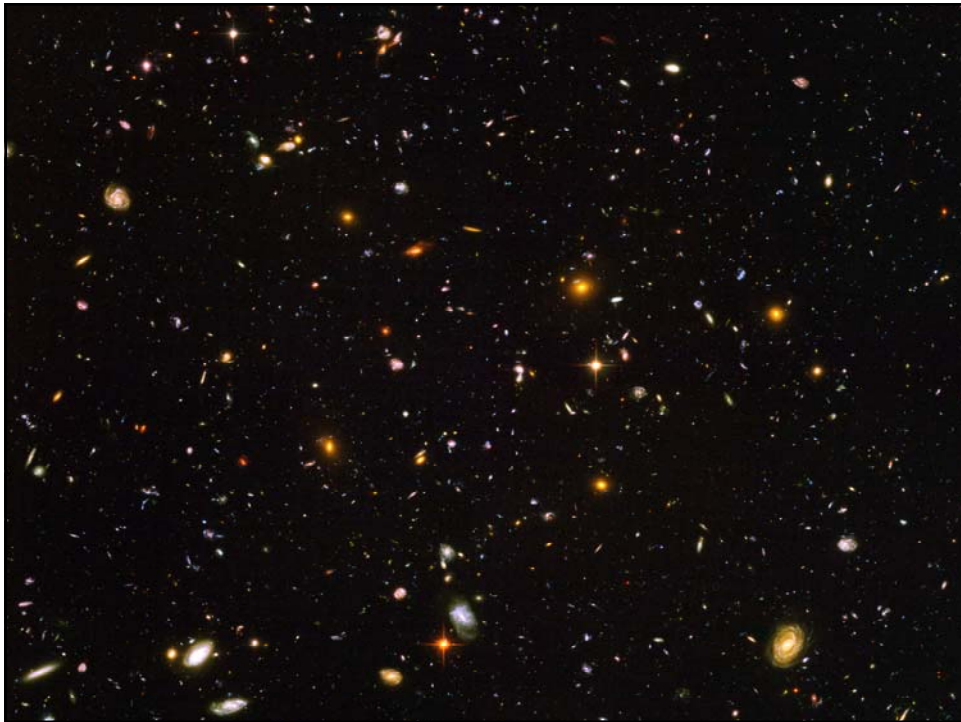


Pirotècnia còsmica:
del Big Bang a les supernoves

Jordi José

Dept. Física i Enginyeria Nuclear, Univ. Politècnica de Catalunya (UPC)
Institut d'Estudis Espacials de Catalunya (IEEC)



Firmament: conjunt d'esferes concèntriques [esfera de les estrelles fixes, esferes dels 5 planetes coneguts, la Lluna i el Sol] → La Terra és el centre de l'Univers!

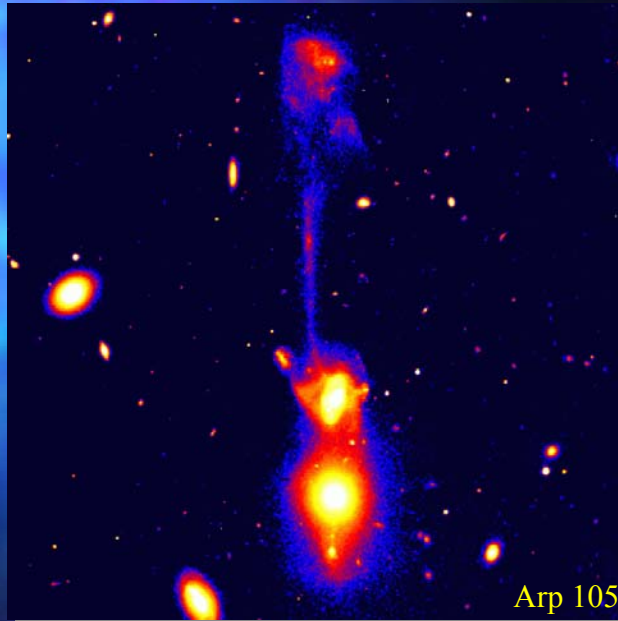


El Centre de l'Univers...



C. Luis Antúnez 13, Barcelona

La música de les esferes...

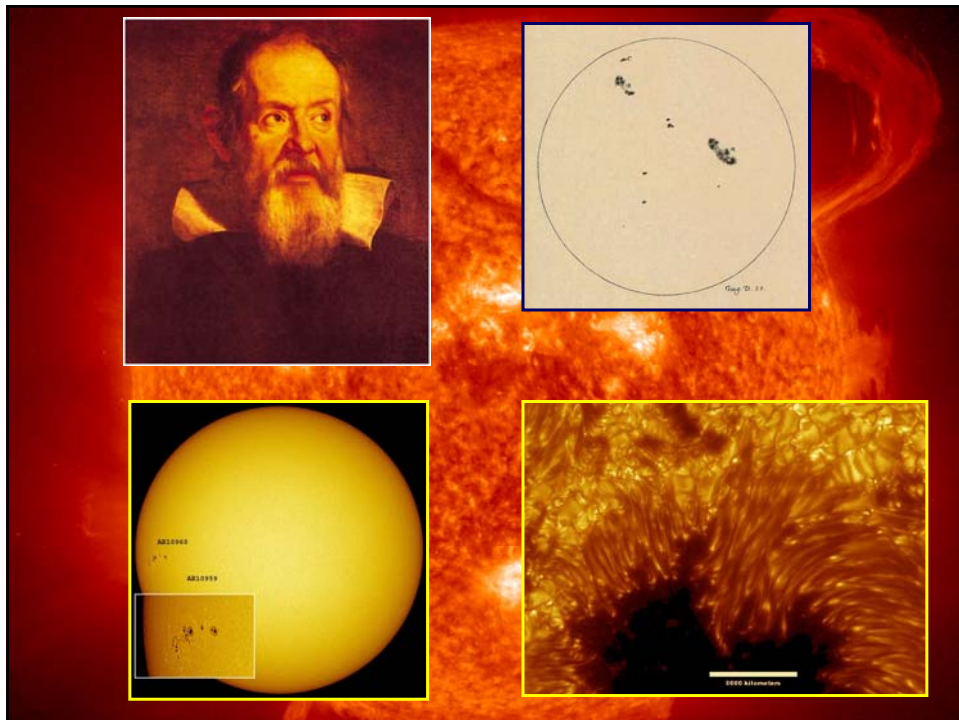


La **concepció actual de l'univers** és fruit de dues activitats complementàries:

- * desenvolupament d'instruments i tècniques experimentals i observacionals
- * formulació i comprovació d'hipòtesis



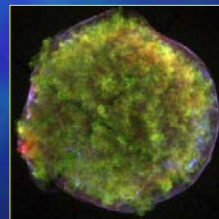
La perfecció celest: immutabilitat dels cels?



Guest Stars in the Cosmic Movie Screen!

"El vespre de l'onze de novembre, després de la posta de sol... vaig adonar-me d'una **nova i inusual estrella**, que excedia en brillantor a la resta d'estels... i com que des de la infantesa, coneixia totes les estrelles del firmament a la perfecció, em va resultar evident que **mai hi havia hagut cap estrella en aquella posició del cel [...]** Estava perplexa per aquesta visió [...] un miracle de fet, que mai abans s'havia vist, des de l'inici del món."

SN 1572 (Tycho)



Una nova estrella
("nova stella")
11 Nov. 1572
Tycho Brahe



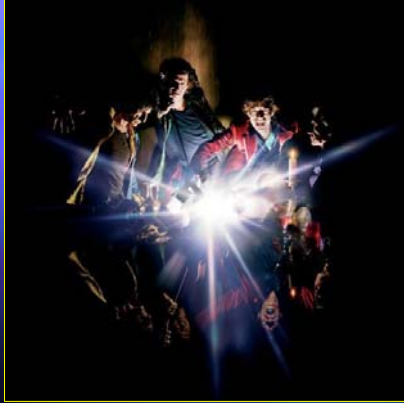
Annie Hall (1977), dir.: Woody Allen

The Biggest Bang...

Com va nèixer l'Univers?



Teoria del Big Bang

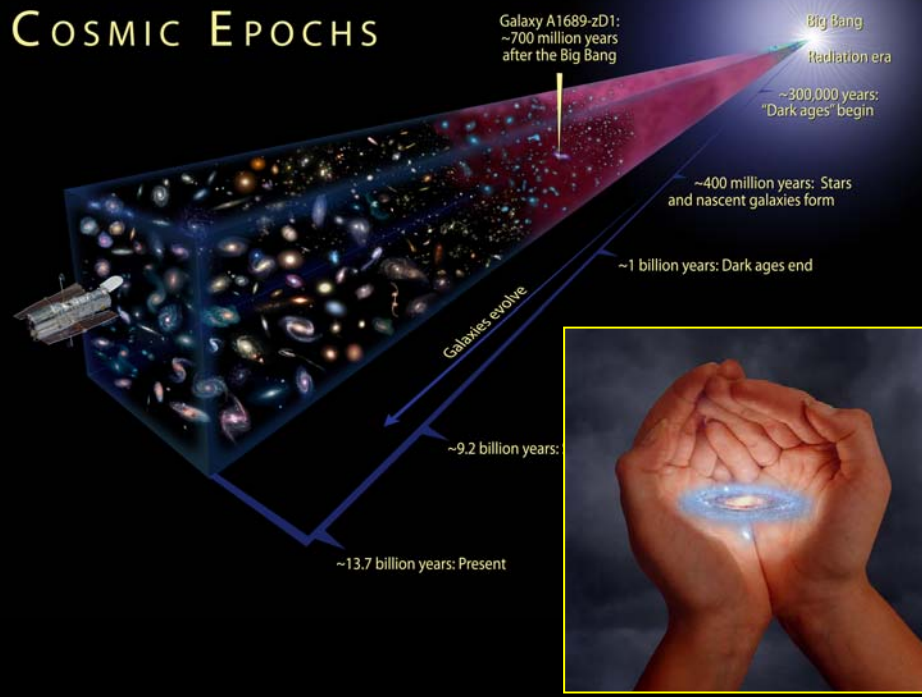


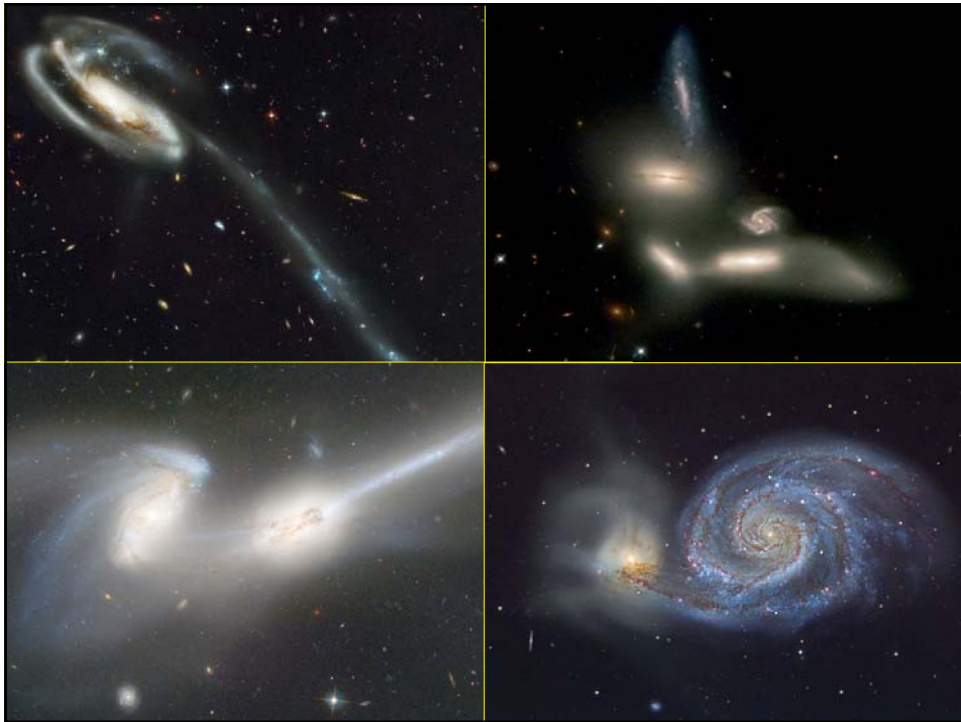
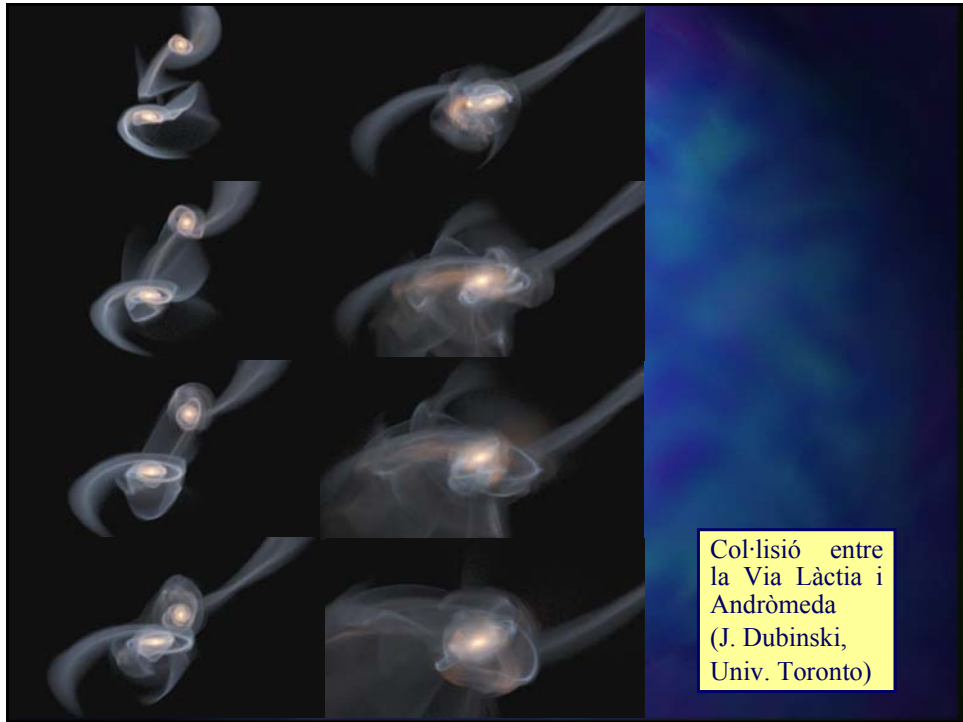
"A Bigger Bang"
(The Rolling Stones, 2003)

Evidències observacionals del Big Bang:

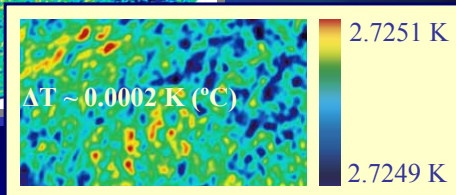
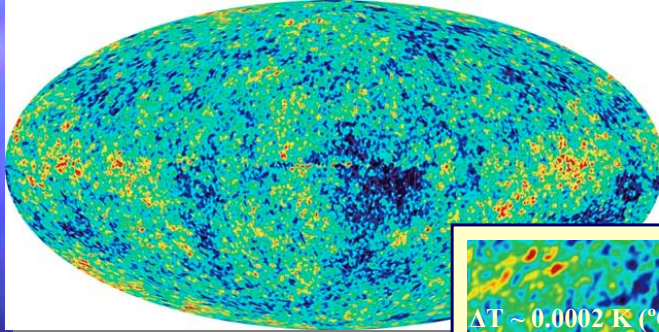
- * **Expansió** de l'Univers
(E. Hubble, 1929)
- * **Abundàncies químiques** de l'Univers (H, He)
-Nucleosíntesi primordial-
- * **Fons de radiació còsmica** de microones (2,7 K)
(A. Penzias & R. Wilson, 1965)

COSMIC EPOCHS





Resultats de la sonda **WMAP** (NASA, 2003)
Wilkinson Microwave Anisotropy Probe



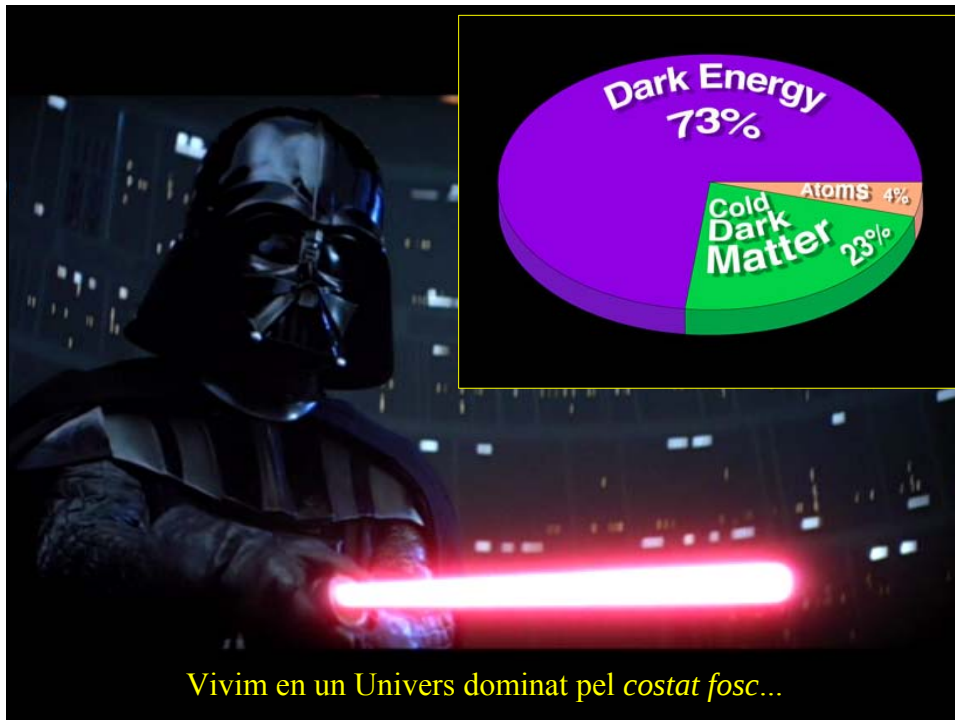
Edat de l'Univers:

13 700 milions d'anys

Tipus d'Univers: inflacionari pla → expansió indefinida

Contingut de l'Univers: 4.4% barions, 22% matèria fosca,
73% energia fosca

Formació primeres estrelles: 180 milions d'anys

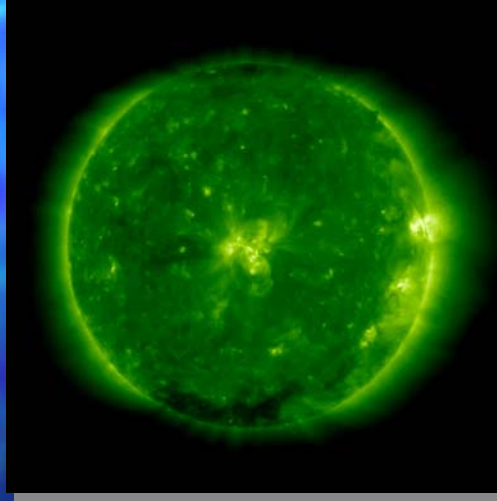


“Des de setembre, està fent més i més fred. També he notat que hi ha menys hores de llum diurna. Això només pot significar una cosa: el Sol s’apaga. En pocs mesos, la Terra serà una bola de gel fosca i sense vida. El pare diu que el Sol no s’apaga. Diu que fa més fred perque l’òrbita terrestre ens està allunyant del Sol. Diu que l’hivern arribarà aviat. ¿No és trist veure com algunes persones s’aferren a les seves vides de forma tan precària que prefereixen abraçar qualsevol idea ridícula abans que afrontar la crua realitat?”



Calvin & Hobbes

El Sol: un astre solter...



Font d'energia: reaccions termonuclears (H) $\rightarrow$ $M_{\min} = 0,08 M_{\odot}$

Distinció planetes $\longleftrightarrow$ estrelles

El Sol en numerets...

Radi: $696\,000\text{ km} = 109 R_{\text{Terra}}$
 Massa: $1,99 \times 10^{30}\text{ kg} = 333\,000 M_{\text{Terra}}$

$M_{\text{Júpiter}} = 0,001 M_{\text{Sol}} \sim M_{\min, \text{estrella}} / 80$



A solar-like star...

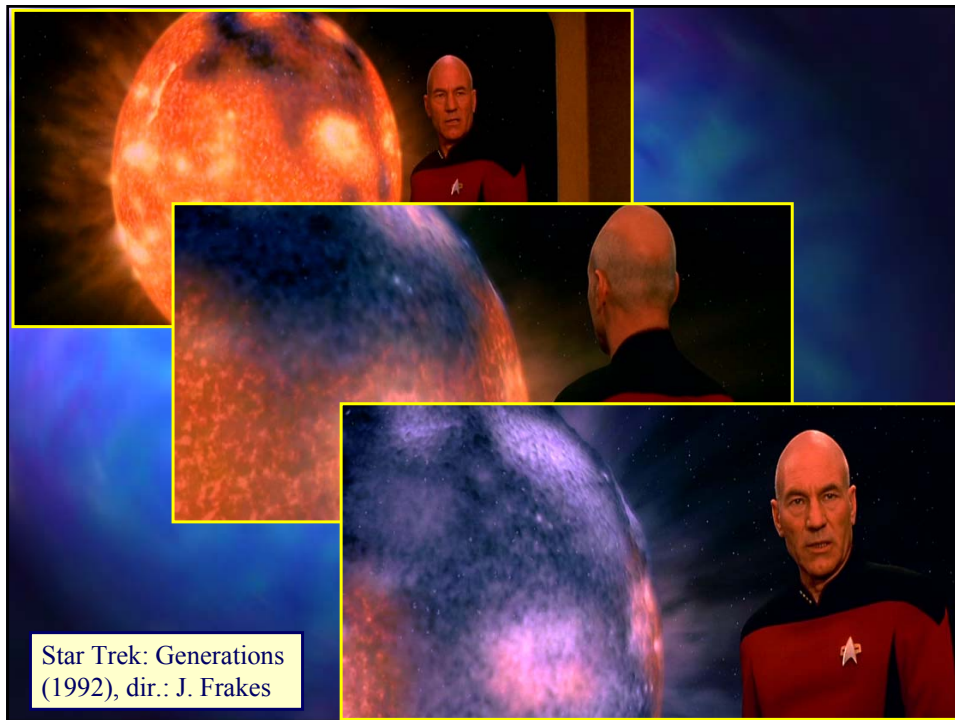
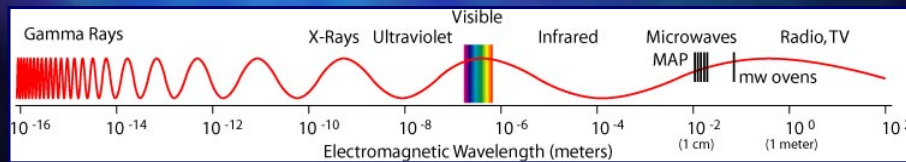
En el Sol [i altres estrelles de *Seqüència principal*]:
fusió termonuclear $\text{H} \rightarrow \text{He}$

Sol: 600 milions de tones d'H per segon!



Emissió de fotons γ : brillantor de les estrelles

En el seu periple cap a la fotosfera ($\tau \sim 10^6$ a), els fotons γ perden energia i es transformen en fotons de λ visible



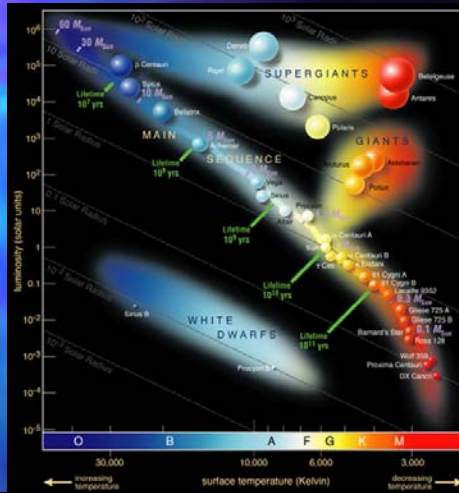
El diagrama HR:

“Científics dels Estats Units troben rastres que indiquen que a Mart hi va poder haver vida, a través de l’anàlisi d’un meteorit que va caure a la Terra fa 13.000 milions d’anys”

Diari *El Punt*, 8-ago-1996

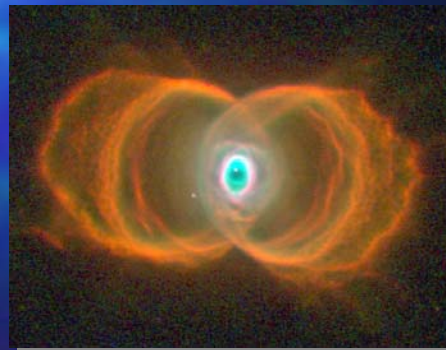
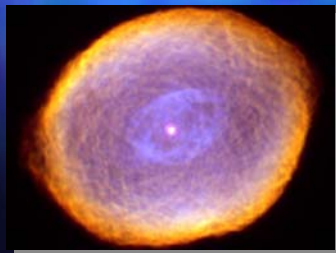
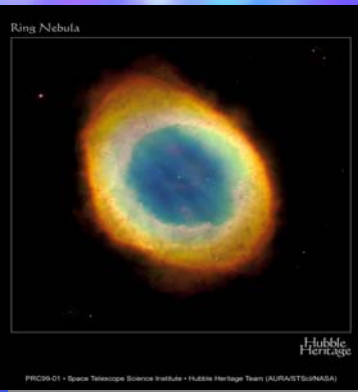
Edat del Sol

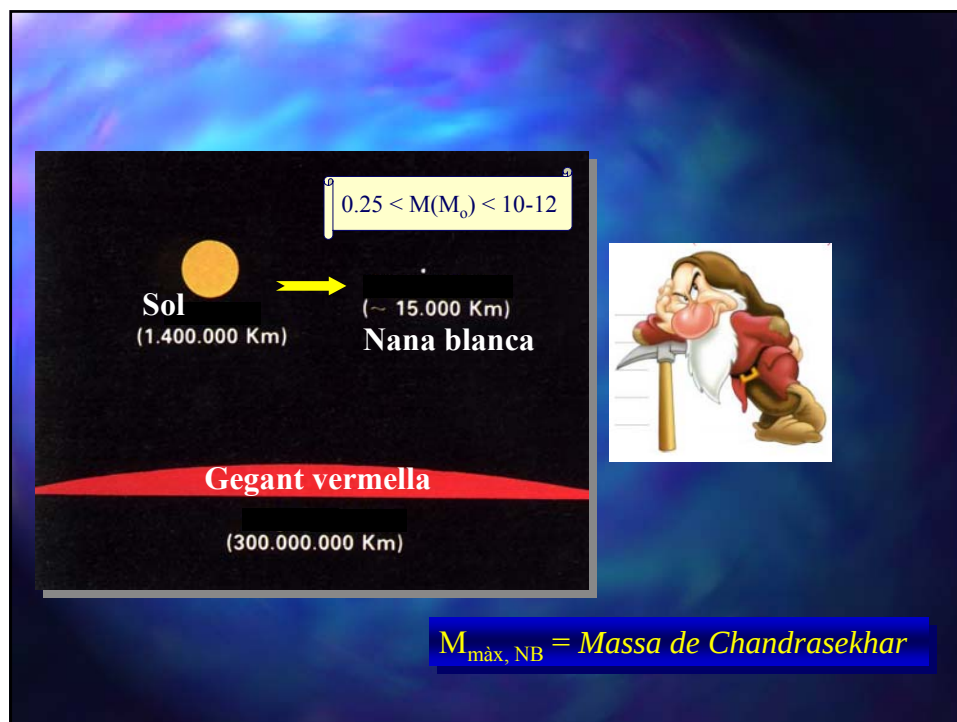
~ 4.600 milions d’anys

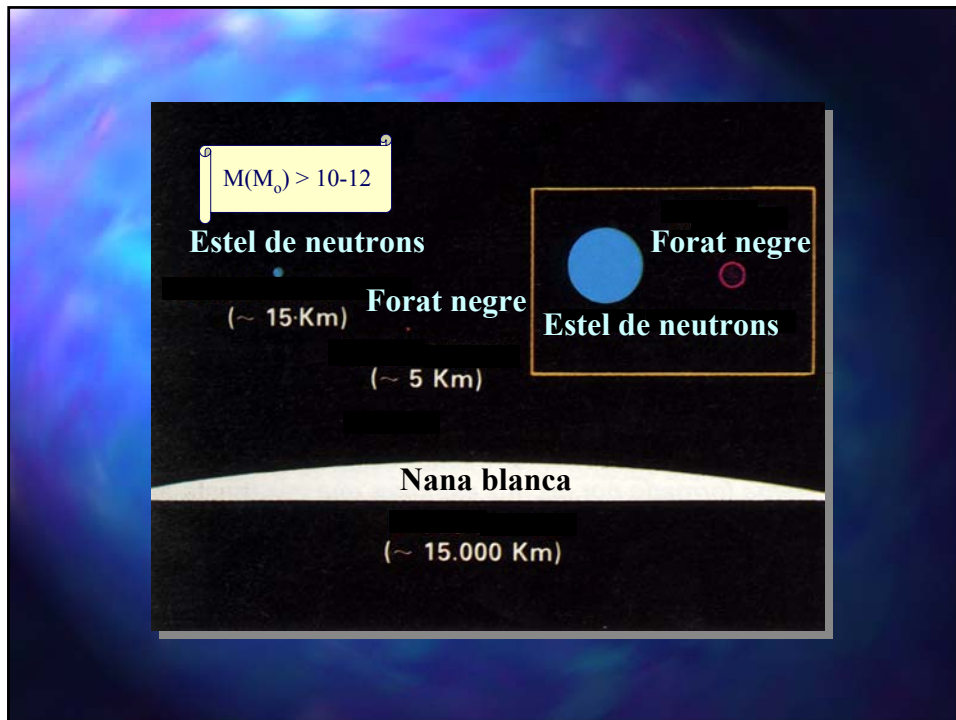


Life Cycle

of the Sun







Forats negres

Un matí de l'any 1666... Un accident natural sota un sol encisador

D'alguna cosa va servir el 'nyanyo' aquest...

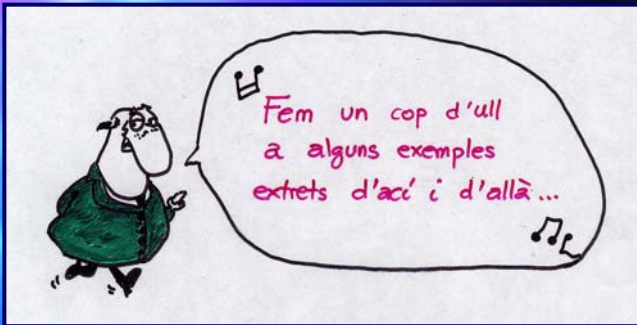
Mr. Isaac

→ Llei de la Gravitació Universal (I. Newton, 1687)

Velocitat mínima per a escapar del camp gravitatori d'un cos massiu (estel, planeta, lluna...):

$$V_{esc} = \sqrt{2GM/R} = \sqrt{2g_s R}$$

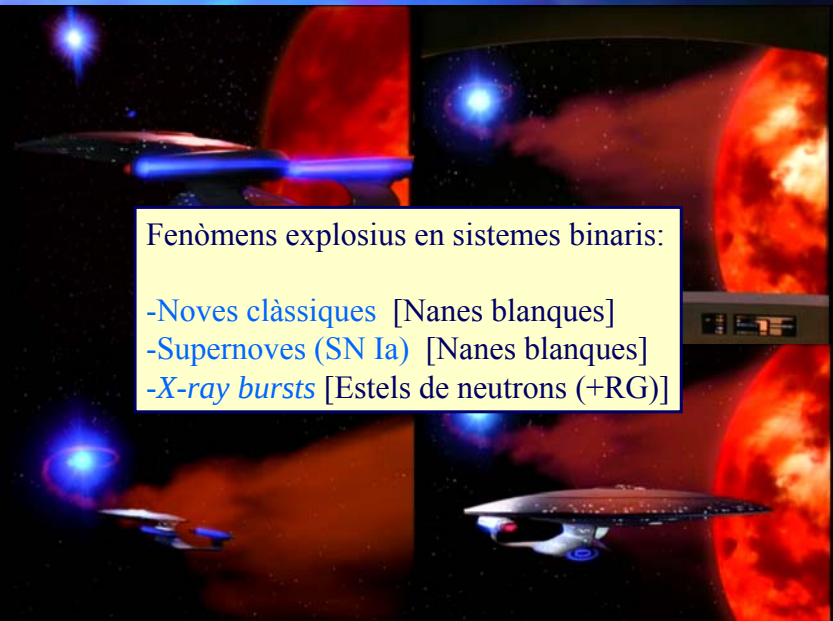
$\vec{V}_0$



Fem un cop d'ull
a alguns exemples
extrets d'ací i d'allà...

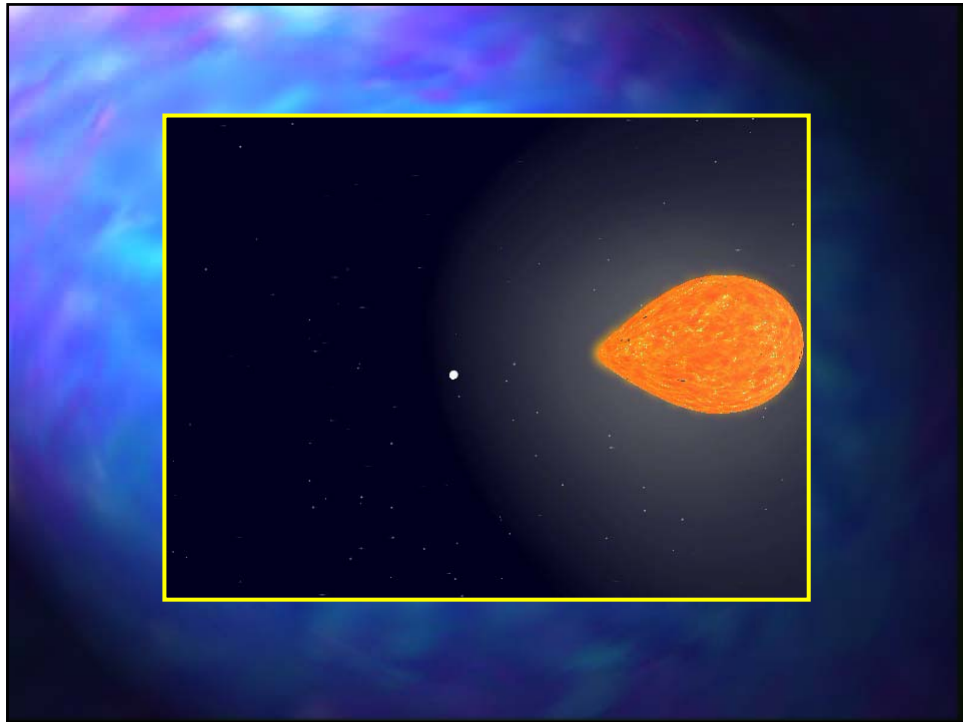
Cos	Massa (M_T)	Radi (R_T)	V_{esc} (km/s)
Terra	1	1	11.2
Lluna	0.01	0.27	2.4
Mart	0.11	0.53	5
Júpiter	318.1	11.24	60
Sol	330 000	109	617
Estel de neutrons	500 000	0.002 (15 km)	200 000
Forat negre	M	$R_{Sch} = 2 G M / c^2$	$>c$

Sistemes estel·lars binaris

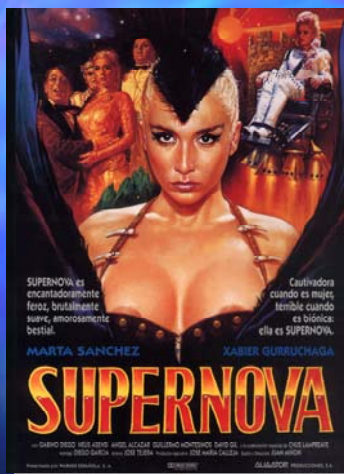


Fenòmens explosius en sistemes binaris:

- Noves clàssiques [Nanes blanques]
- Supernoves (SN Ia) [Nanes blanques]
- X-ray bursts* [Estels de neutrons (+RG)]



Què és una Supernova?



Supernova (1992), dir.: J. Miñón



Supernova, el fin del Universo (2000, Supernova), dir.: W. Hill

Supernoves: la mare de totes les explosions



- * **Supernoves termonuclears** (SN Ia): explosions de nanes blanques en sistemes binaris (no deixen romanent) → **Factories galàctiques de Fe!**
- * **Supernoves de col·lapse gravitatori** (SN II, SN Ib/c): explosions d'estrelles massives ($M \geq 10 M_{\odot}$) (romanents: **estel de neutrons** o **forat negre**)

$$v \sim 10^4 \text{ km/s}, E \sim 10^{51} \text{ erg}, M_{\text{ej}} \geq M_{\odot}$$

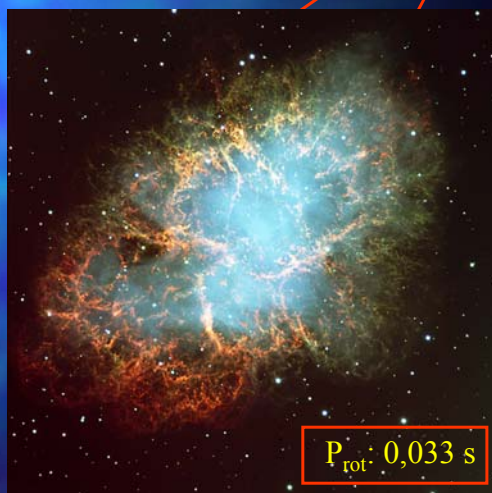
Freqüència: ~1 supernova cada 30 anys per galàxia

Supernoves
històriques

185 aC, 386, 393, 1006, 1054, 1181, 1572, 1604

"Durant el 5^e mes del primer any del regnat Chih-ho [4 de juliol, 1054], una estrella invitada va aparèixer pel matí al costat del guardià est T'ien-kuan [ζ Taur]. Fou visible durant el dia, com Venus. De tots els seus costats, s'emetien raigs i el seu color era blanc-vermellós. Fou visible durant 23 dies."

Sung-hui-yao

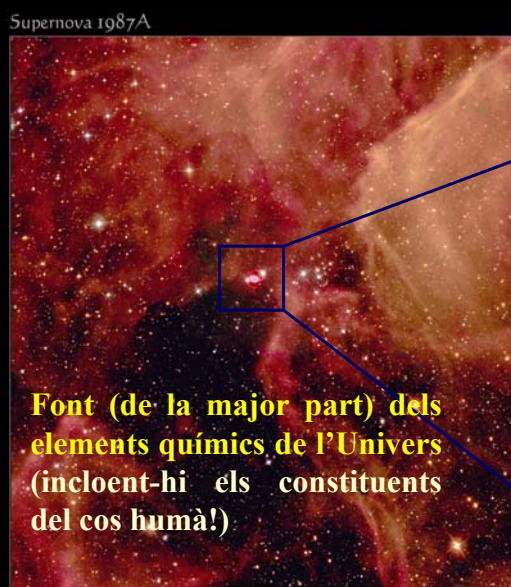


$P_{\text{rot}} = 0,033 \text{ s}$



Presenciaren els anasazi la SN 1054?

Gravats anasazi, Chaco Culture Nat'l Historical Park, NM



Font (de la major part) dels elements químics de l'Univers (incloent-hi els constituents del cos humà!)

Hubble Heritage

PRC99-04 • Space Telescope Science Institute • Hubble Heritage Team (AURA/STScI/NASA)

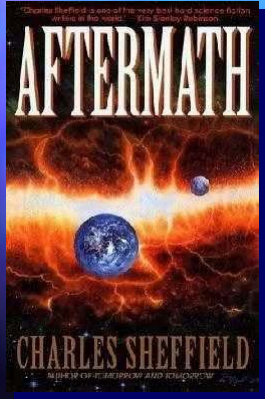


Supernova 1987A Rings

Hubble Space Telescope
Wide Field Planetary Camera 2

Es troba la humanitat amenaçada per explosions de supernova?

I. Shklovskii, C. Sagan: **supernoves** com a possibles responsables d'alguns episodis d'**extinció massiva** de la Terra?



$P_{\text{ona exp.}} > P_{\text{vent solar}} \rightarrow 150 \text{ anys-llum}$

^{60}Fe = empremta dactilar d'una explosió de SN
($\tau = 1,5 \text{ Ma}$)

$\rightarrow$ Descobert al fons oceànic terrestre

Possibles efectes: reducció 20-60% de la concentració d'**ozó** atmosfèric

$\rightarrow$ * fitoplàncton
* extinció de molucs

$\rightarrow$ Registres fòssils de fa 2 Ma (Pliocè/Pleistocè)

Escenaris associats: **γ -ray bursts (GRB)**

GRB = explosions de raigs γ , molt energètiques, de curta durada (0.001 - 1000 s) i extraordinària **frequència** (3 GRB/dia)

Origen: formació d'**estrelles de neutrons** i/o **forats negres** a escala cosmològica en **SN** hiperenergètiques (controvèrsia!)

Efectes possibles segons alguns models teòrics de GRBs: **catastròfics** per a la vida a la Terra (inclús a nivell submari o subterrani)

Probabilitat d'aquest esdeveniment: 1 cada 70 milions d'anys
~ **promig** d'extincions massives terrestres!

Resol això la **paradoxa de Fermi**?

