



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA



L'universo come laboratorio

Paolo de Bernardis

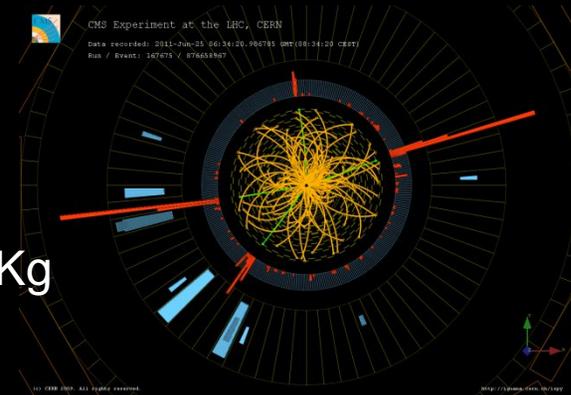
Dipartimento di Fisica
Sapienza Università di Roma

Caffè Scienza 19/2/2013



LHC:
scontri tra protoni

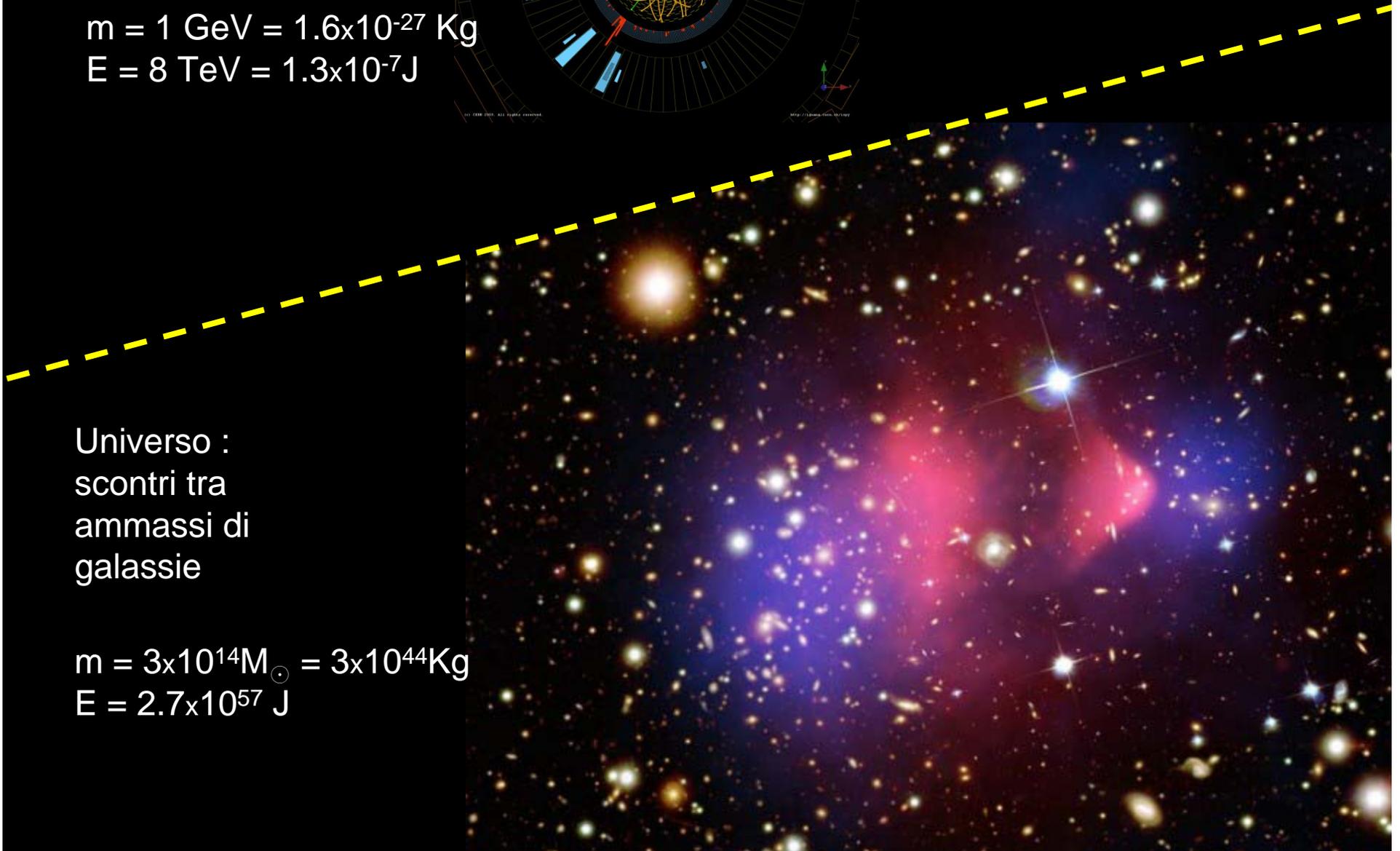
$$m = 1 \text{ GeV} = 1.6 \times 10^{-27} \text{ Kg}$$
$$E = 8 \text{ TeV} = 1.3 \times 10^{-7} \text{ J}$$



Enormi
Collisioni ...

Universo :
scontri tra
ammassi di
galassie

$$m = 3 \times 10^{14} M_{\odot} = 3 \times 10^{44} \text{ Kg}$$
$$E = 2.7 \times 10^{57} \text{ J}$$



M81

Enormi
dimensioni ...

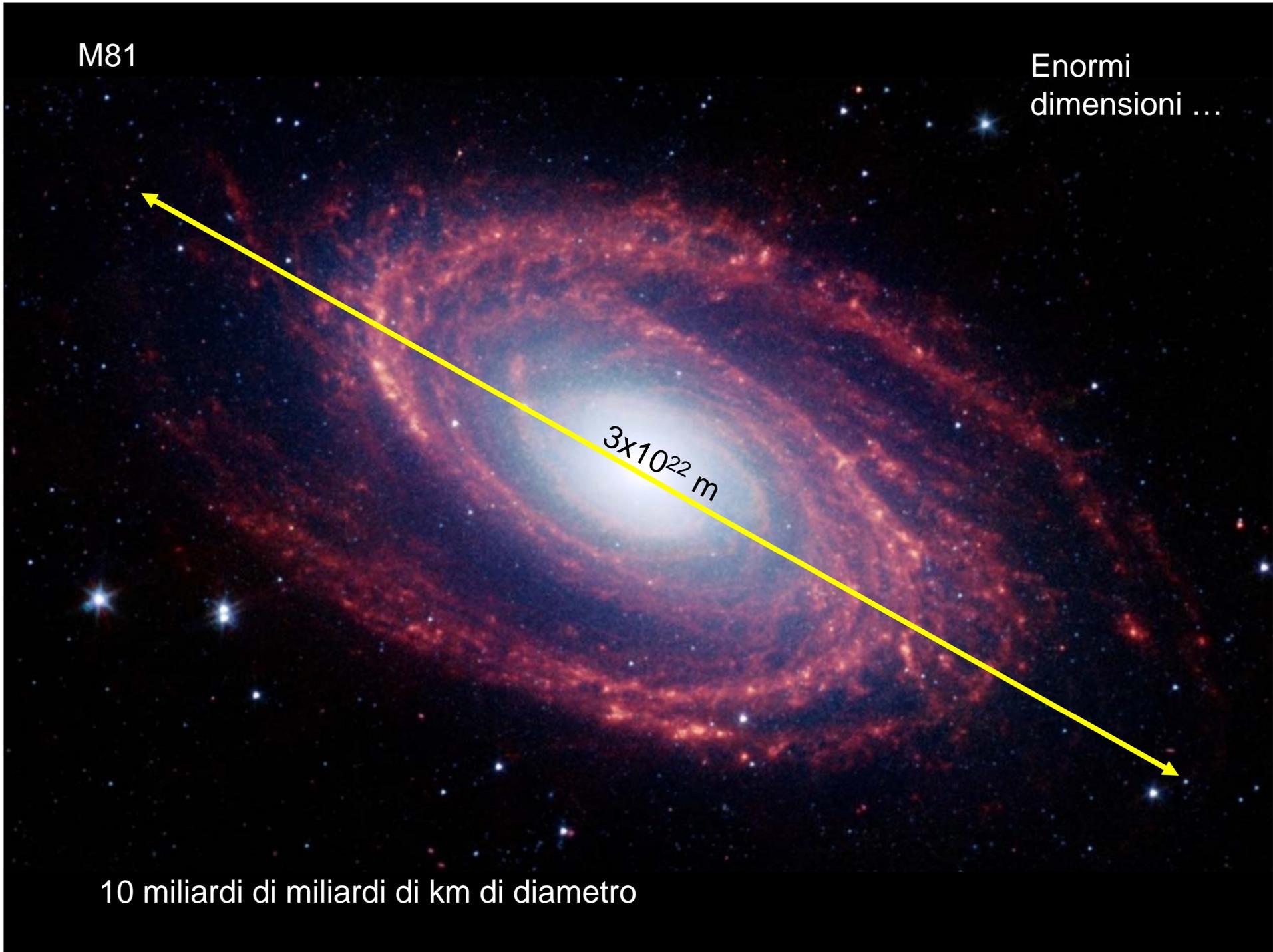


M81

Enormi
dimensioni ...

$3 \times 10^{22} \text{ m}$

10 miliardi di miliardi di km di diametro



Enormi
densità ...

Stella di neutroni

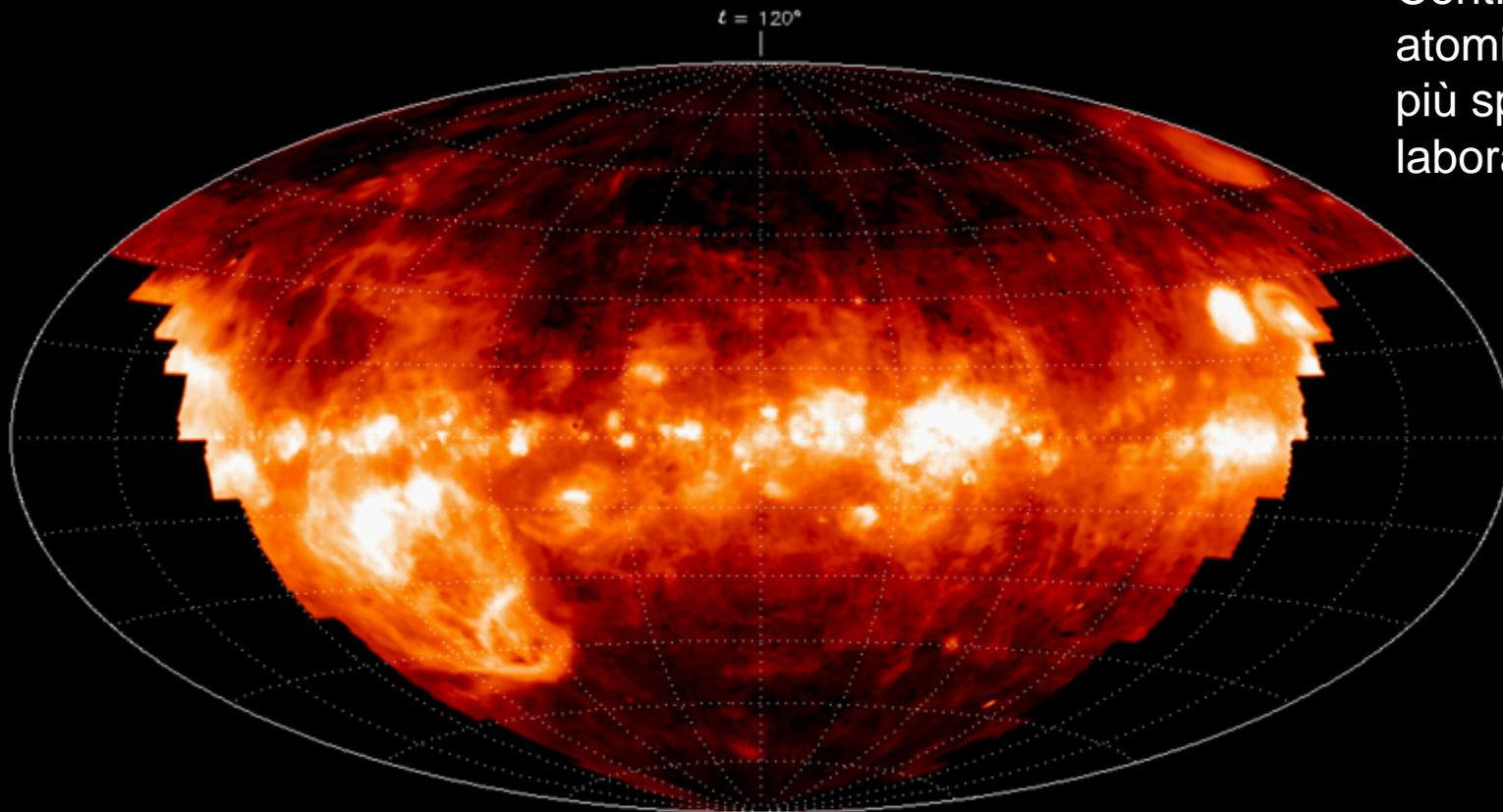
Densità = 6×10^{17} kg/m³
100000 miliardi di volte più densa dell' acqua



.. e densità
infinitesime...

Wisconsin H-Alpha Mapper Northern Sky Survey
Integrated Intensity Map ($-80 < v_{\text{LSR}} < +80 \text{ km s}^{-1}$)

100 atomi / m^3 ...
Contro milioni di
atomi/ cm^3 nel vuoto
più spinto fattibile in
laboratorio

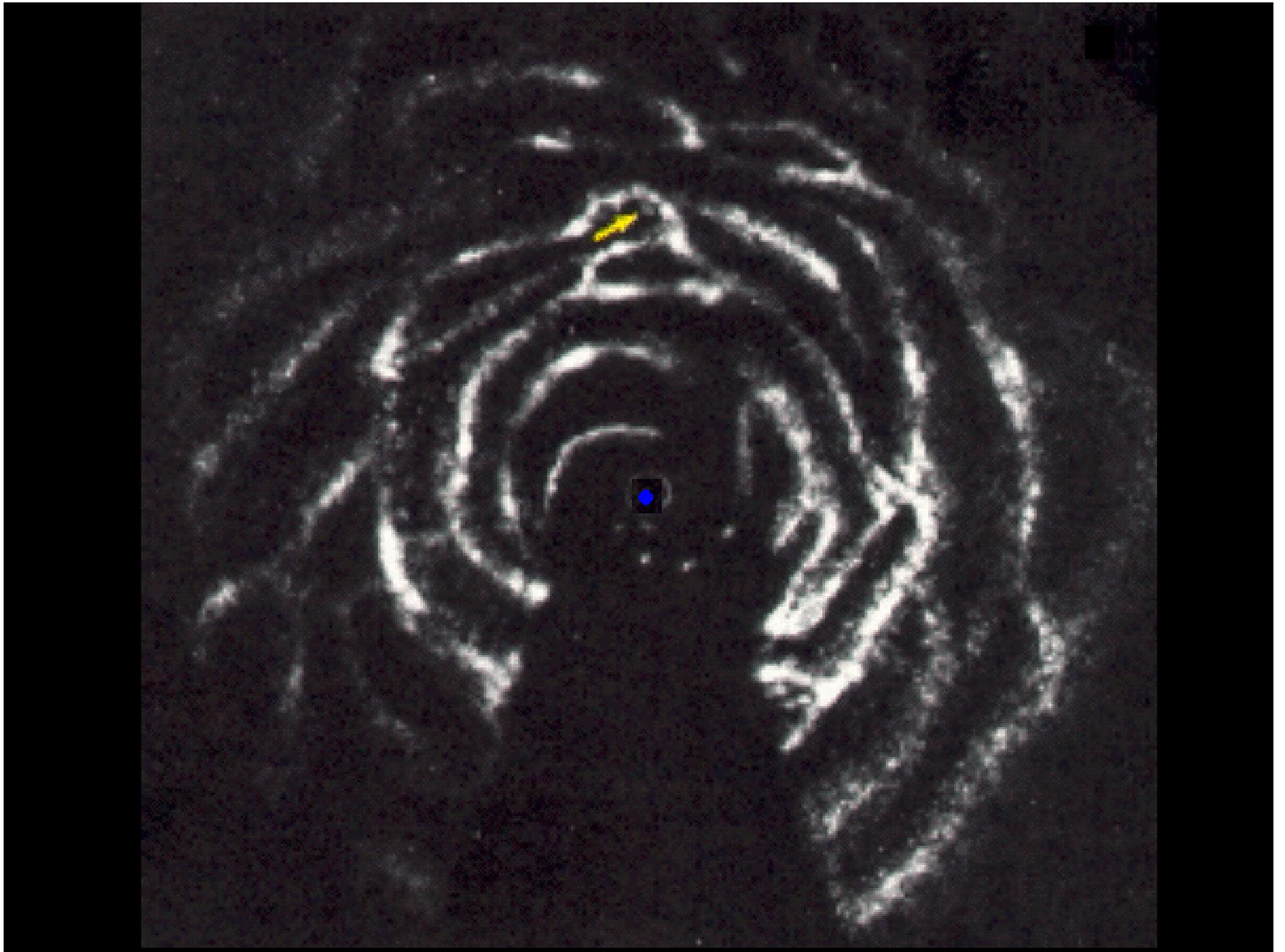


$\Delta l = 30^\circ$
 $\Delta b = 15^\circ$

Log Intensity [Rayleighs]

<http://www.astr.wisc.edu/wham/>



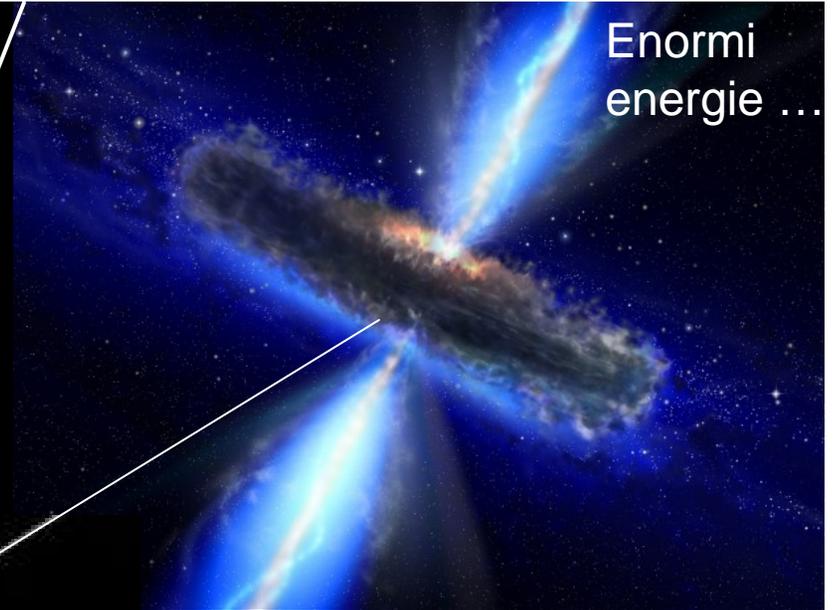
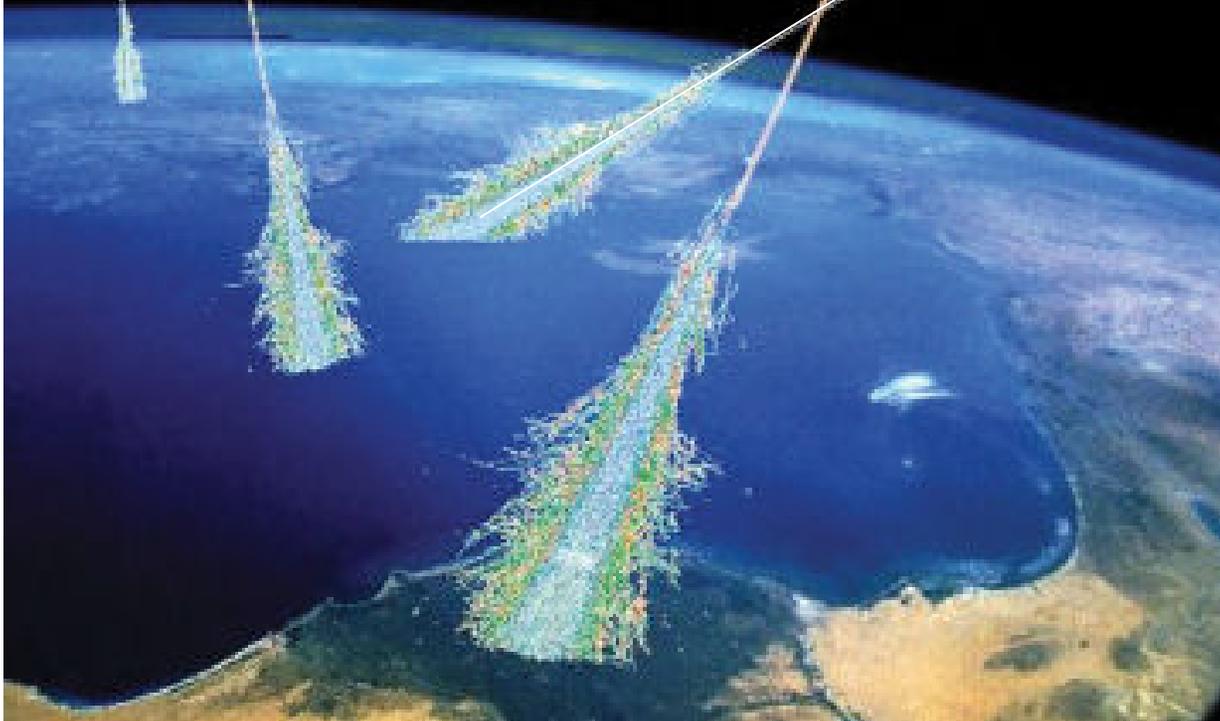


U.H.E.C.R.

$> 3 \times 10^{20}$ eV ... = 50 J (!)



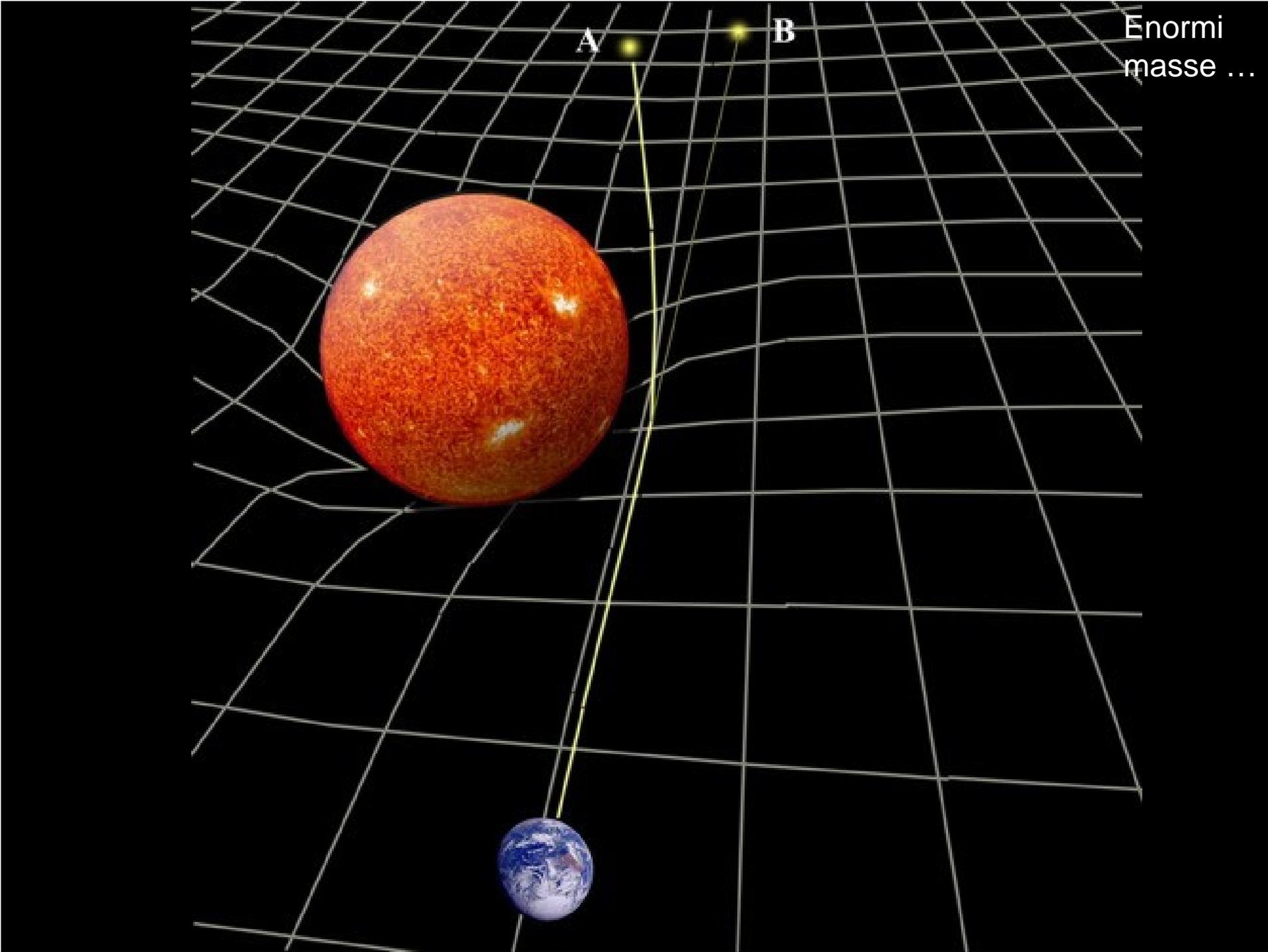
100 km/h



Enormi energie ...



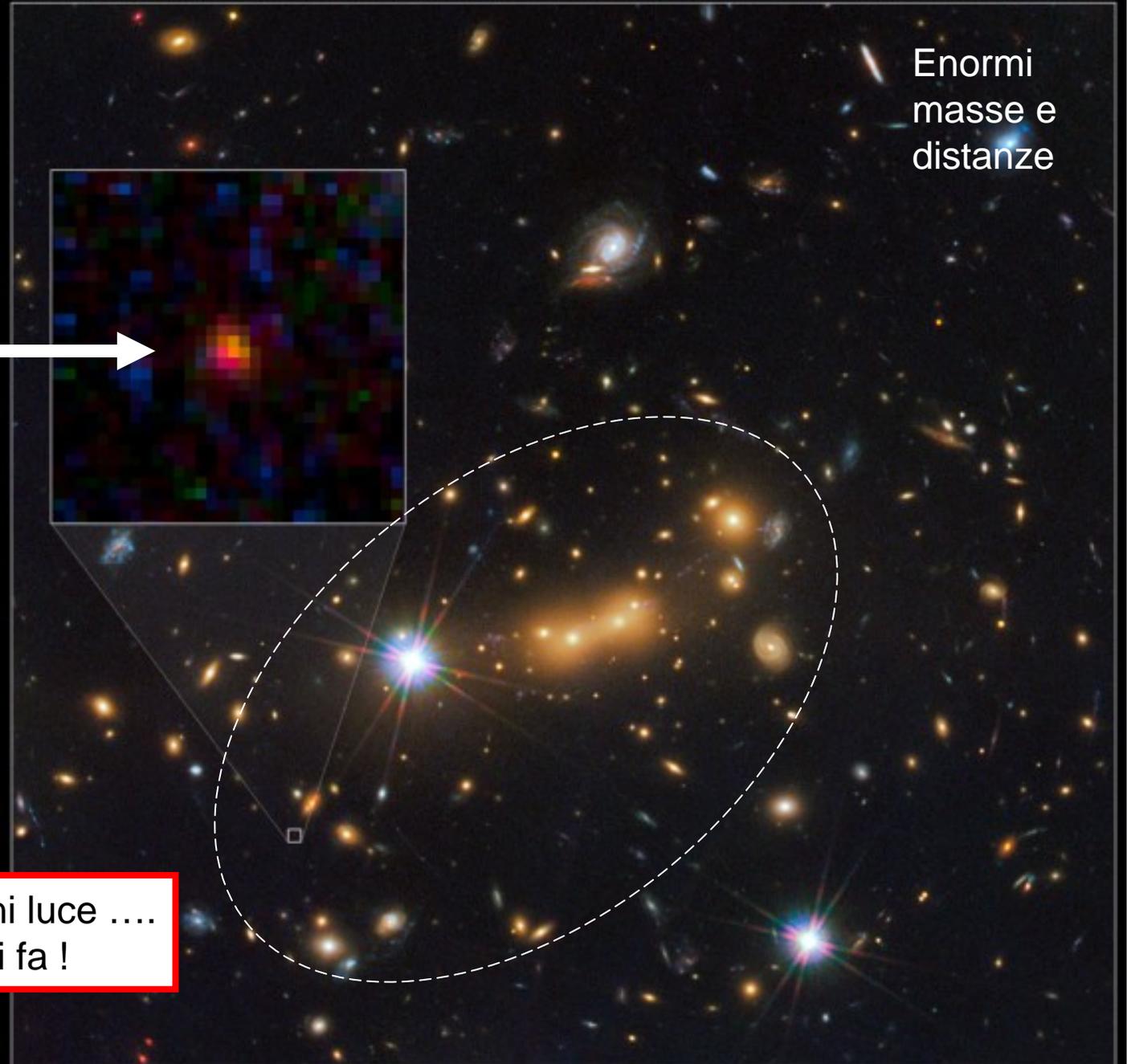
AGN ?



Enormi
masse ...

La galassia
più lontana
MACS0647-JD

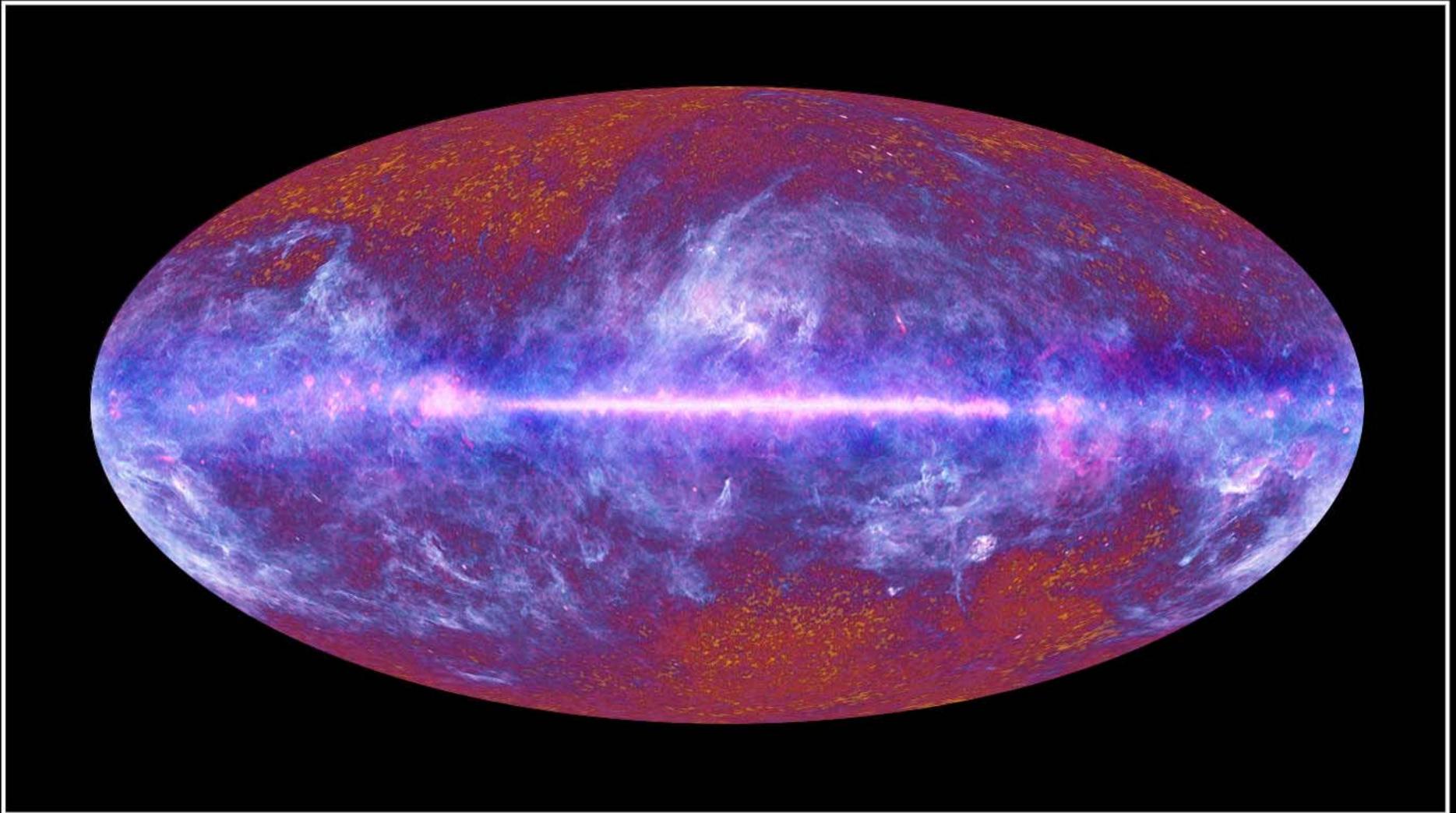
Enormi
masse e
distanze



13.3 miliardi di anni luce
13.3 miliardi di anni fa !

L' oggetto più lontano ...

Enormi
distanze ...



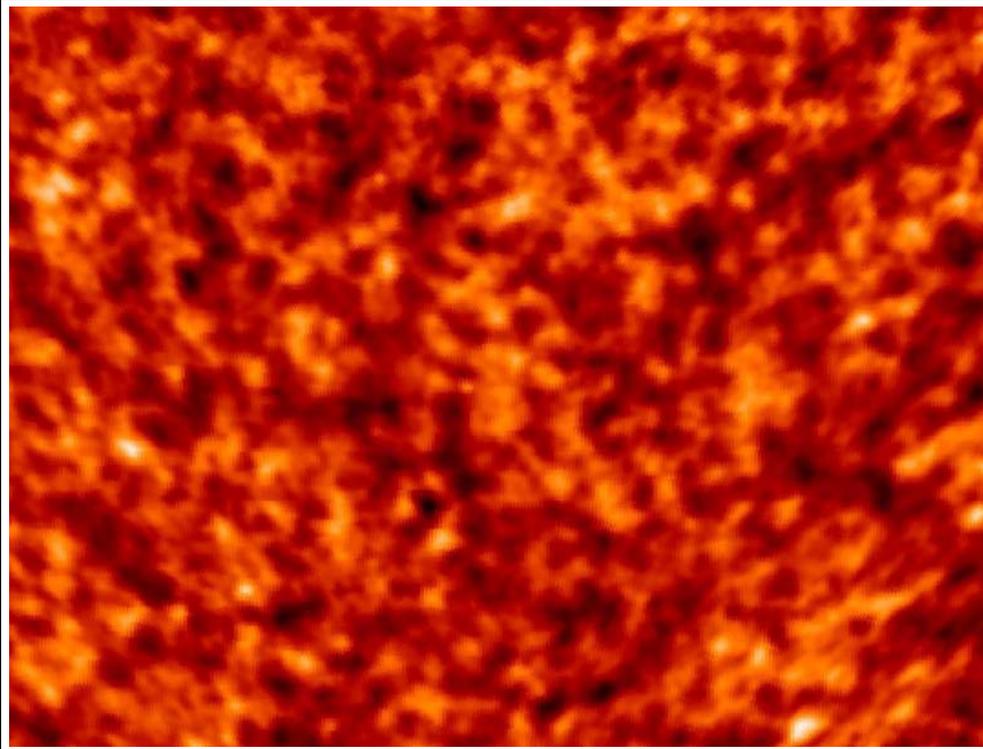
The Planck one-year all-sky survey



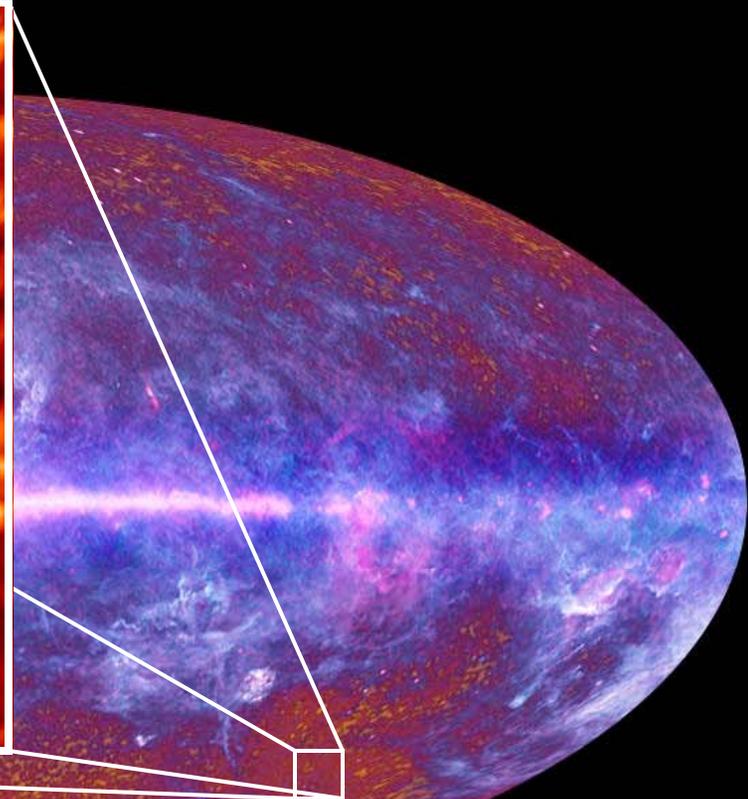
[c] ESA, HFI and LFI consortia, July 2010

L' oggetto più lontano ...

Enormi
distanze ...



Mappa di BOOMERanG (2000)

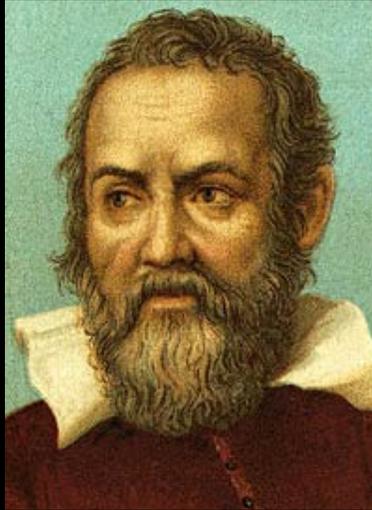


Quindi usando l' universo come laboratorio si possono studiare :

- Epoche remotissime
- Oggetti di dimensioni enormi
- Oggetti con masse talmente grandi da deviare la luce
- Oggetti con densità spaventose
- Oggetti e situazioni con energie spaventose
- Situazioni di vuoto enormemente spinto ...

- Tutte cose che in laboratorio sulla terra non si possono fare, né si potranno mai fare.

- **Usare la natura come laboratorio è una vecchia pratica ...**



Galileo Galilei 1564-1642

Veramente non l'ho sperimentata, salvo che in lontananza piccola, cioè manco d'un miglio, dal che non ho potuto assicurarmi se veramente la comparsa del lume opposto sia instantanea; ma ben, se non instantanea, velocissima, e direi momentanea, è ella



Galileo e la velocità del lume

**DISCORSI E DIMOSTRAZIONI
MATEMATICHE INTORNO
A DUE NUOVE SCIENZE**



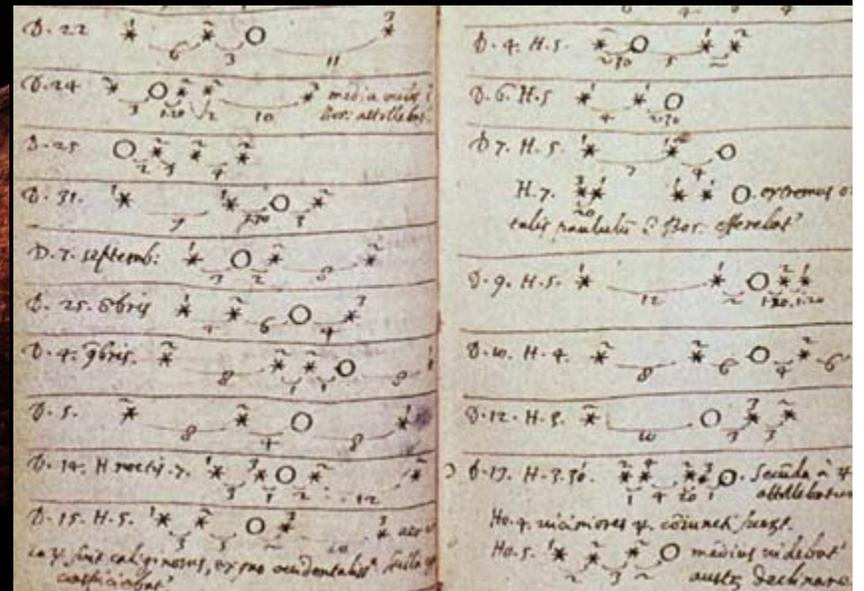
... e per ora l'assimiglierei a quel moto che veggiamo farsi dallo splendore del baleno veduto tra le nugole lontane otto o dieci miglia; del qual lume distinguiamo il principio, e dirò il capo e fonte, in un luogo particolare tra esse nugole, ma bene immediatamente segue la sua espansione amplissima per le altre circostanti; che mi pare argomento, quella farsi con qualche poco di tempo; perché quando l'illuminazione fusse fatta tutta insieme, e non per parti, non par che si potesse distinguer la sua origine, e dirò il suo centro, dalle sue falde e dilatazioni estreme.



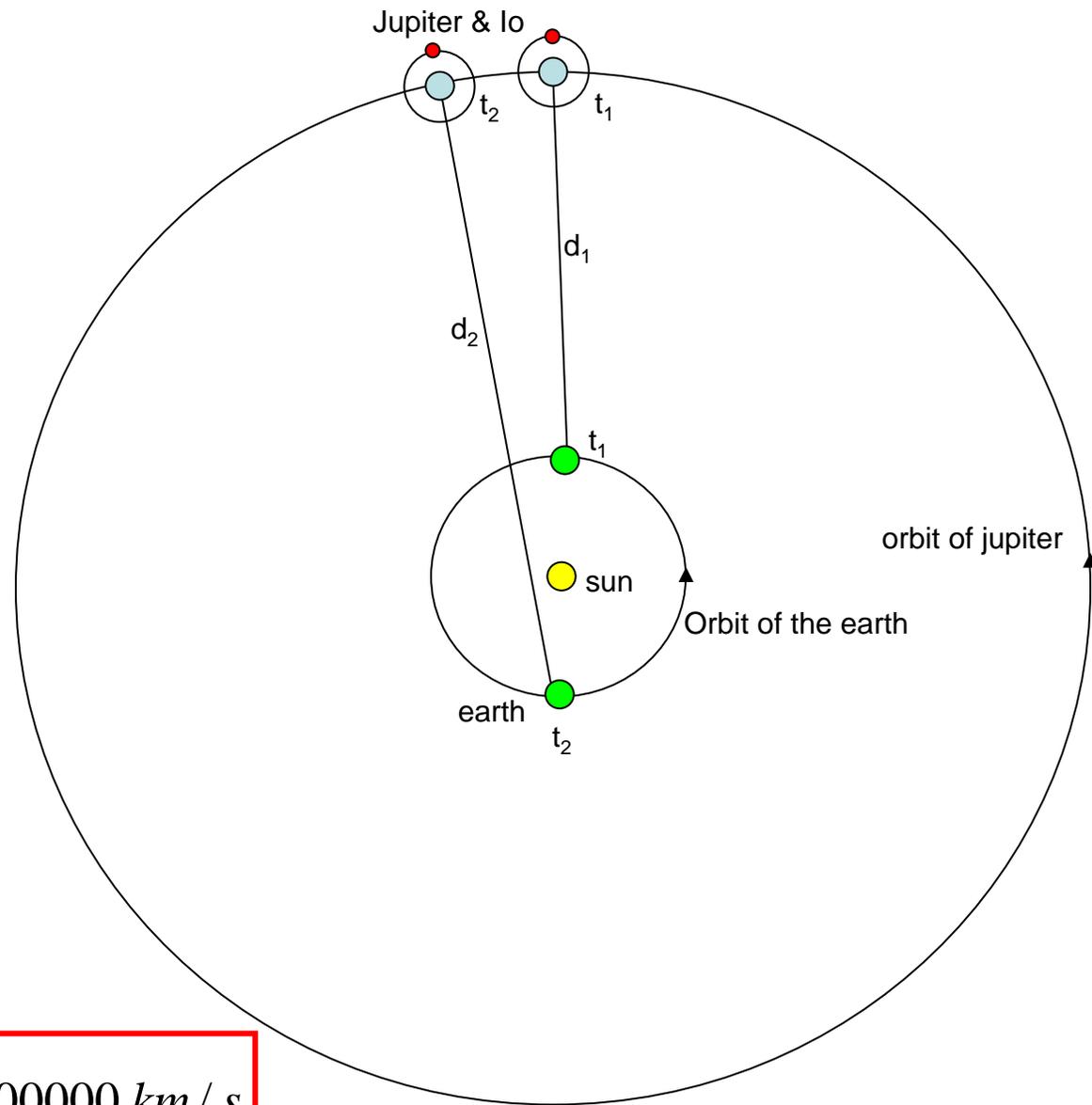
La scoperta di Galileo delle lune di Giove ...



March 1610



... rese possibile
misurare con
buona
precisione, più
tardi nello
stesso secolo, la
velocità della
luce, e per la
prima volta con
buona
precisione



Ole Rømer (1676):

$$c = \frac{2 \times 150000000 \text{ km}}{16.5 \times 60 \text{ s}} = 300000 \text{ km/s}$$

Galileo e le stelle della via lattea

“La GALASSIA infatti non è altro che un ammasso di innumerabili stelle disseminate a mucchi; ché in qualunque parte di essa si diriga il cannocchiale, subito si offre alla vista un grandissimo numero di stelle, parecchie delle quali si vedono abbastanza grandi e molto distinte, mentre la moltitudine delle più piccole è affatto inesplorabile.”



Galileo e le stelle della via lattea

“La GALASSIA infatti non è altro che un ammasso di innumerabili stelle disseminate a mucchi; ché in qualunque parte di essa si diriga il cannocchiale, subito si offre alla vista un grandissimo numero di stelle, parecchie delle quali si vedono abbastanza grandi e molto distinte, mentre la moltitudine delle più piccole è affatto inesplorabile.”

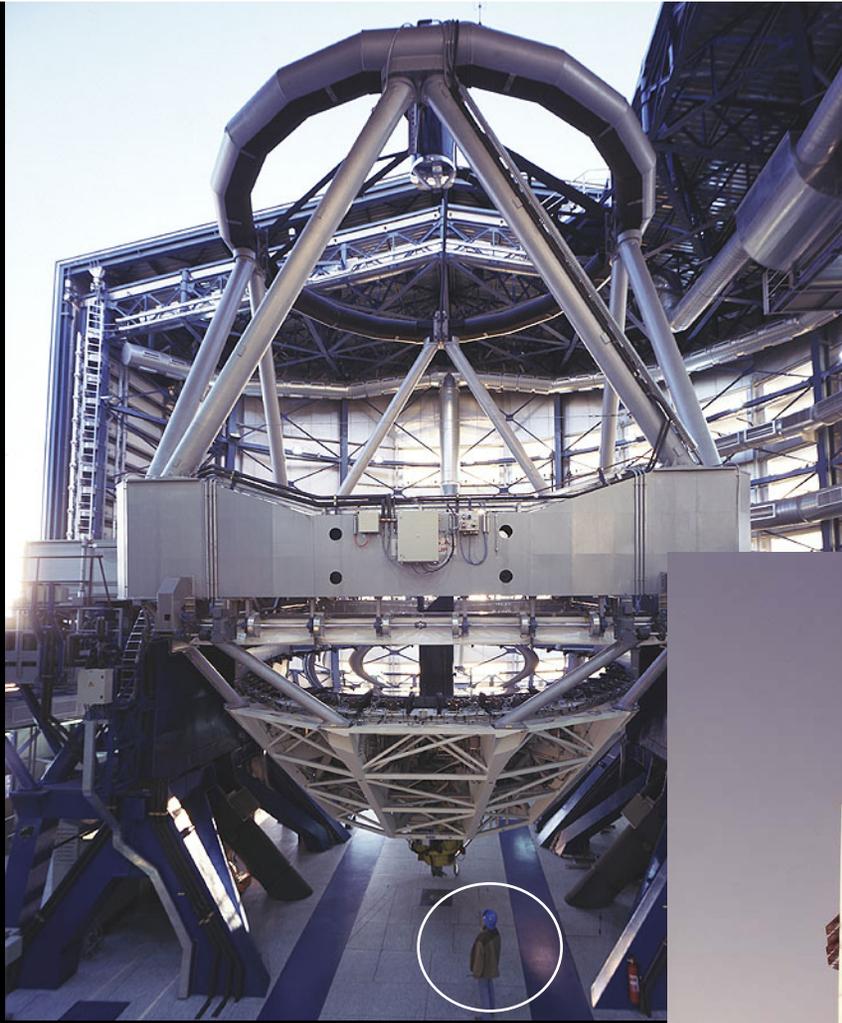
Queste stelle distano decine di migliaia di anni luce... Galileo avrà capito di essere stato il primo “archeologo dell’ universo” ?

Quindi usando l' universo come laboratorio si possono studiare :

- Epoche remotissime
- Oggetti di dimensioni enormi
- Oggetti con masse talmente grandi da deviare la luce
- Oggetti con densità spaventose
- Oggetti e situazioni con energie spaventose
- Situazioni di vuoto enormemente spinto ...

- Tutte cose che in laboratorio sulla terra non si possono fare, né si potranno mai fare.

- **Come si fa questo lavoro oggi ?**

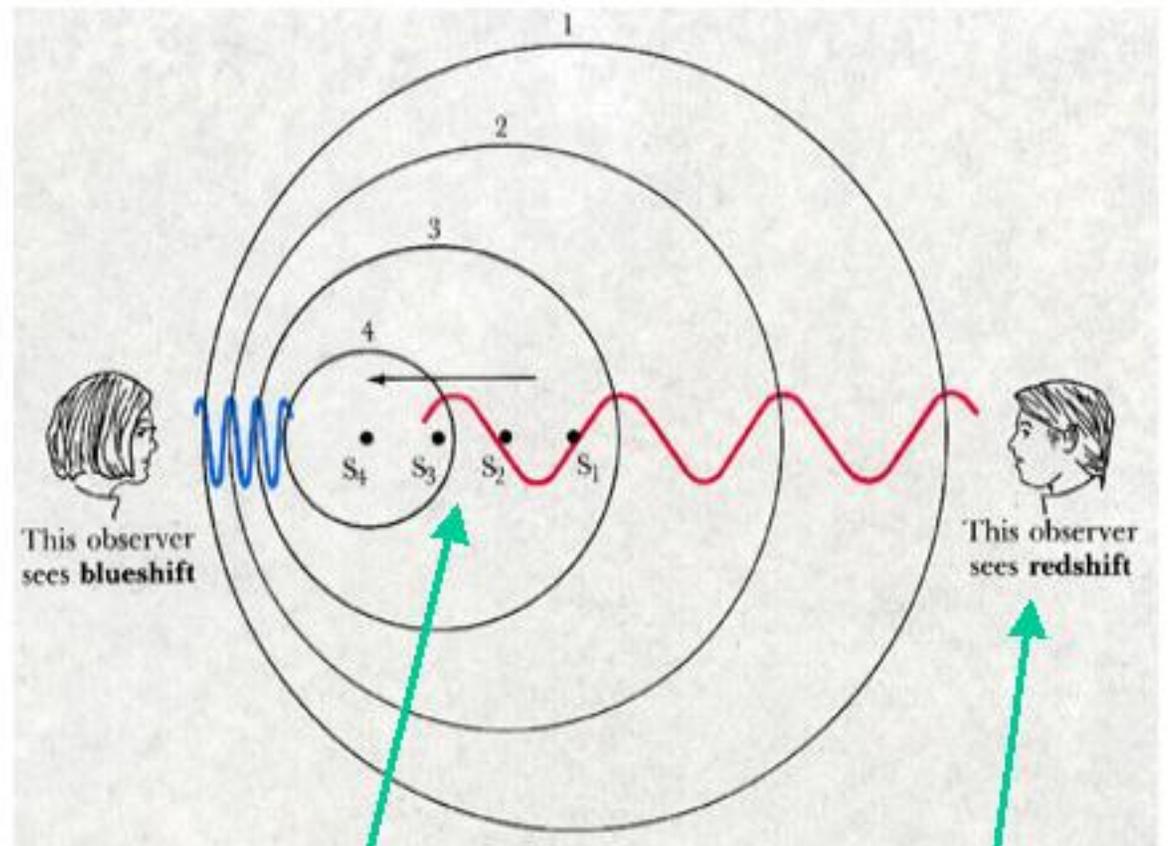


Anche coi telescopii moderni, e addirittura dallo spazio ...

Effetto Doppler

- Christian Doppler dimostrò nel 1843 la dipendenza della lunghezza d'onda dal moto relativo di sorgente ed osservatore.
- Tanto maggiore è la velocità relativa, tanto maggiore è lo spostamento della lunghezza d'onda misurata:

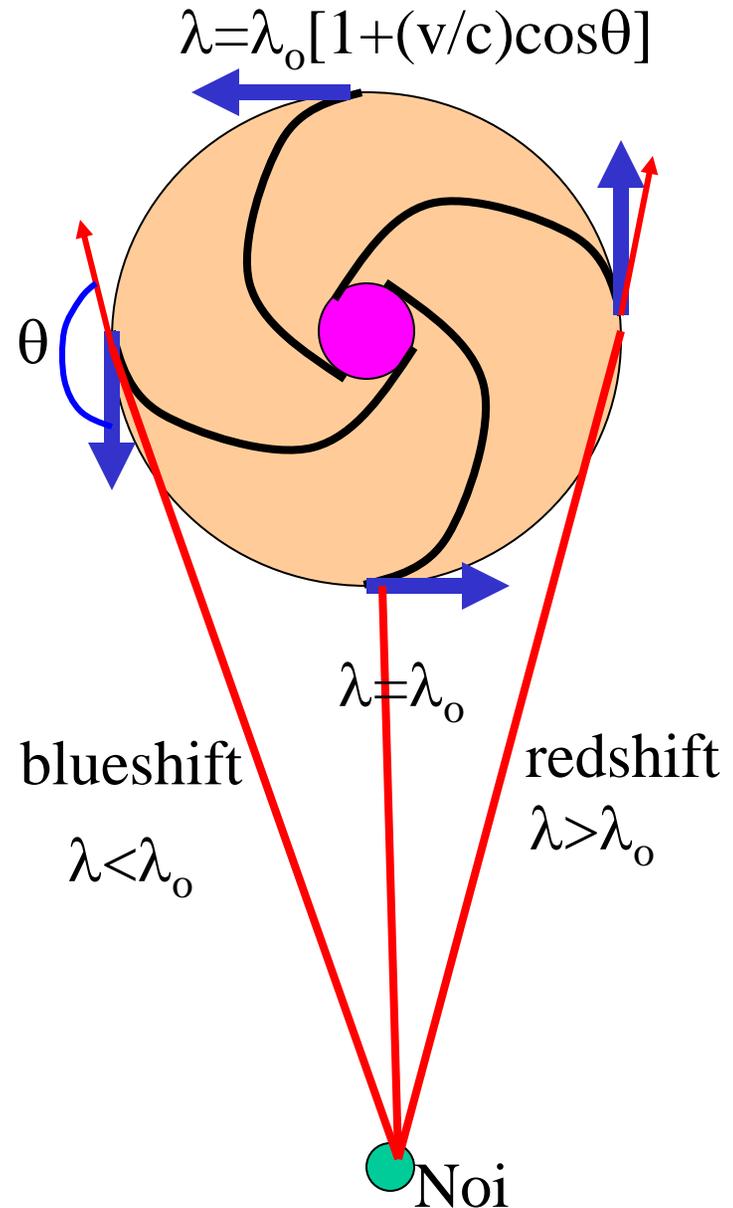
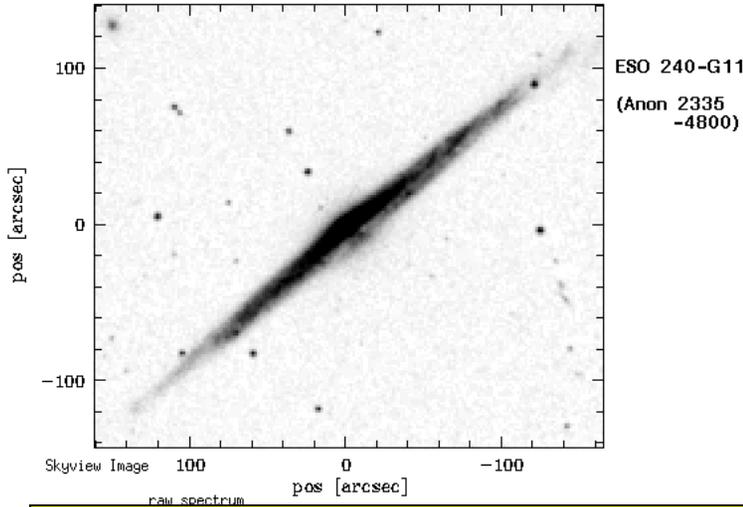
$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = v/c$$



Sorgente sonora o luminosa in movimento

Questo osservatore vede una lunghezza d'onda maggiore perché la sorgente si sta allontanando

Effetto Doppler per la luce stellare

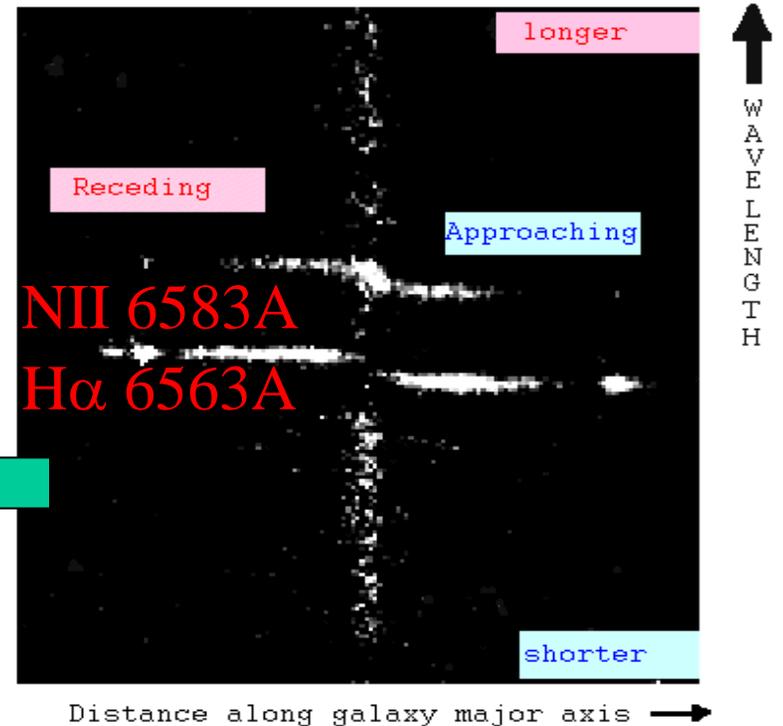
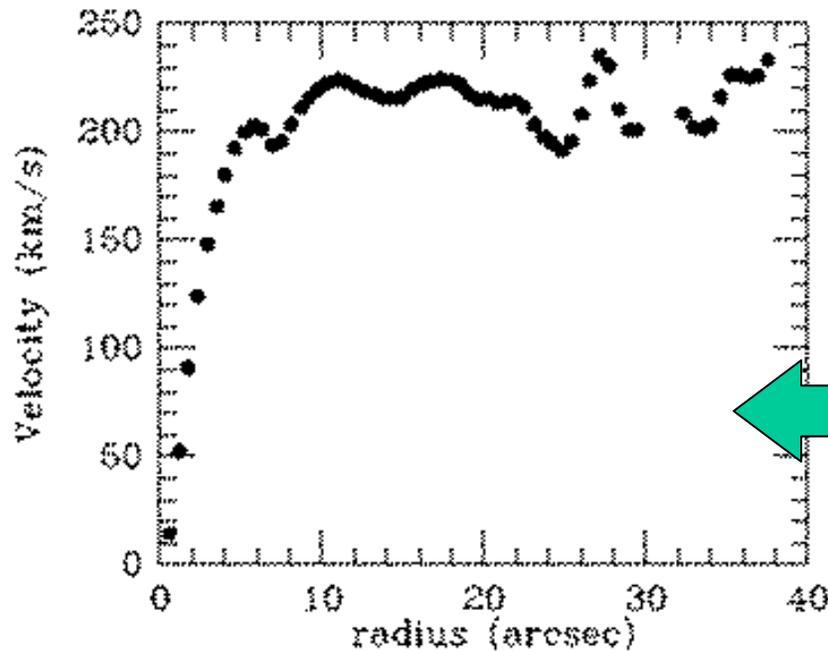
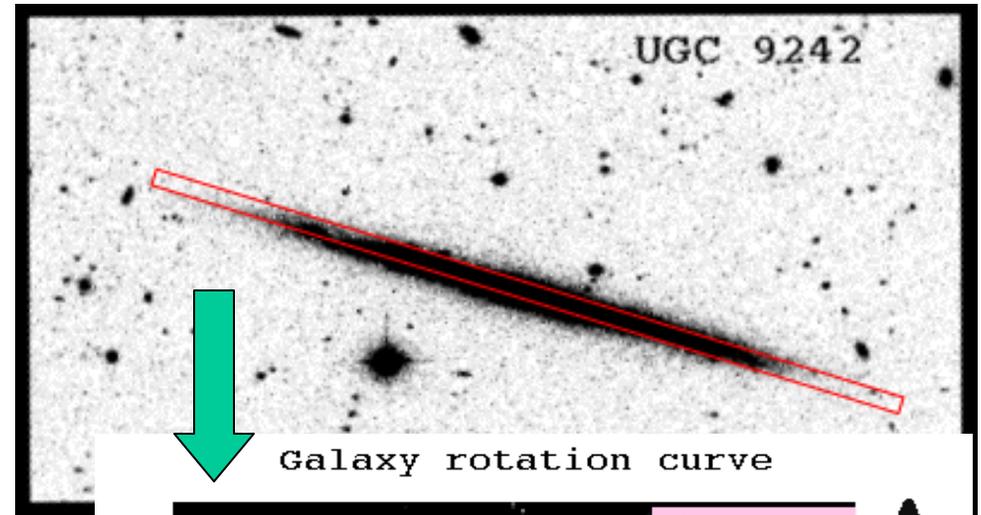


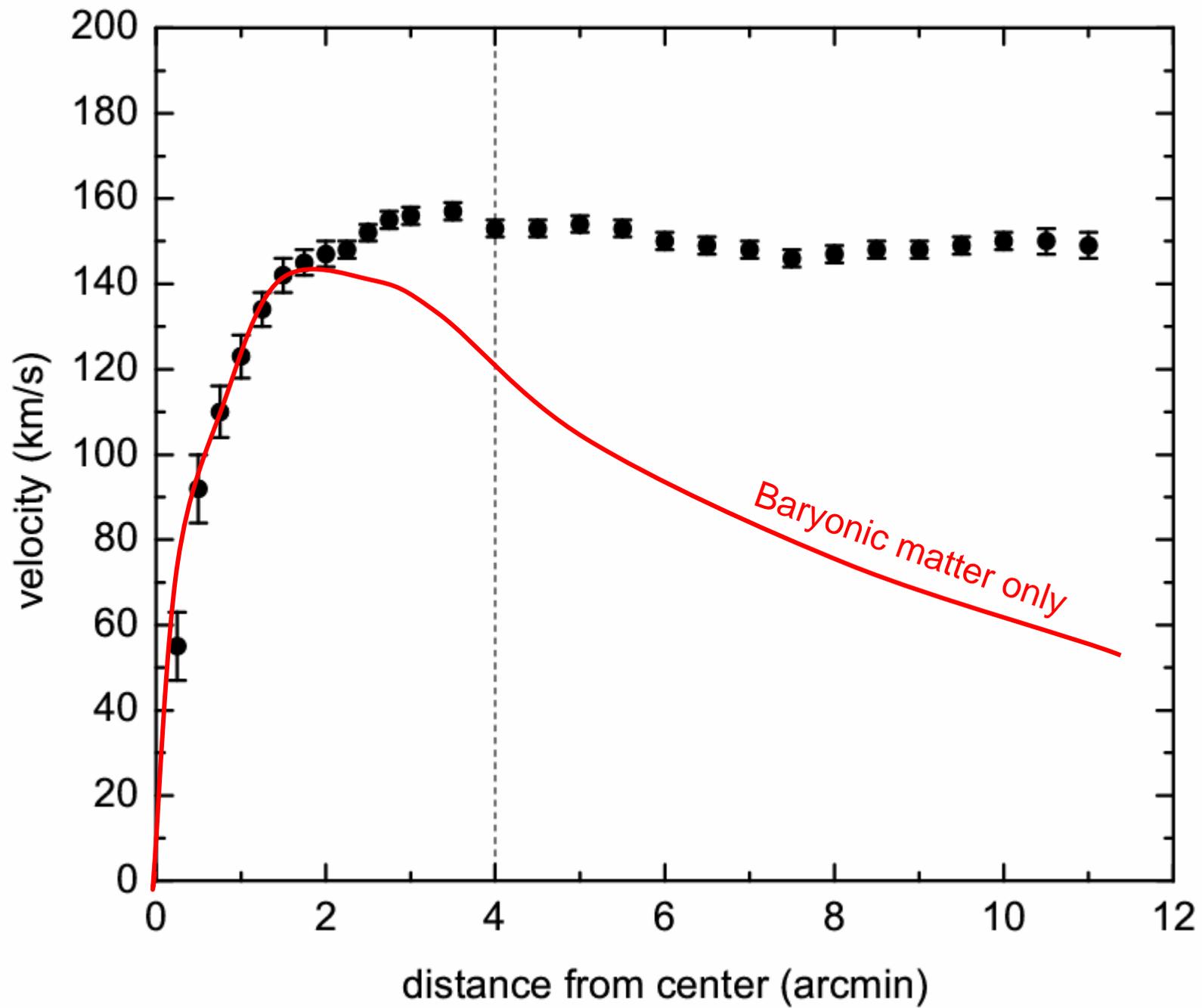
- La misura viene meglio per galassie viste di taglio. Si misura la lunghezza d'onda apparente di una ben precisa riga spettrale in funzione della posizione per tutte le direzioni tra i due estremi della galassia.

v [km/s]

Rotazione delle Galassie

- Per farlo si allinea la fenditura di ingresso dello spettroscopio al disco (visto “edge-on”).
- La lunghezza d’onda della riga (e quindi la velocità) varia in funzione della posizione lungo il disco:



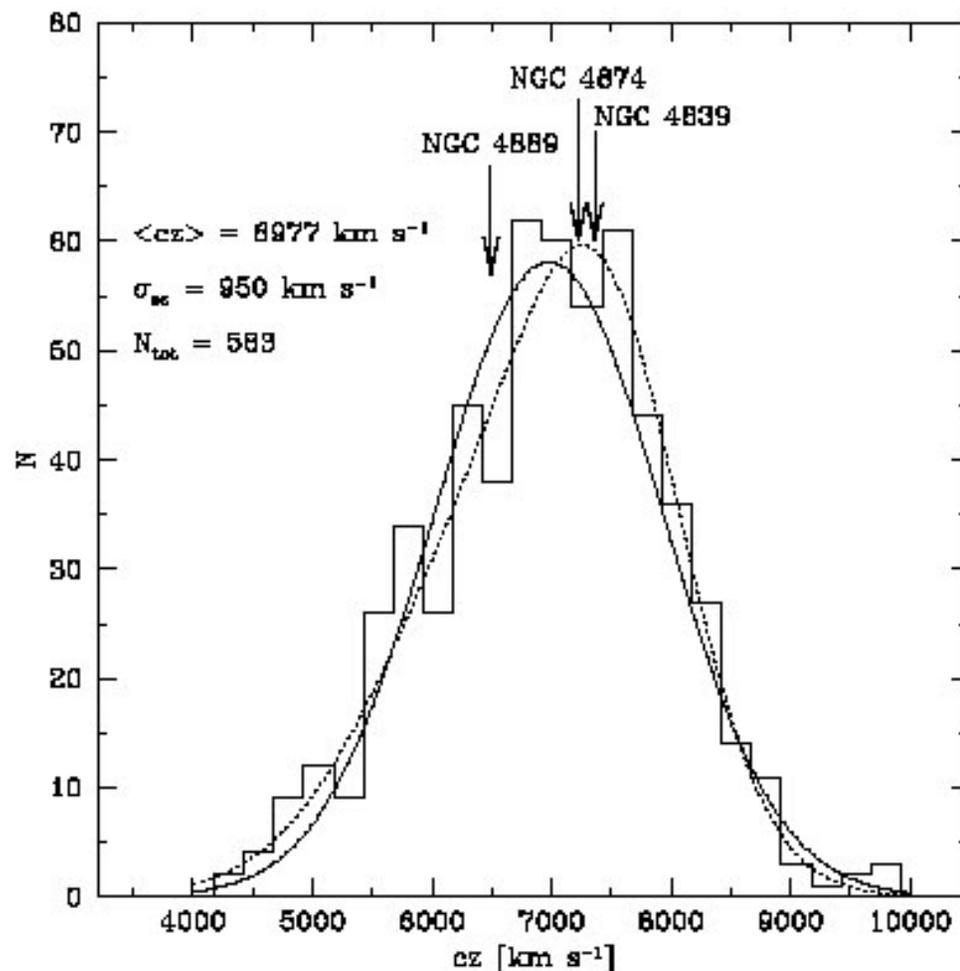


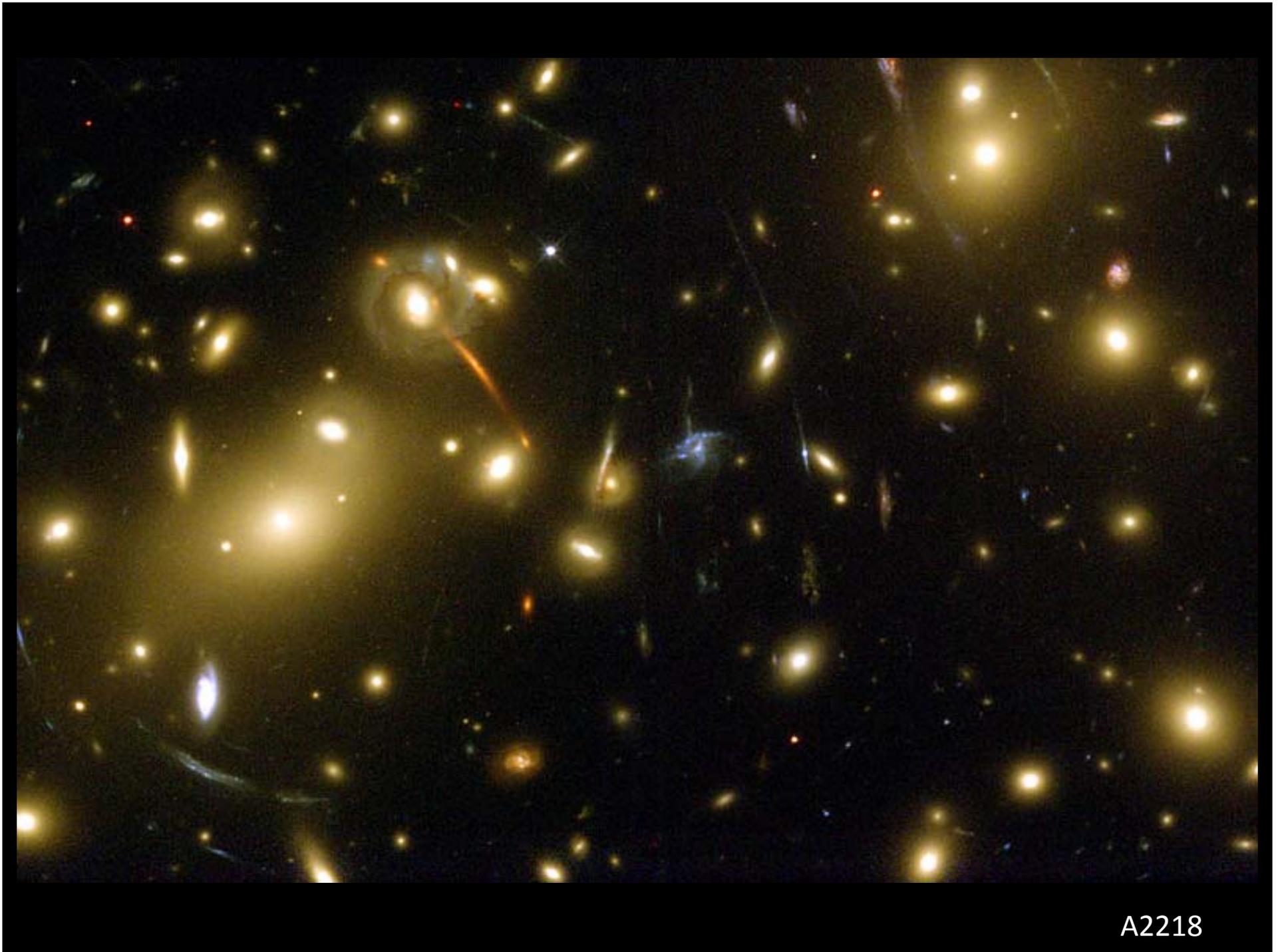




Coma

Figure 4.10— The distribution of radial velocities of all 583 identified Coma cluster galaxies ($4000 < cz < 10000 \text{ km s}^{-1}$). The solid curve is a Gaussian with mean $6977 \pm 53 \text{ km s}^{-1}$ and standard deviation $950 \pm 39 \text{ km s}^{-1}$. The dotted curve is the sum of two Gaussians with $\overline{cz}_1 = 7501 \pm 187 \text{ km s}^{-1}$, $\sigma_1 = 650 \pm 216 \text{ km s}^{-1}$ and $\overline{cz}_2 = 6640 \pm 470 \text{ km s}^{-1}$, $\sigma_2 = 1004 \pm 120 \text{ km s}^{-1}$ and gives a better fit to the observed distribution. The radial velocities of the three dominant galaxies are indicated.





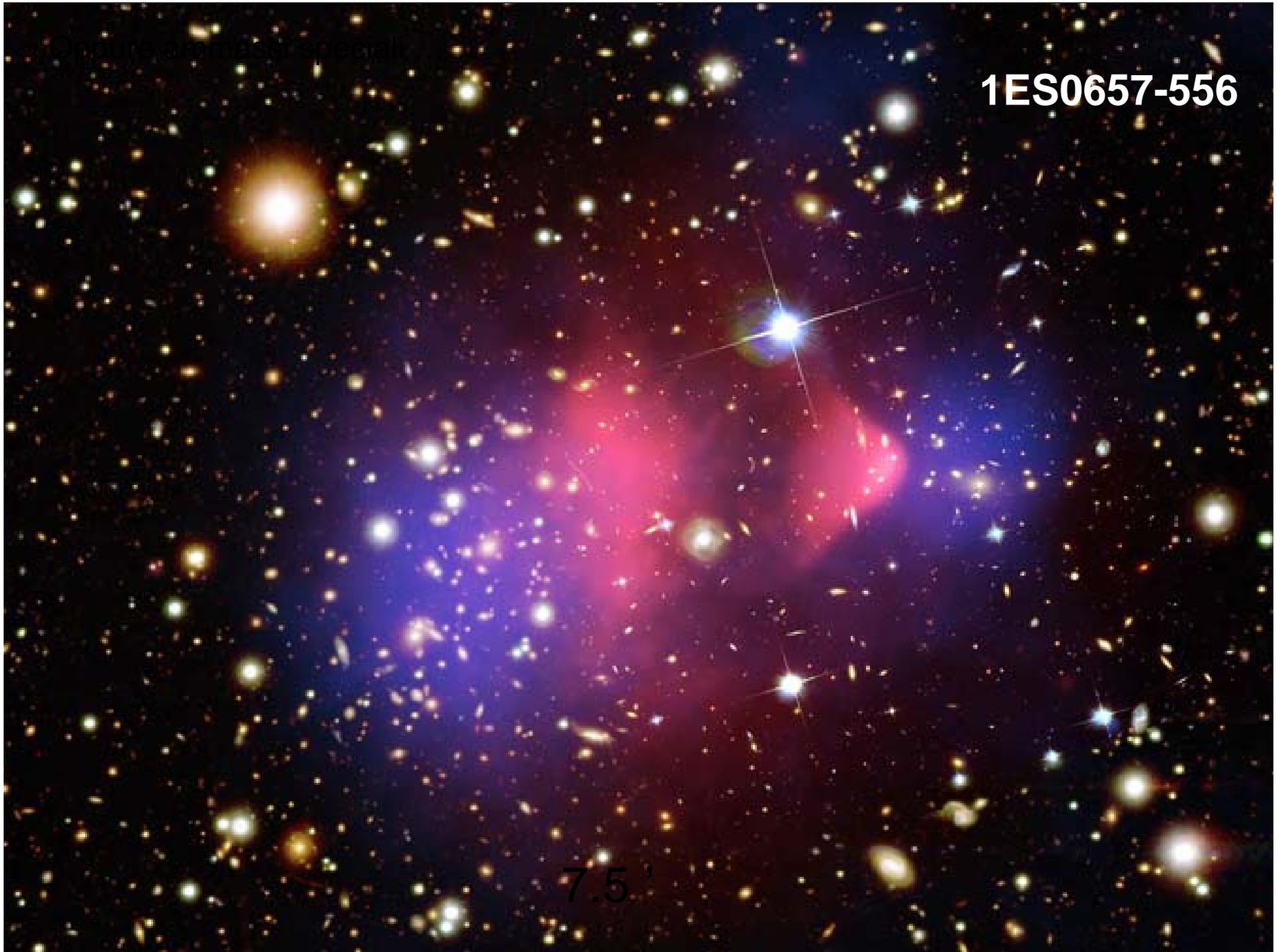
A2218



A1689

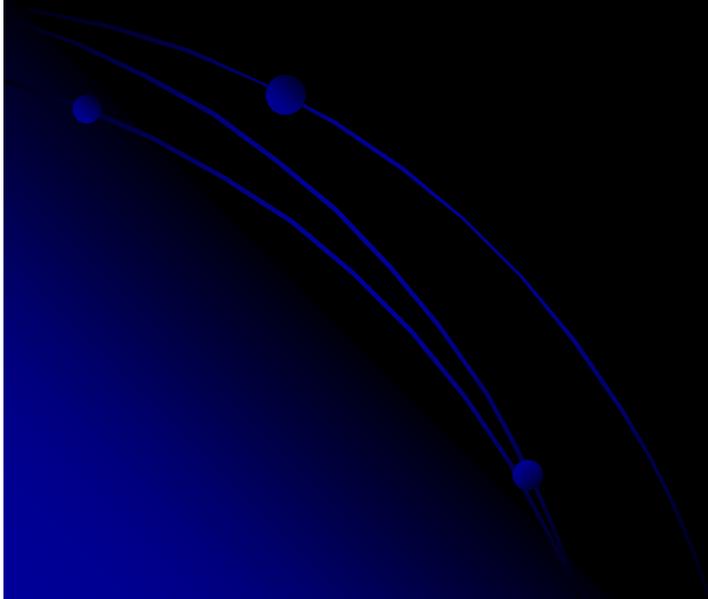
1ES0657-556

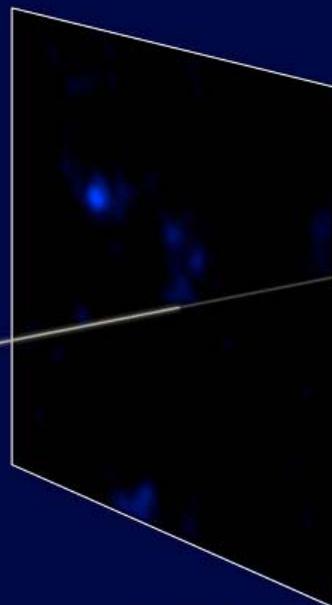
7.5'



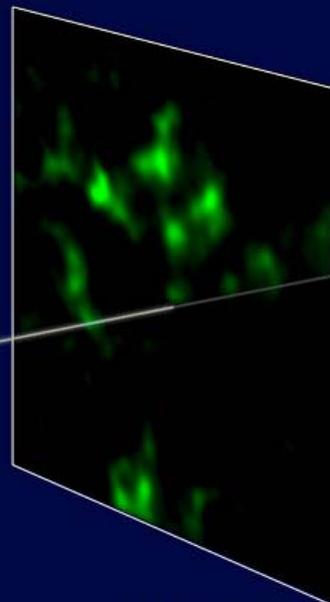
Dark matter

Materia oscura

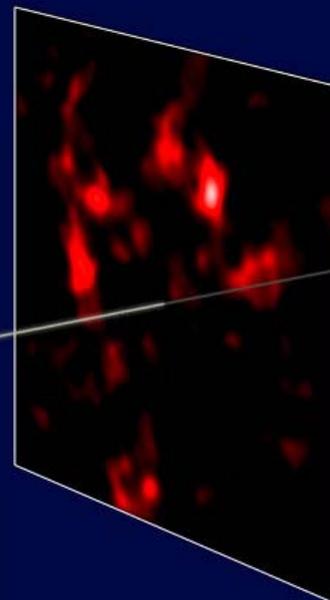




Up to 3 Billion
Years Ago



Up to 7 Billion
Years Ago

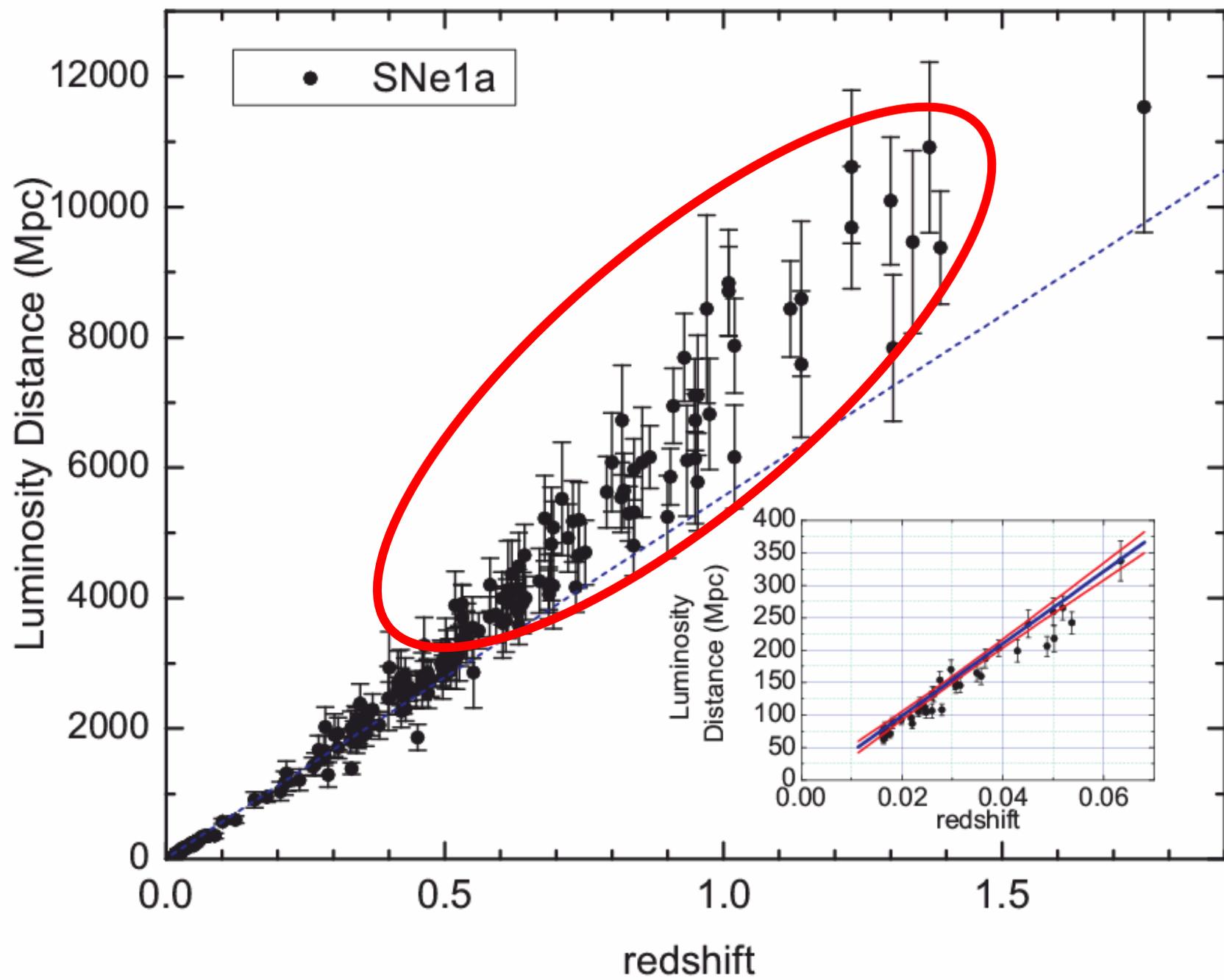


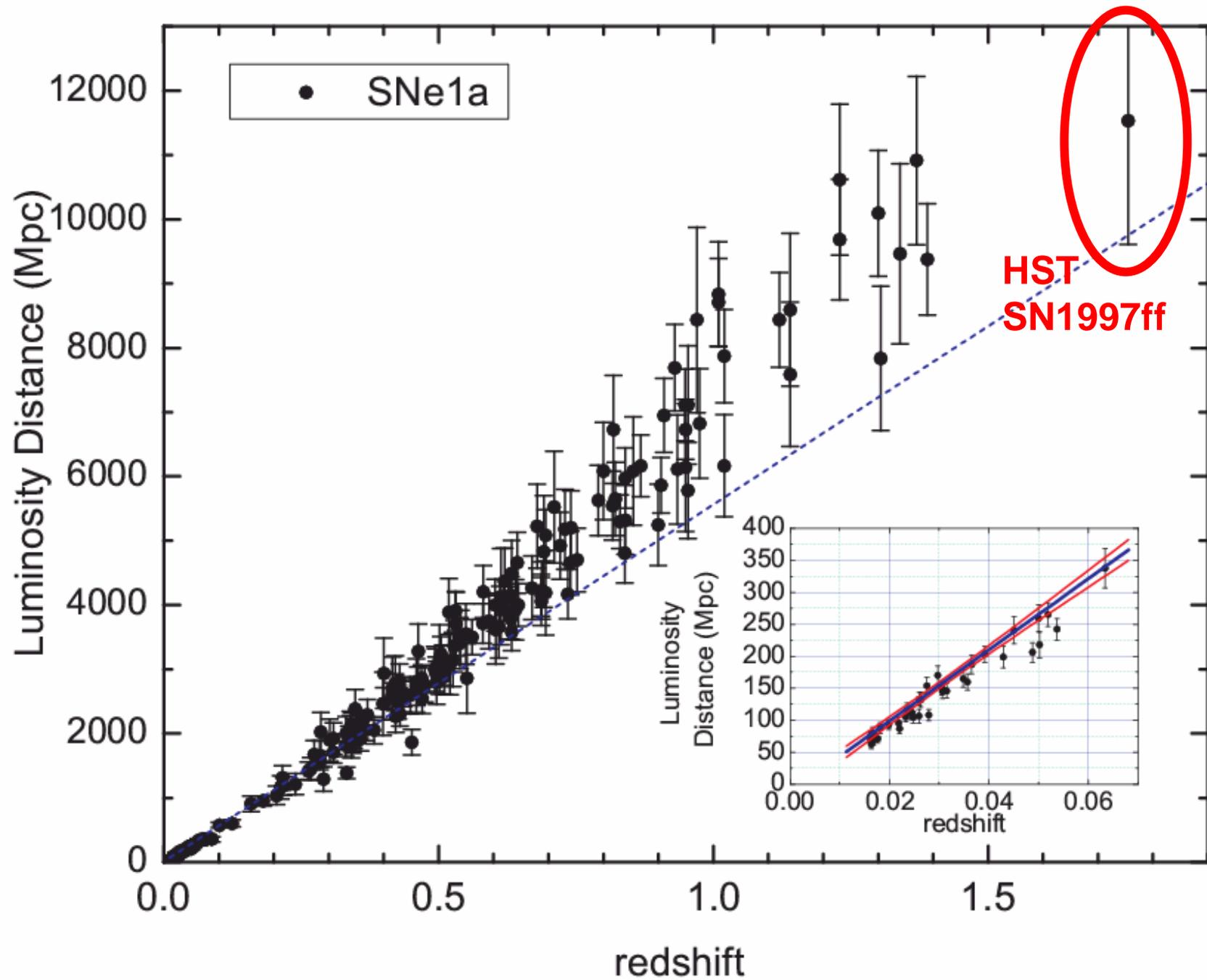
Up to 9 Billion
Years Ago

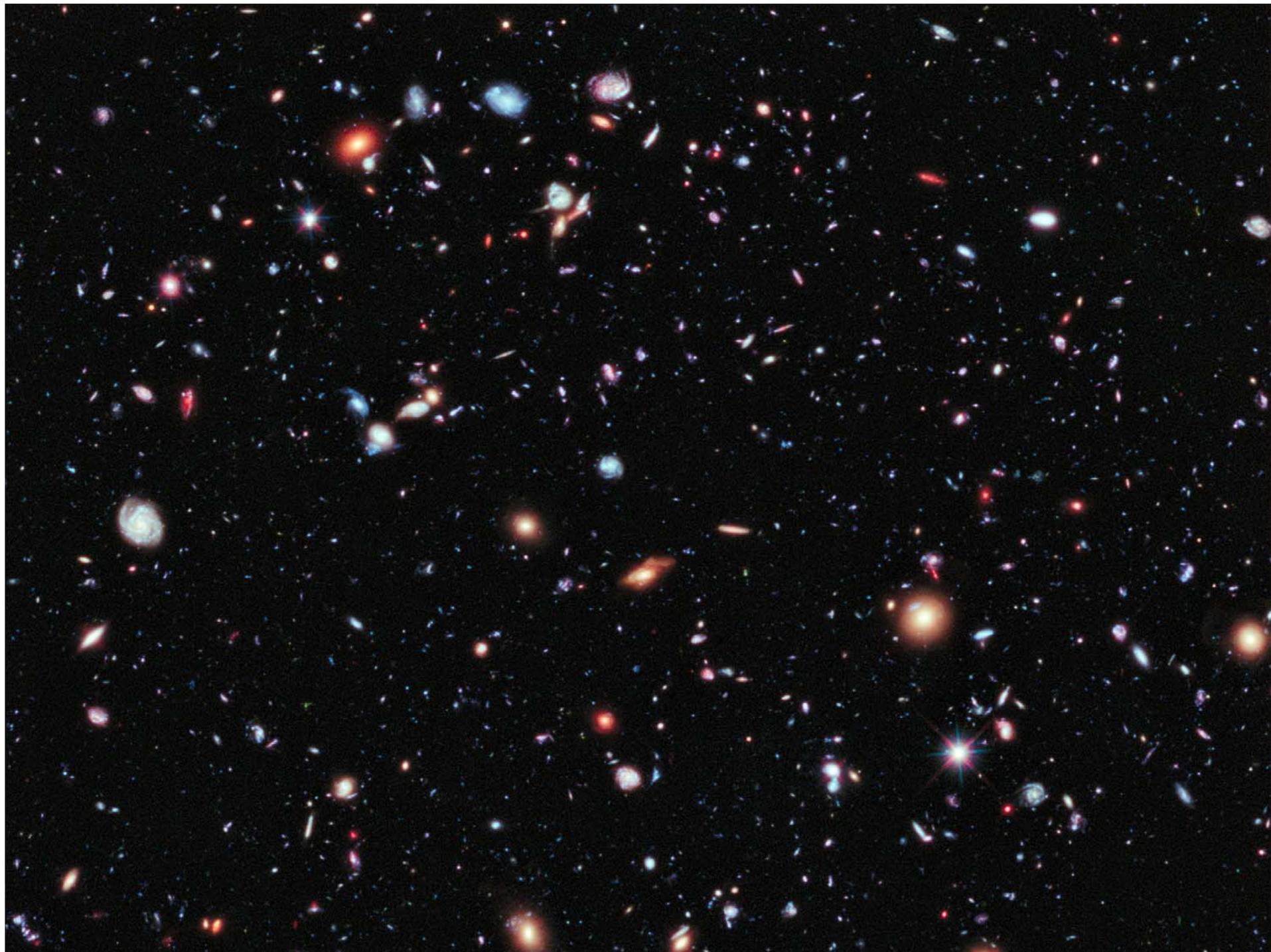
WIMPs & Supersymmetria

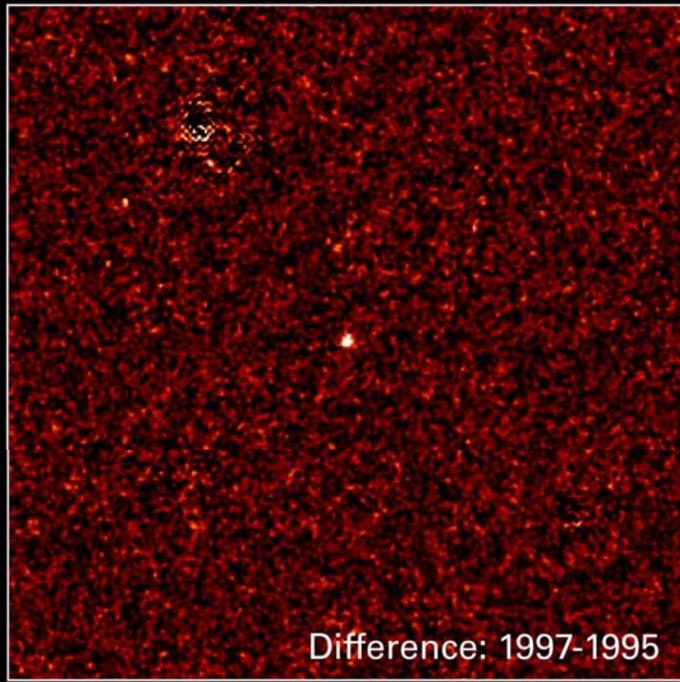
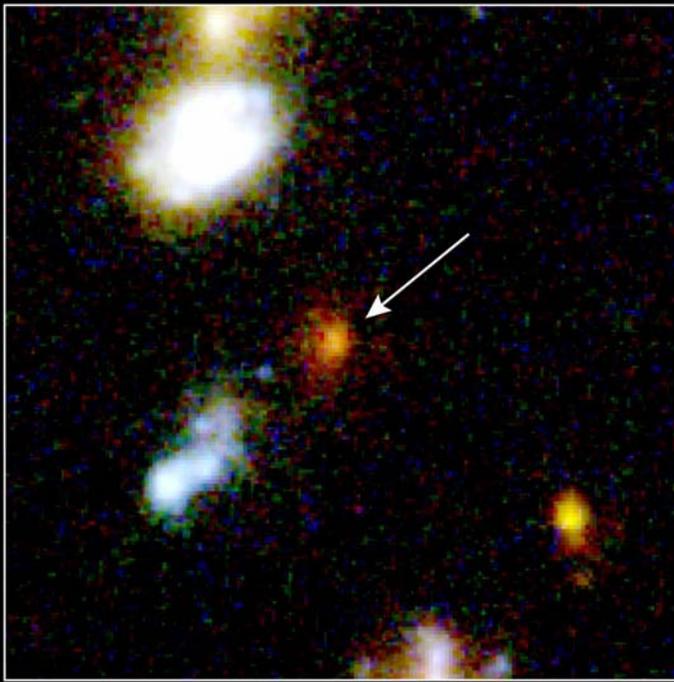
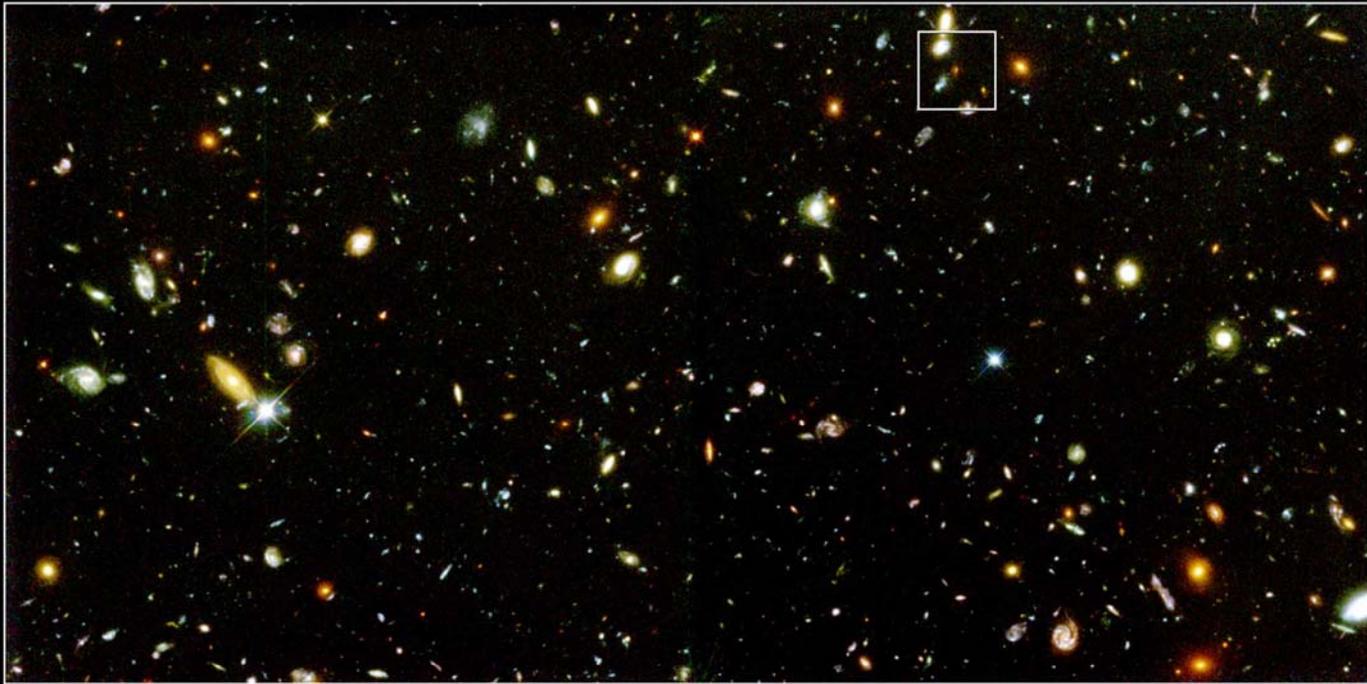


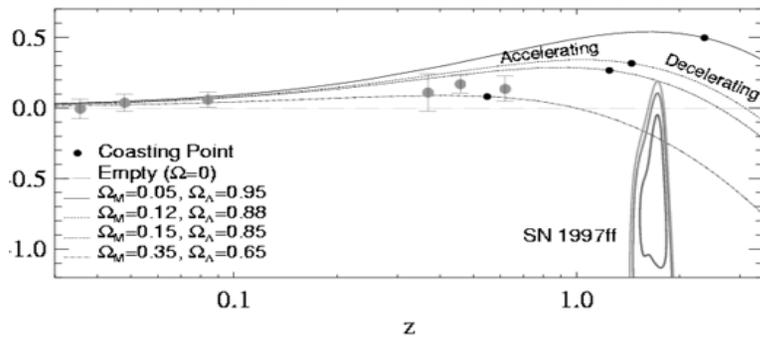




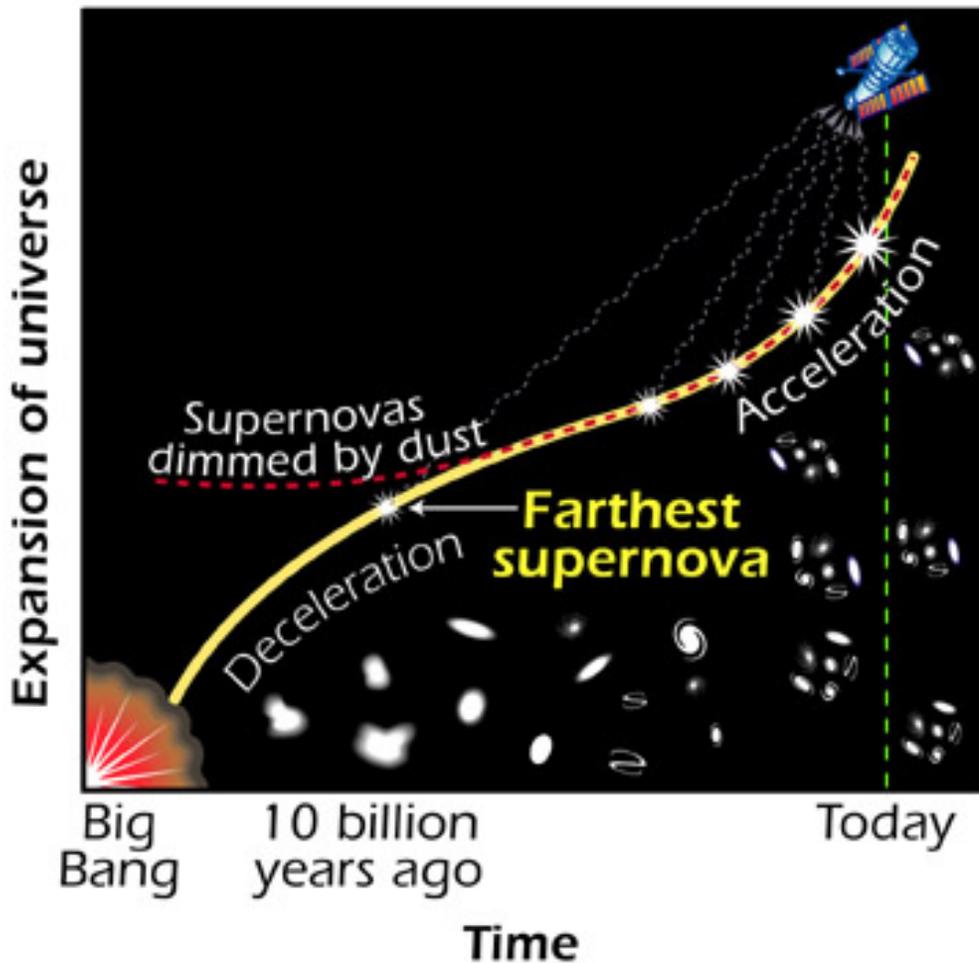








SN1997ff



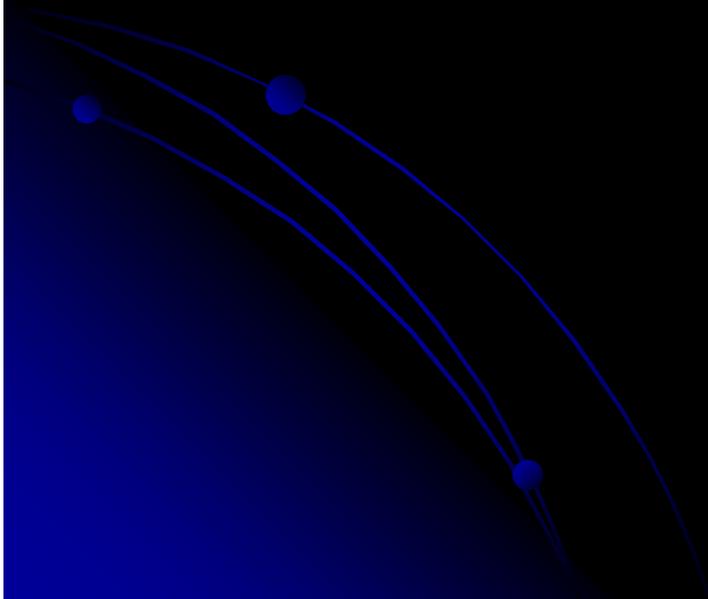
This graph plots the size of the universe over time as measured by Hubble telescope observations of exploding stars, called **supernovas**, at various distances from Earth. Hubble's study of exploding stars several billion light-years from Earth [white objects at far right of curve] set the stage for observations of more distant supernovas [white object at far left of curve].

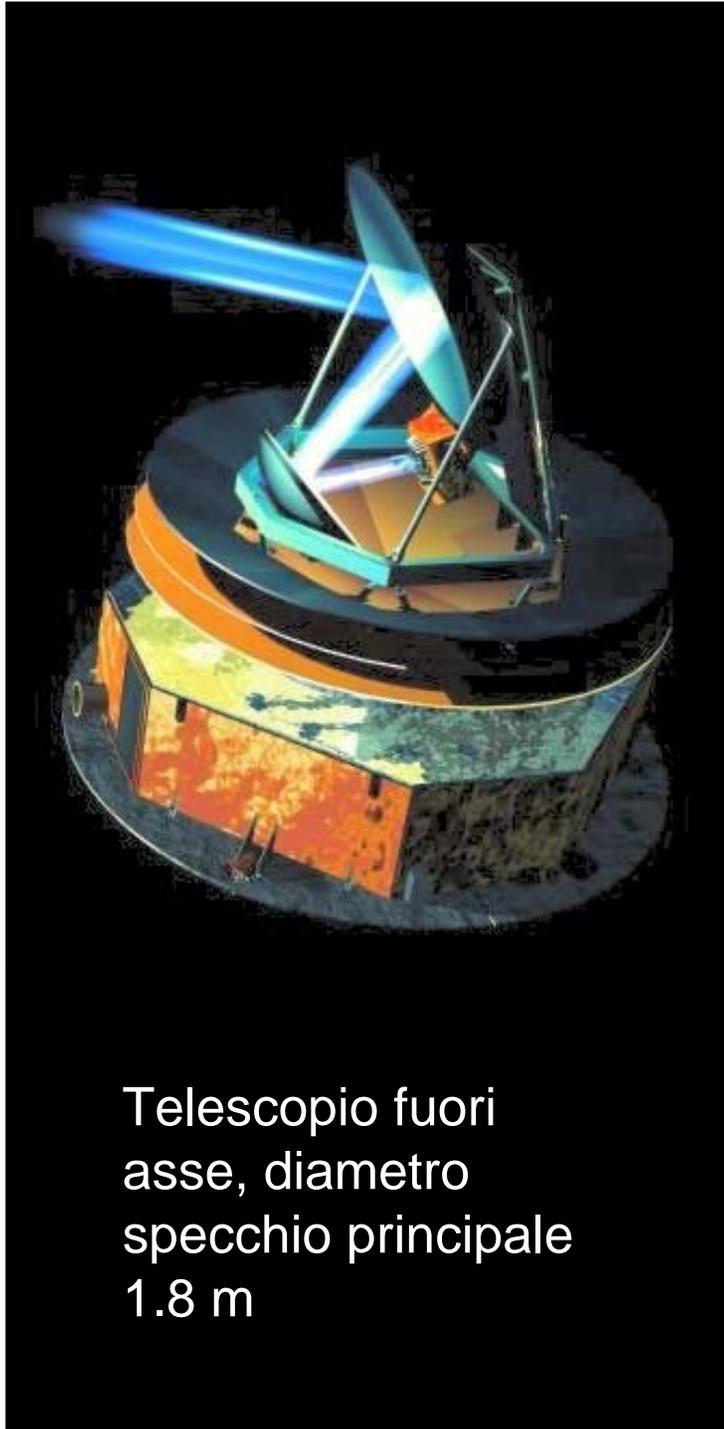
Supernovas are used to map the expansion of the universe — the rate at which galaxies are moving apart. Several exploding stars discovered four years ago provided evidence that the cosmos was accelerating. These objects looked dimmer than expected because they were hurtling away from Earth at faster speeds. The faraway supernova at far left, residing 10 billion light-years from Earth, appears brighter than astronomers predicted. This finding indicates that the supernova is so far away it existed at a time when the cosmos was slowing down.

If dust in space were making the supernovas appear dimmer, the expansion rate would have been plotted along the dotted line.

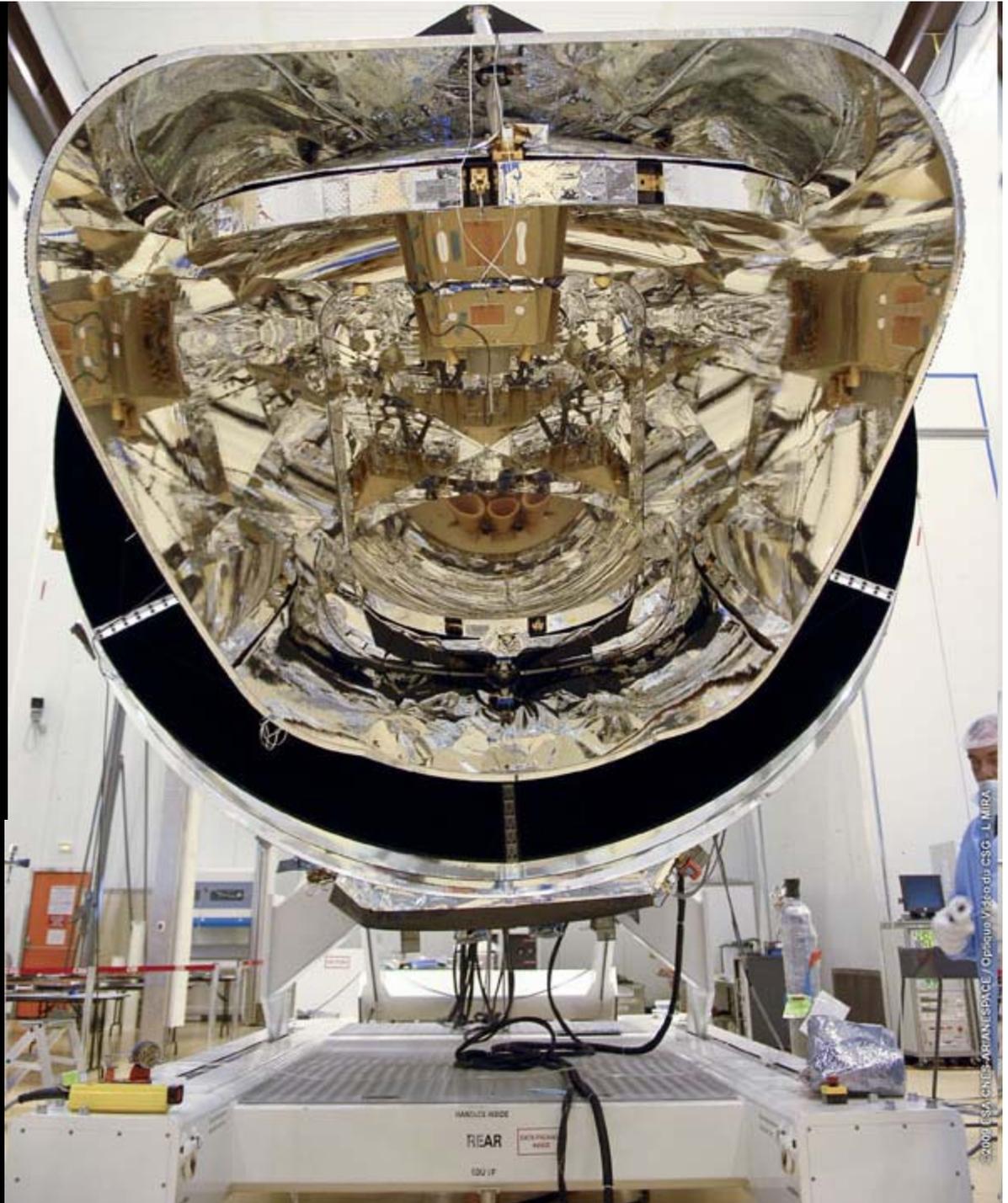
Dark energy

Energia oscura

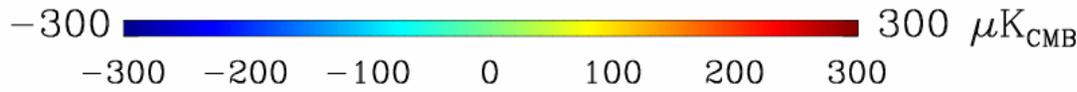




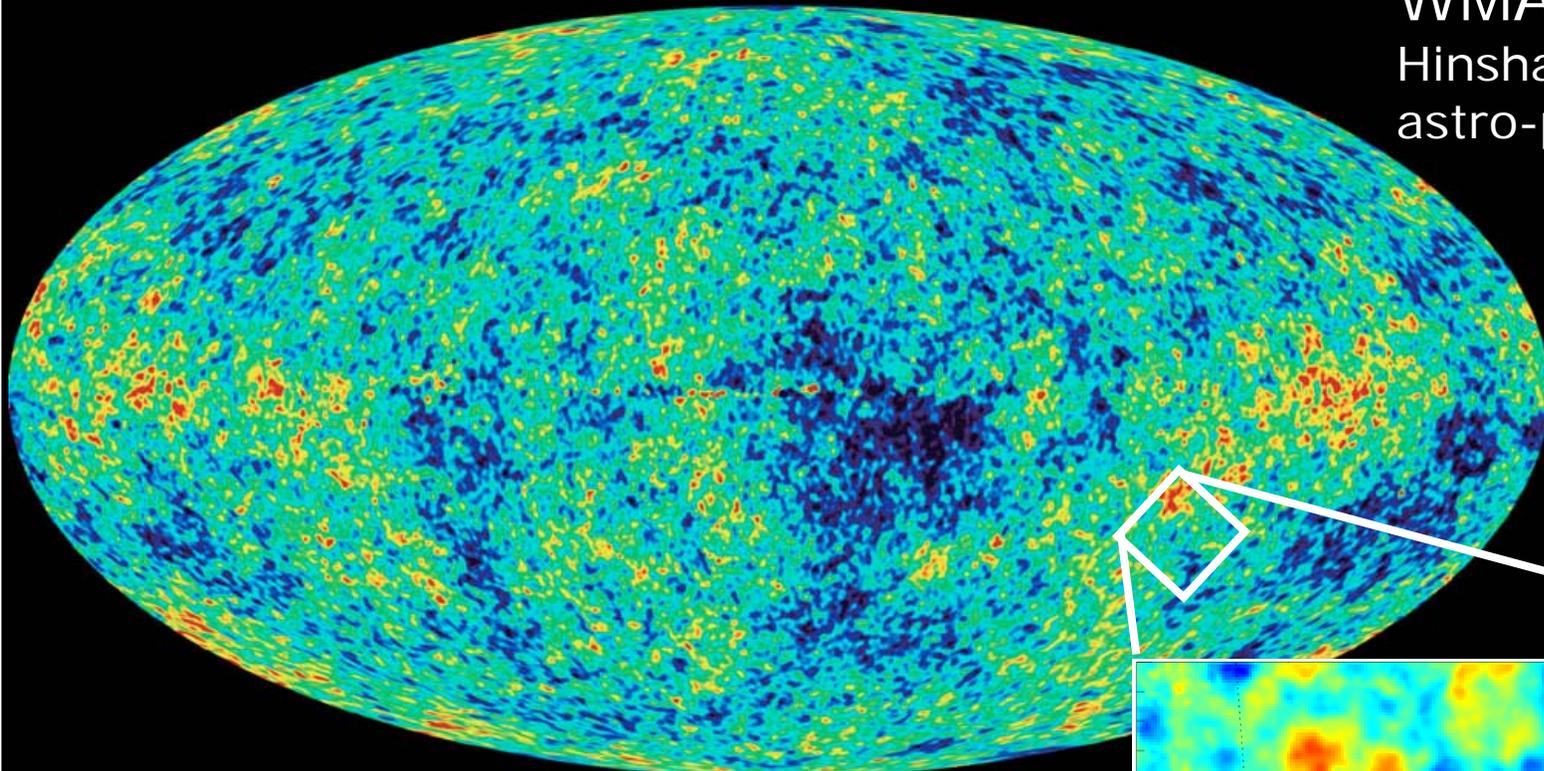
Telescopio fuori
asse, diametro
specchio principale
1.8 m



© 2009 NASA/CNES-ASTRIAN/SPACE / Opeplus V. Hoody CSG - L. MIRA

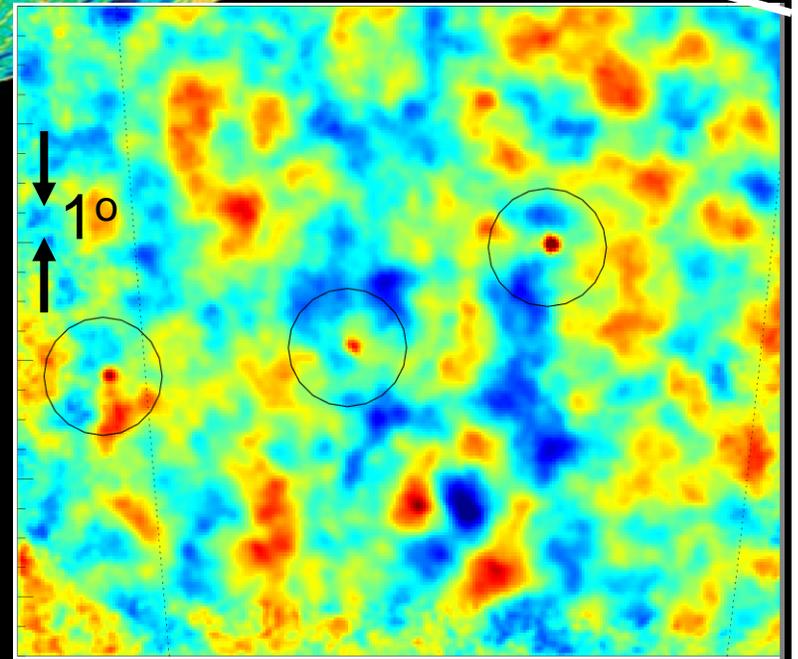


WMAP
Hinshaw et al. 2006
astro-ph/0603451

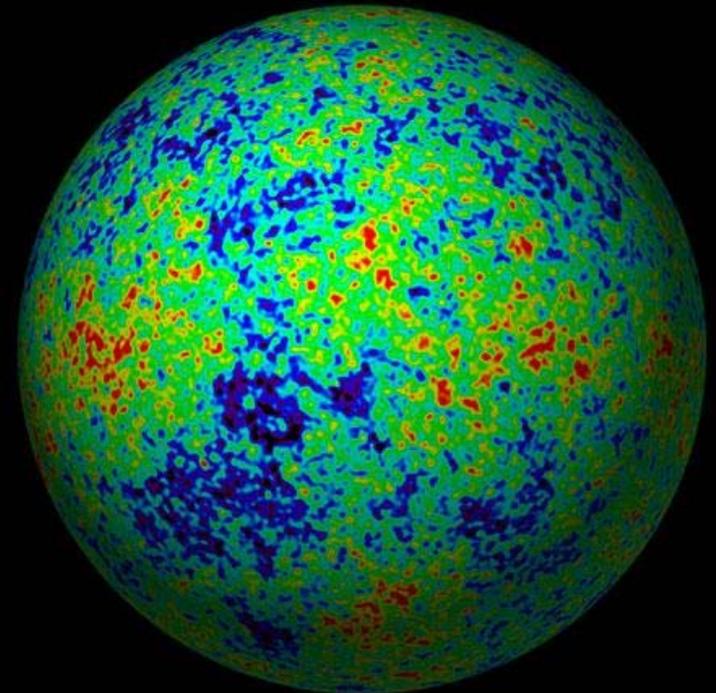
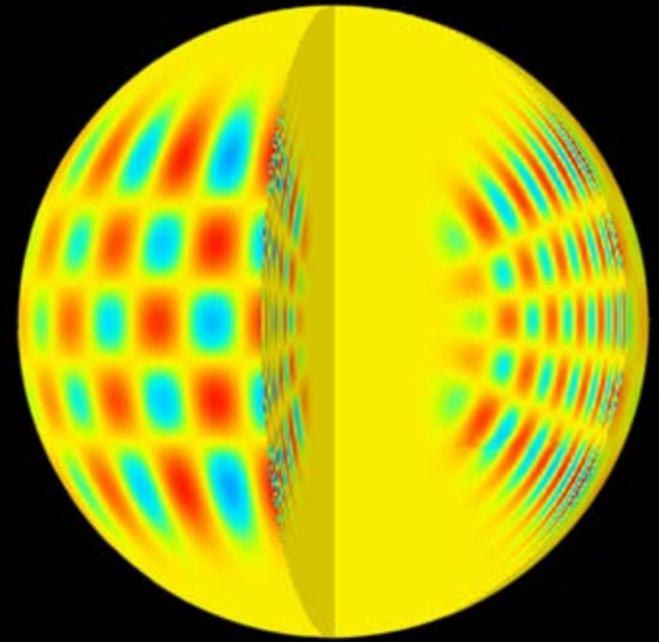


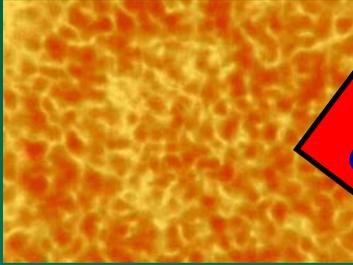
Le immagini più antiche
dell' Universo
($z=1088$, 13.7 miliardi di
anni fa)

BOOMERanG
Masi et al. 2005
astro-ph/0507509



- Cosmologia di precisione



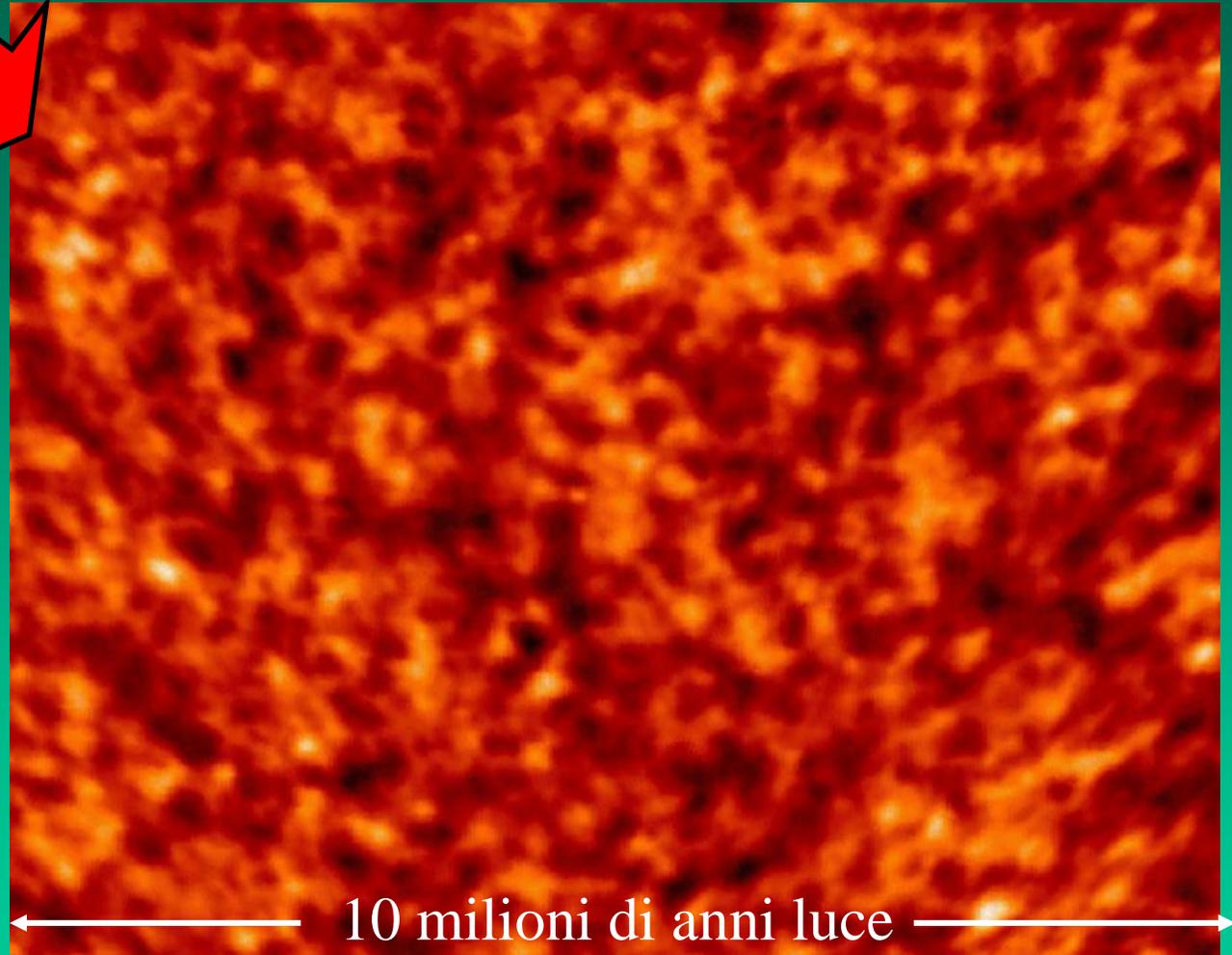


**Inflazione
Cosmica**

Dimensioni subatomiche
 $t=10^{-32}s$

Fluttuazioni quantistiche
del campo di energia
primordiale

Energie tipiche:
 10^{16} GeV
(100 milioni di miliardi
di miliardi di eV)

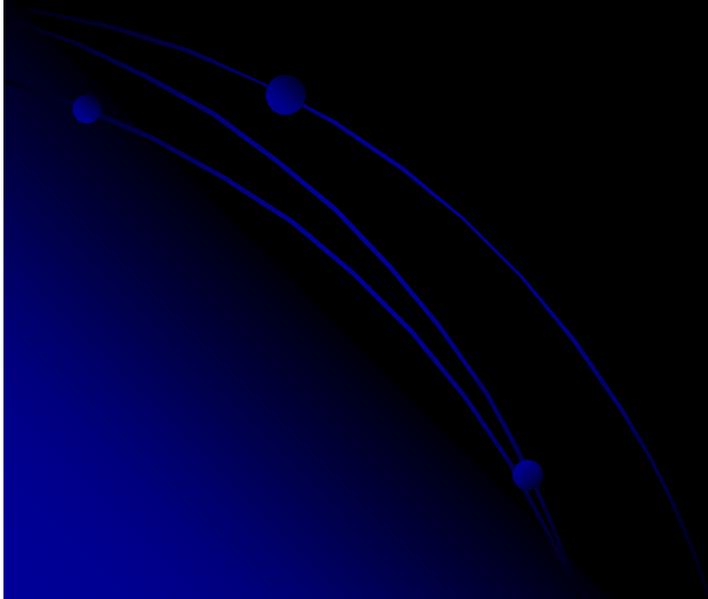


10 milioni di anni luce

$t=380000$ anni

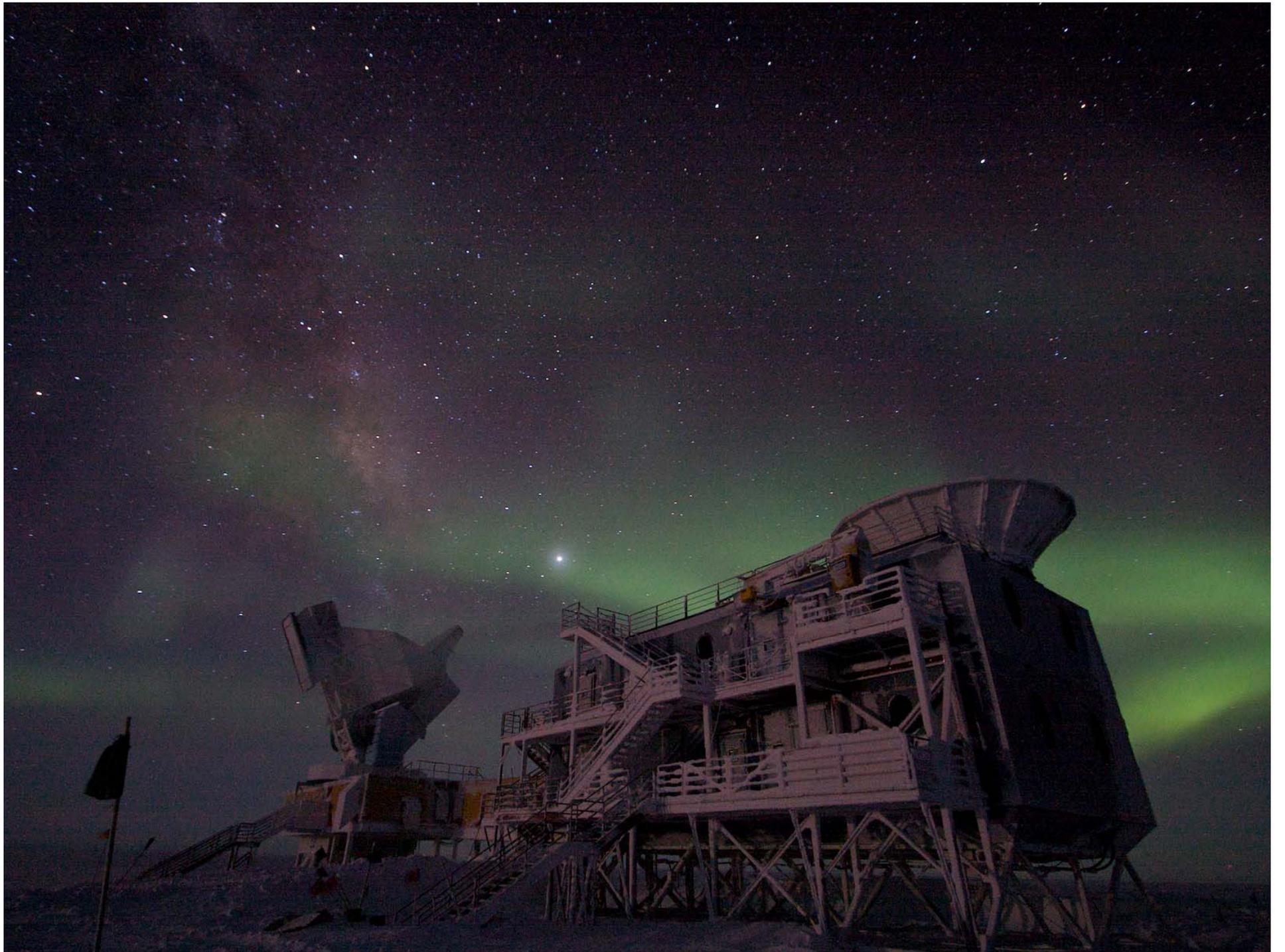
Fluttuazioni di densita'
illuminate dalla luce del fondo cosmico

Inflazione cosmica e fisica delle
energie ultra alte
 10^{16} GeV



Oggi, in Antartide...

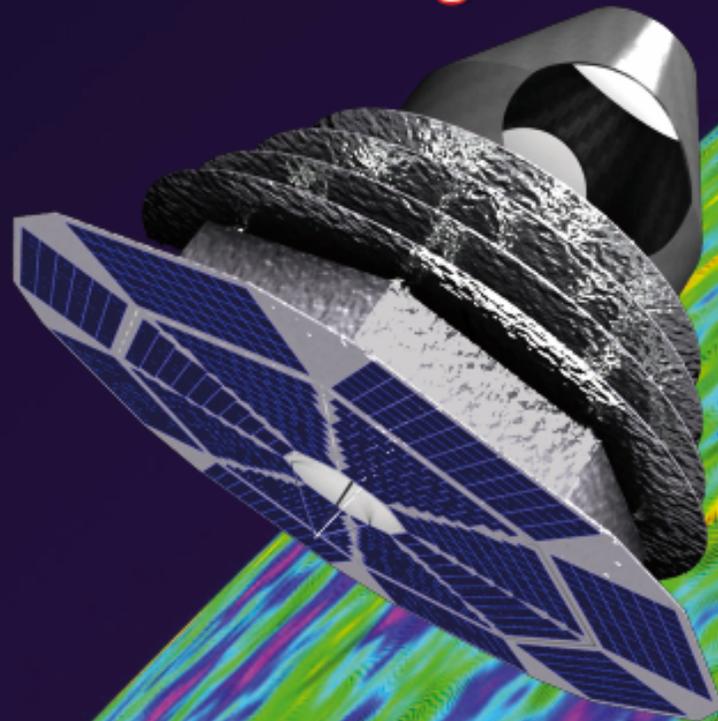




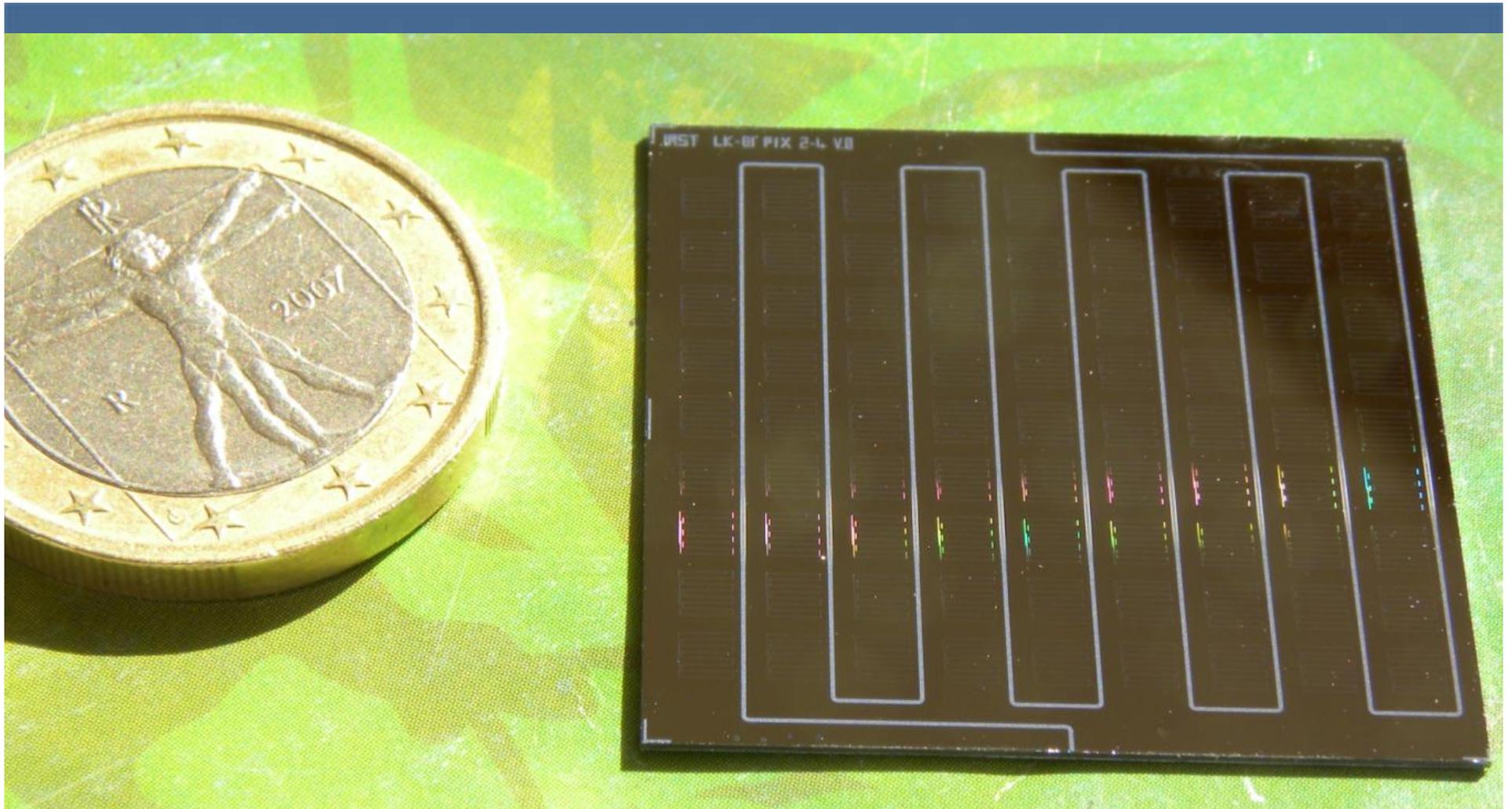
COrE

Cosmic ORigins Explorer

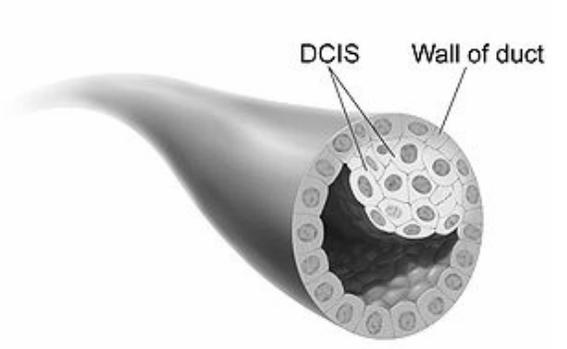
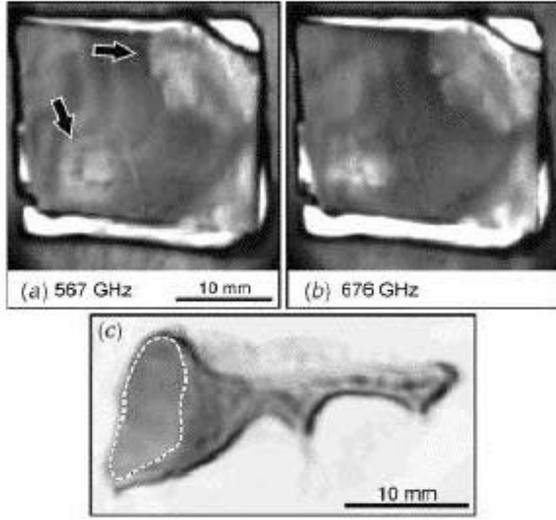
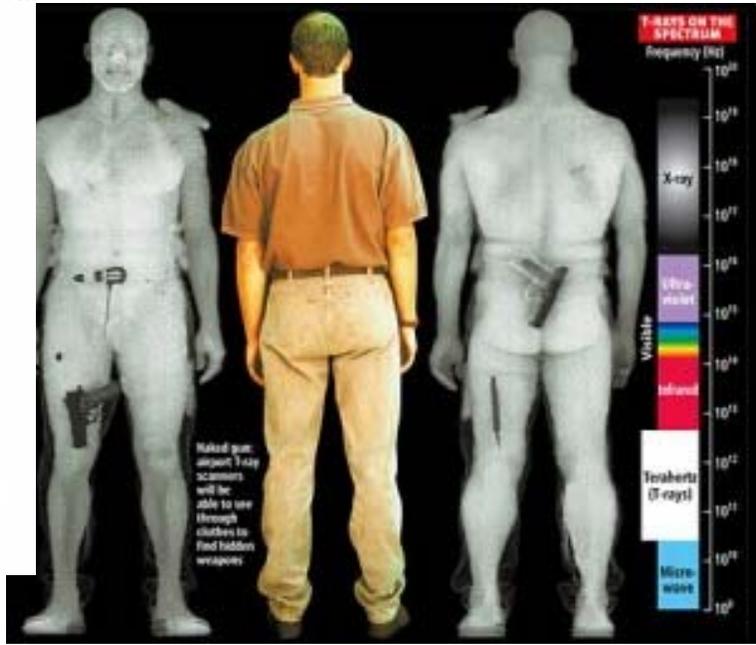
www.core-mission.org



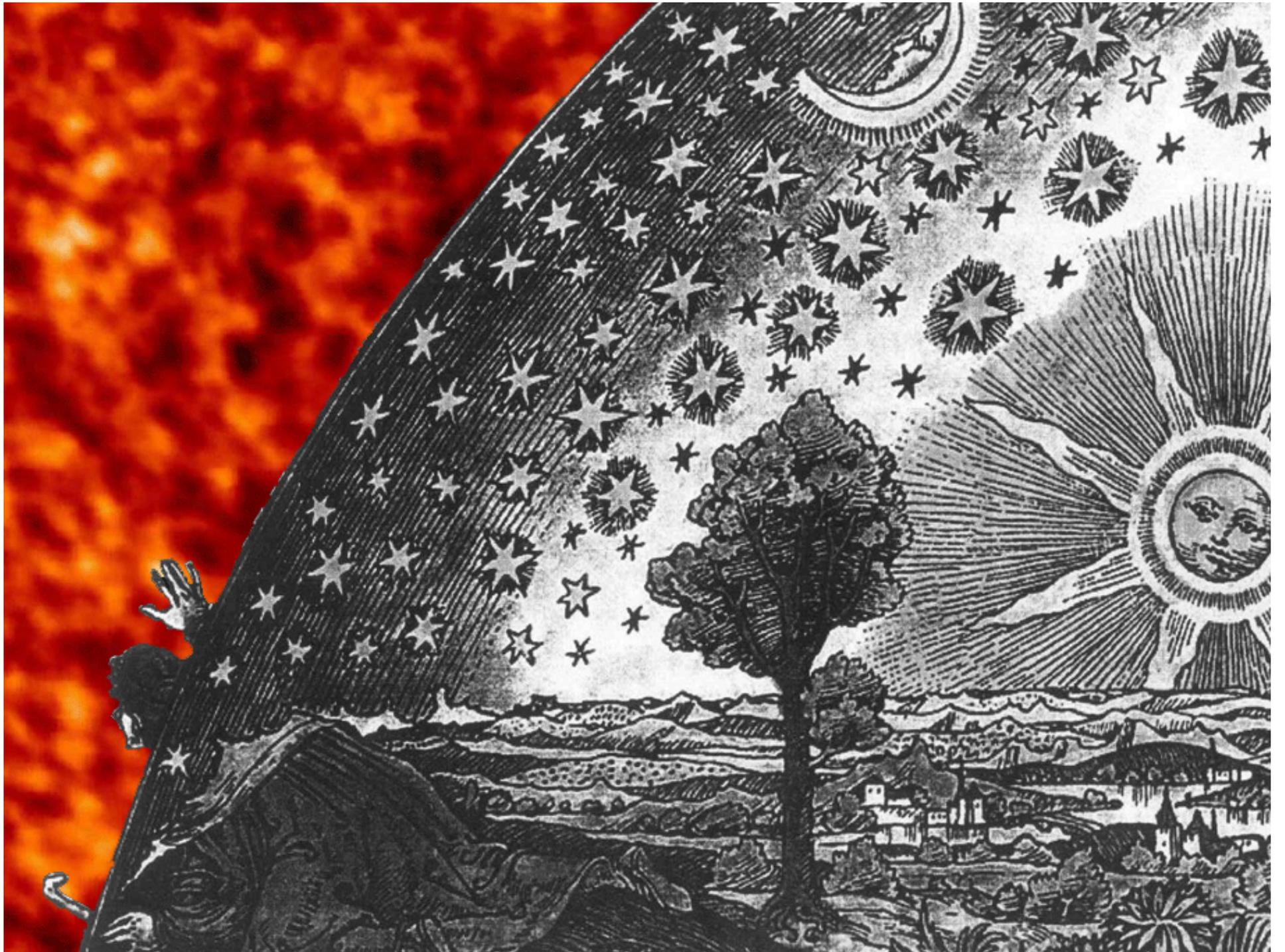
**A satellite mission for probing
cosmic origins, neutrinos masses and
the origin of stars and magnetic fields**



Array of 81 LKID
RIC (INFN gruppo V) collaboration
(Dip. Fisica La Sapienza, FBK Trento, Dip. Fis. Perugia)



National Cancer Institute





il Mulino

Farsi un'idea 178

Paolo de Bernardis

Osservare l'universo



...oltre le stelle, fino al Big Bang



il Mulino

Farsi un'idea 178

Paolo de Bernardis

Osservare l'universo



...oltre le stelle, fino al Big Bang