

Lezione Fermi 30

Luciano Maiani, AA 14-15

Guardando il Cosmo....

Motivo conduttore:

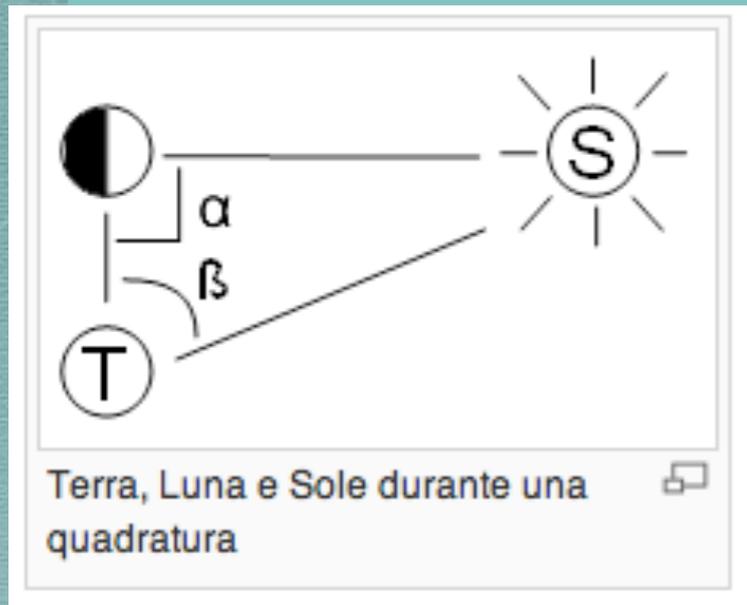
la nostra posizione nel Cosmo non e' speciale in alcun modo (Principio Copernicano)
le leggi della fisica che scopriamo in laboratorio valgono anche in parti remote del Cosmo e nel passato

Sommario

1. Primi passi
2. La scala delle distanze e la recessione delle Galassie
3. Le leggi del moto degli astri
4. Materia oscura ?
5. Vita delle stelle
6. Quello che non c'e' nella foto
7. Nuclei nelle stelle
8. Astro-Neutrini e Geo-Neutrini
9. Come muoiono le stelle
10. Raggi cosmici
11. Il Cosmo in grande
12. Nucleosintesi primordiale
13. Legge di Hubble e oltre
14. Fluttuazioni primordiali
15. Inflazione cosmica
16. Frontiere

1. PRIMI PASSI

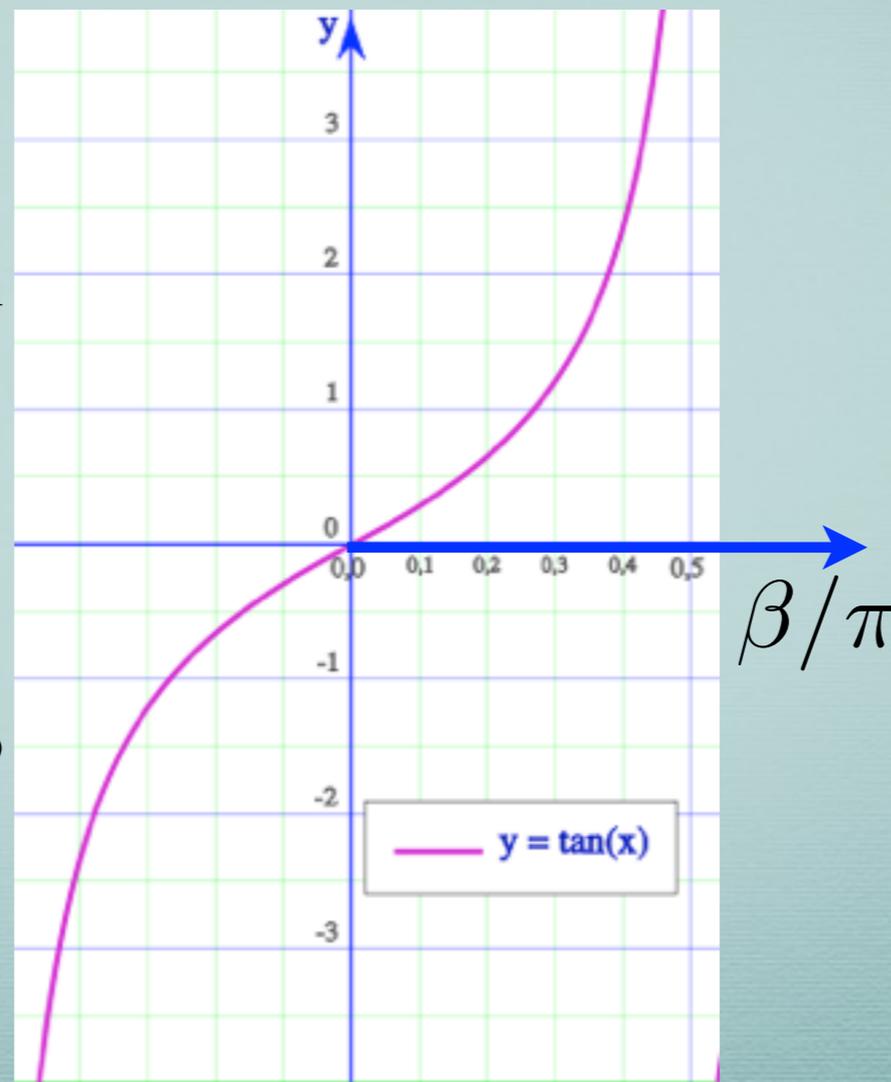
2. Aristarco di Samo scopre il sistema Eliocentrico



- l'angolo alfa è retto, misurando beta si determina il rapporto tra i cateti, ovvero il rapporto delle distanze Terra-Luna e Luna Sole ~ Terra-Sole

- Aristarco stimò il rapporto tra le distanze del Sole e della Luna come compreso tra 18 e 20, mentre il rapporto tra le distanze medie è in realtà circa 400. Le stime di Aristarco sono correttamente dedotte dal valore da lui assunto per l'angolo Sole-Terra-Luna all'atto della quadratura, ma l'angolo era stato misurato con scarsa precisione.

Aristarco di Samo (Samo, 310 a.C. circa – 230 a.C. circa)



Le magnitudo visuale

- In base alla luminosità, Ipparco e poi Tolomeo, divide le stelle in sei classi: primo, secondo, ...sesto grado, le stelle un grado sono 2 volte più brillanti di quelle del grado seguente

- $b_n = 2 b_{(n+1)} \rightarrow b_n = b_1(1/2)^{n-1} \rightarrow$

- $n-1 = -\log(b_n / b_1) / \log(2) \approx -3.3 \log(b_n / b_1)$

- la classe è quindi legata al **logaritmo** della brillantezza (apparente), cresce al suo diminuire

- 1856, Norman Robert Pogson, definisce “magnitudo visuale” da 1 a 6, stipulando che

- $b(6)/b(1) = (1/100) = r^{m(6)-m(1)} \rightarrow r = (1/100)^{1/5} \approx 1/2.51$

- $m(b) - m(b_1) = -\log(b/b_1) \cdot 5 / \log(100) = -2.5 \log(b/b_1)$

- se prendiamo come riferimento la brillantezza di una stella fissata, che è stata per qualche tempo la stella Vega (alfa Lyrae), cui attribuiamo magnitudo = 0 abbiamo:

- $m = -2.5 \log(b/b_{\text{Vega}})$



se il cielo fosse un tappeto stellato...



SS. Quattro Coronati, Roma: Il Giudizio Universale

- la magnitudo apparente sarebbe tutto
- ma in un Universo tridimensionale la magnitudo apparente non da' una misura "intrinseca" della luminosita'
- il Sole non e' la stella piu' luminosa del cielo
- ma solo la piu' vicina



3. Magnitudo assoluta

$$b = \frac{L}{4\pi D^2}, [b] = \text{energia} \times \text{cm}^{-2} \text{sec}^{-1}, [L] = \text{energia} \times \text{sec}^{-1}$$

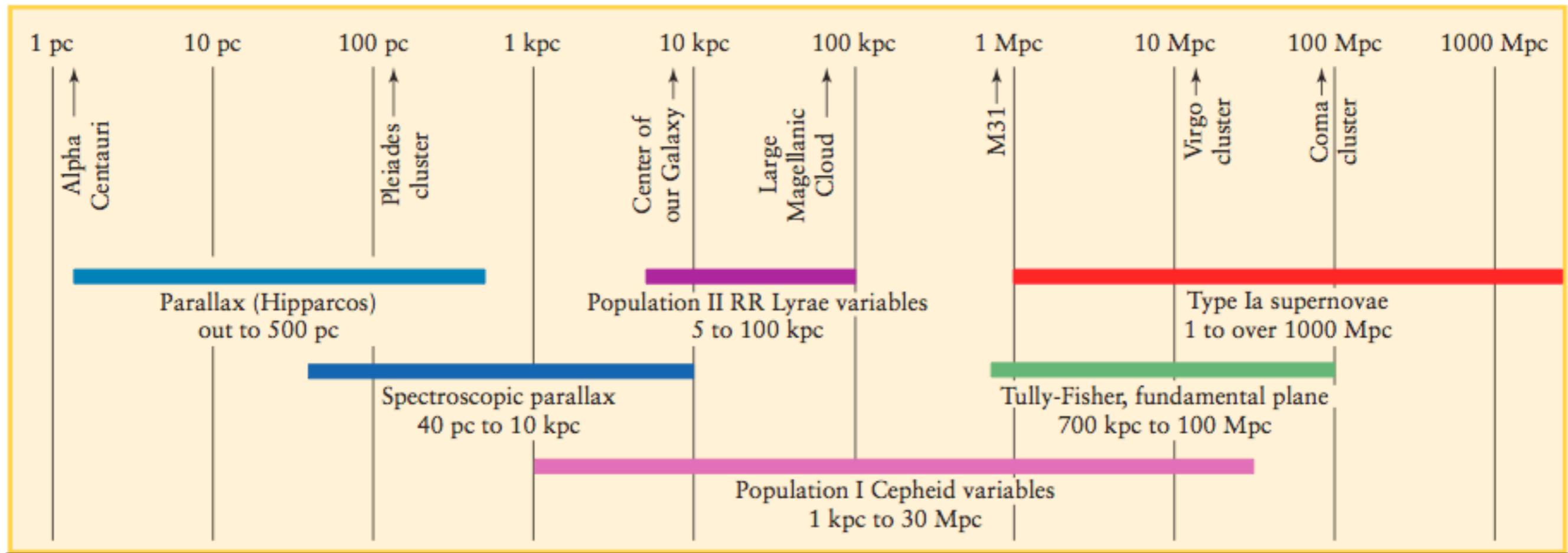
- per classificare le stelle in modo “intrinseco” serve una misura di L
- se conosciamo la distanza D (vedremo poi come si fa) possiamo definire un magnitudo assoluta, M, come la magnitudo visuale che vedremmo se la stella fosse ad una distanza di 10 parsec da noi
 - 1 parsec ≈ 3.26 anni luce $\approx 206 \cdot 10^3$ UA, 1 UA = distanza Terra-Sole
- quindi dobbiamo riscalarare la brillantezza apparente:
 - $b \rightarrow b \cdot D^2 / (10 \text{ pc})^2$, ovvero: $M = m - 2.5 \cdot 2 \log(D / (10 \text{ pc})) = m + \text{distance modulus}$
 - Sole, D=1 UA: $M = -26,74 + 5(\log(206) + 4) = 4.83$
 - Sirio, D=9 anni luce: $M = -1.45 - 5 \log(0.27) = 1.34$
 - $L_{\text{Sirio}} / L_{\text{Sole}} = 10^{+(4.83-1.34)/2.5} \approx 25$

2. LA SCALA DELLE DISTANZE LA RECESSIONE DELLE GALASSIE

7. Vista d'insieme

- ne parleremo dopo le vacanze....

1 parsec ≈ 3.26 anni luce $\approx 206 \cdot 10^3$ UA, 1 UA = distanza Terra-Sole



8. Le dimensioni delle cose nel Cosmo

- galassia: dimensioni lineari ~ 50 kpc, $M \sim (0.5-1) 10^{12} M_{\odot}$
- distanza intergalattica ~ 1 Mpc, es. la distanza di Andromeda (M31)
- cluster di galassie: il piu' vicino e' il Virgo cluster
 - 2000 galassie
 - $d \sim 10$ Mpc, diametro ~ 5 Mpc
- le galassie hanno velocita' particolari (peculiar velocities), ad es. il nostro gruppo locale si muove verso il Virgo cluster per attrazione gravitazionale,
- ***Il moto di Hubble.*** Su distanze maggiori, le galassie mostrano un moto coerente di allontanamento, il moto di Hubble, segnalato dallo spostamento verso il rosso delle righe spettrali: $v = H_0 d$
- $H_0 \sim 70$ km/sec /Mpc
- $1/H_0 =$ tempo di Hubble ~ 14 Miliardi di anni

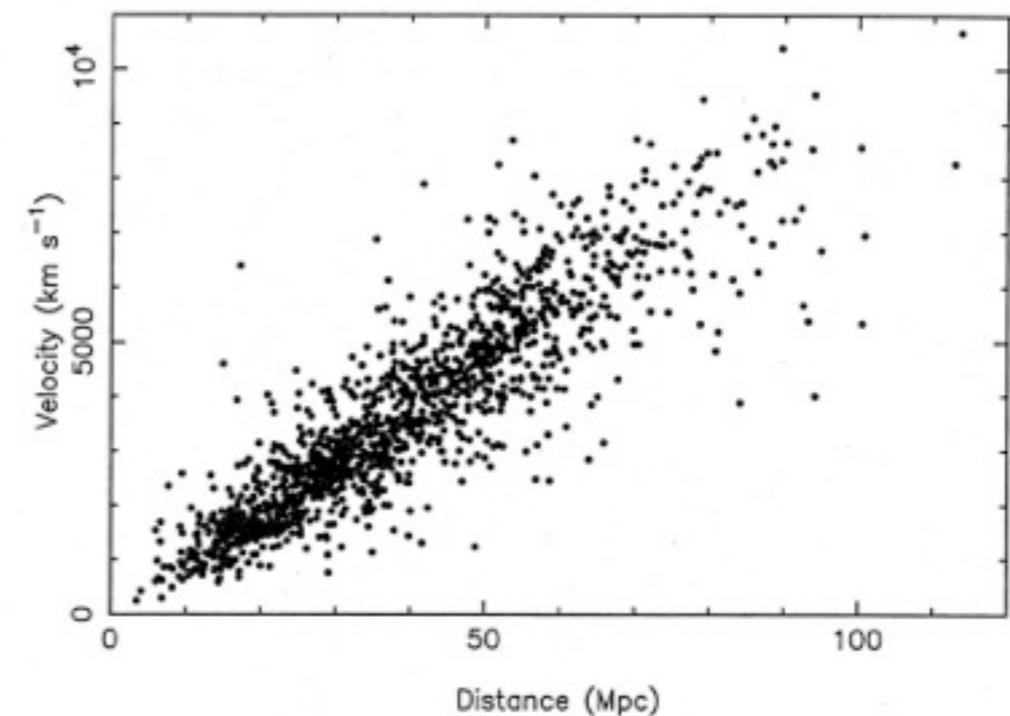
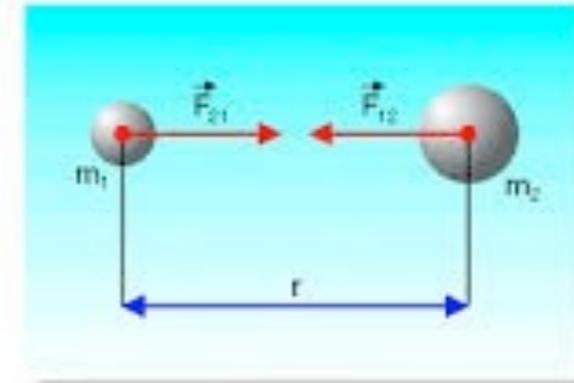


Figure 2.5 A plot of velocity versus estimated distance for a set of 1355 galaxies. A straight-line relation implies Hubble's law. The considerable scatter is due to observational uncertainties and random galaxy motions, but the best-fit line accurately gives Hubble's law. [The x-axis scale assumes a particular value of H_0 .]

$$\begin{aligned} \text{Mpc/km} &= (3.09 \cdot 10^{16} \text{ m} \cdot 10^6) / (10^3 \text{ m}) \sim 3 \cdot 10^{19}; \\ H_0^{-1} &\sim 1/70 \text{ sec} \cdot \text{Mpc/km} \sim 1.4 \cdot 10^{-2} \cdot 3 \cdot 10^{19} / (3 \cdot 10^7) \text{ yrs} = \\ &= 14 \cdot 10^9 \text{ yrs} \end{aligned}$$

3. LE LEGGI DEL MOTO DEGLI ASTR

3. Isaac Newton e la legge della Gravitazione Universale



$$F = G \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

$$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$$



$$F = \text{massa} \times \text{Accel}$$

$$\text{Accel}_{\text{mela}} = G \frac{M_T}{R_T^2} = g = 9.79 \text{ cm/s}^2 \quad (R_T \sim 6400 \text{ km})$$

$$\text{Accel}_{\text{Luna}} = G \frac{M_T}{R^2} = \text{Accel centrifuga} = \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 R \quad (T \sim 27,3 \text{ giorni})$$

- assumo moto circolare della Luna
- dalla prima equazione si ricava il valore numerico di GM_T
- la seconda equazione da' la 3^a legge di Keplero, valida per i corpi orbitanti intorno alla Terra:

$$\frac{R^3}{T^2} = G \frac{M_T}{(2\pi)^2} = \frac{gR_T^2}{(2\pi)^2}$$

- sostituendo i valori numerici di g , R_T e del mese lunare, si trova la distanza Terra-Luna: $R \approx 383.000 \text{ km}$



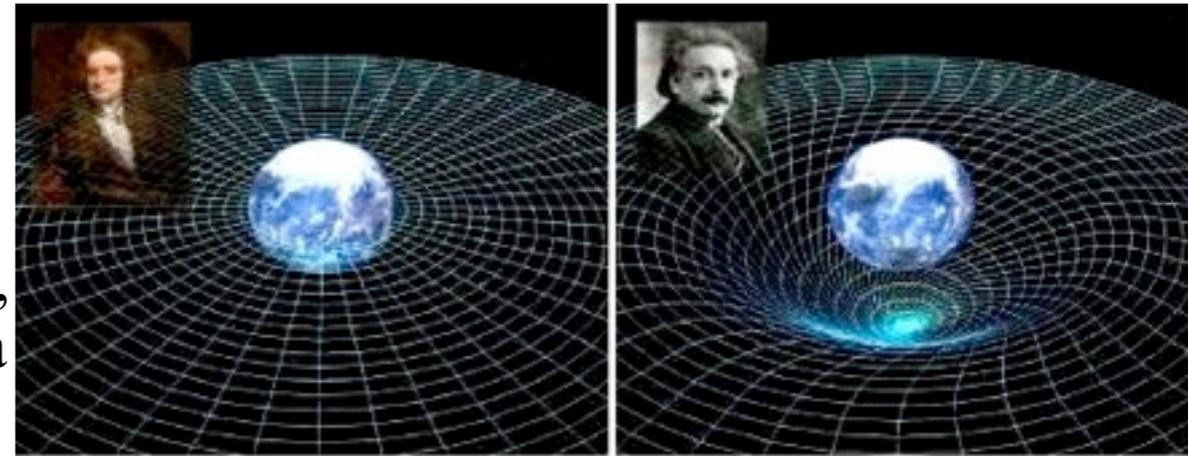
Luna (Terra I)

Satellite di Terra
Parametri orbitali
(all'epoca J2000)

Semiassse maggiore	384 400 km
Perigeo	363 104 km
Apogeo	405 696 km

5. Le equazioni di Einstein

- Newton attribuiva la azioni gravitazionali ad una Forza tra corpi presente in uno spazio di geometria fissata
- Le equazioni di Einstein, invece, collegano la geometria dello spazio tempo (il tensore di Riemann e la curvatura, il primo membro dell'equazione) al contenuto di energia e momento dello spazio stesso (il tensore energia-impulso a secondo membro, G e' la costante di Newton).
- Le modifiche dello spazio tempo incurvano le traiettorie di pianeti ed i raggi di luce, nei dintorni del Sole.



Newton's fixed space

Einstein's flexible space-time

A. D. 1915:
$$R_{\mu\nu} - g_{\mu\nu}R = \frac{8\pi G}{c^2} \Theta_{\mu\nu}$$

- Lo stesso Einstein, negli anni successivi, applico' le sue equazioni all'Universo in grande
- Tuttavia, Einstein pensava ad un Universo statico e si accorse che le sue equazioni non ammettevano una tale soluzione
- l'evoluzione dell'Universo, supponendo che, ad un dato momento, esso sia in uno stato di espansione, e' come il moto di un sasso lanciato in verticale. L'attrazione gravitazionale rallenta la salita e puo' portare a tre casi:
 - velocita' inferiore alla velocita' di fuga, il sasso dopo un certo tempo ricade
 - velocita' pari alla velocita' di fuga: il sasso continua a salire e arriva all'infinito con velocita' zero
 - velocita' superiore alla velocita' di fuga: il sasso esce per sempre dall'attrazione della terra
- in ogni caso, non *c'e' una soluzione in cui il sasso si ferma* in uno stato di equilibrio!!!
- Einstein si accorse che si poteva estendere la sua equazione (in un solo modo!), aggiungendo un termine di "repulsione cosmica" che avrebbe bilanciato l'attrazione gravitazionale:

A. D. 1917:
$$R_{\mu\nu} - g_{\mu\nu}R = \frac{8\pi G}{c^2} \Theta_{\mu\nu} - \Lambda g_{\mu\nu}$$

4. MATERIA OSCURA ?

Lezione Fermi 15

Luciano Maiani, AA 14-15

Materia Oscura 1

Sommario

There are more things in heaven
and earth, Horatio,
Than are dreamt of in your
philosophy.

- **Hamlet (1.5.167-8), Hamlet to
Horatio**

1. Fritz Zwicky scopre la materia oscura
2. Simulazioni numeriche
3. Curve di rotazione
4. MACHOs
5. Modified Newtonian Dynamics (MOND)
6. Gravitational lensing e materia oscura
7. Bullet Galaxy



VAN GOGH. STARRY NIGHT

Vera Cooper Rubin

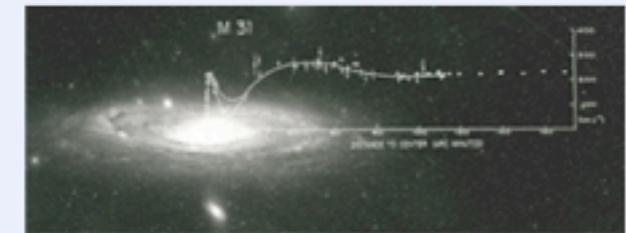
Vera C. Rubin

Department of Terrestrial Magnetism
Carnegie Institution of Washington
5241 Broad Branch Road, NW
Washington, DC 20015-1305
202.478.8861
(fax) 202.478.8821
rubin@dtm.ciw.edu



Vera Rubin, with DTM image tube spectrograph attached to the Kitt Peak 84-inch telescope, 1970.

This is an image of the Andromeda galaxy (M31), the companion spiral to our own, copied from the Palomar Sky Survey. The measured optical velocities from ionized gas clouds are indicated as open and filled circles. Velocities from neutral hydrogen radio observations are shown as filled triangles. Note that the velocities remain high far beyond the optical disk.



Vera Cooper Rubin at the Lowell Observatory.
Kent Ford has his back to us. © Bob Rubin.

Vera Cooper Rubin faced several obstacles on her way to a career in astronomy. A high school physics teacher tried to steer her away from science. A college admissions officer suggested that she avoid majoring in astronomy. Princeton University did not grant her request for a graduate catalogue in 1948, because its graduate astronomy program did not accept women until 27 years later. Senior astronomers took a scornful view of her first paper, presented in 1950, on galactic motions independent of the classic expansion of the universe. And when she and collaborator Kent Ford expanded that research in the 1970s, they met so much dissent that they shifted to another field.

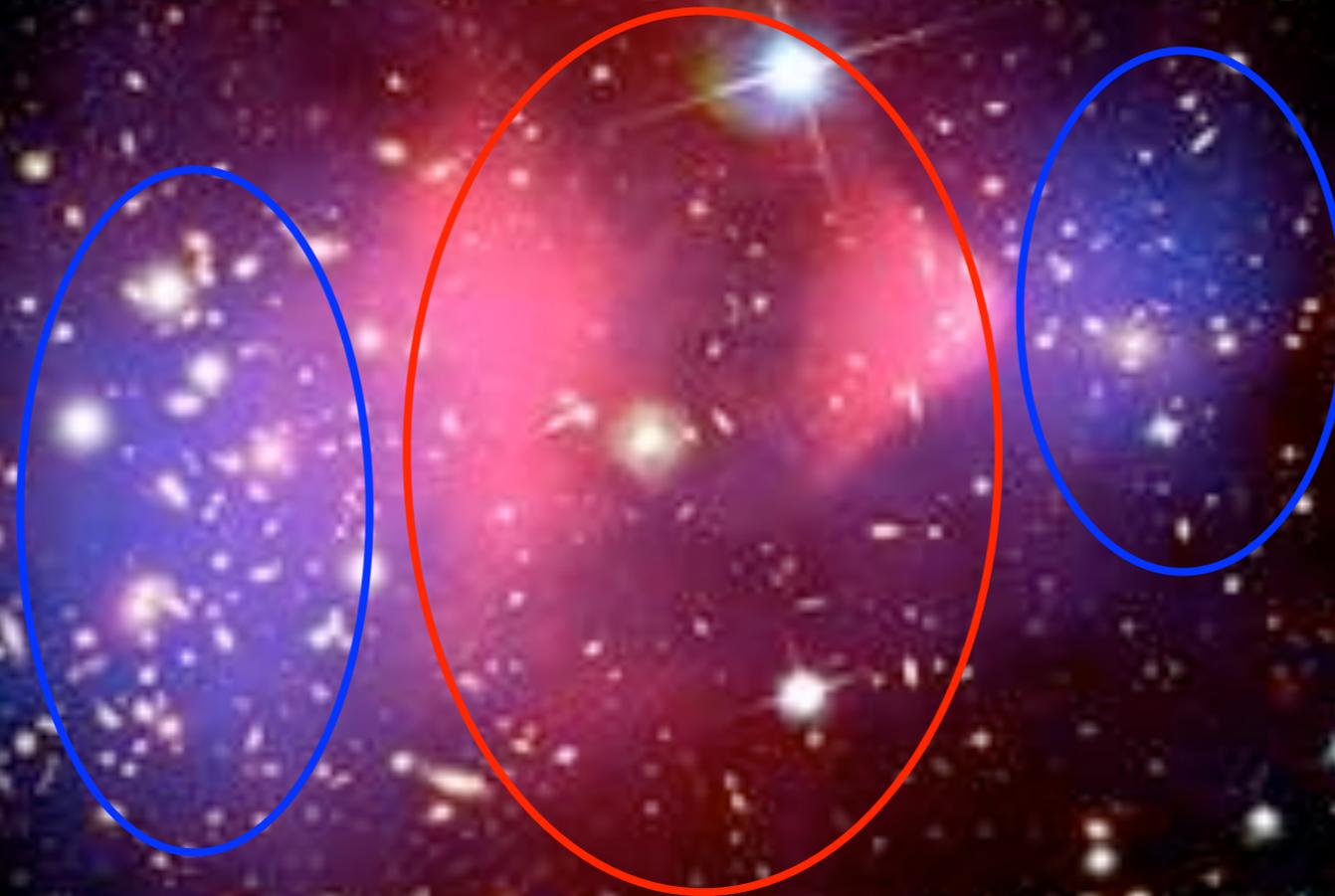
The shift proved providential. Rubin and Ford measured the rotational velocities of interstellar matter in orbit around the center of the nearby Andromeda galaxy. Their readings, confirmed by observations on other galaxies, led them to infer that the galaxies must contain dark matter. Confirmation of that fact sealed Rubin's reputation as an astronomer.

7. The Bullet Galaxy

I gas si bloccano

Le stelle passano

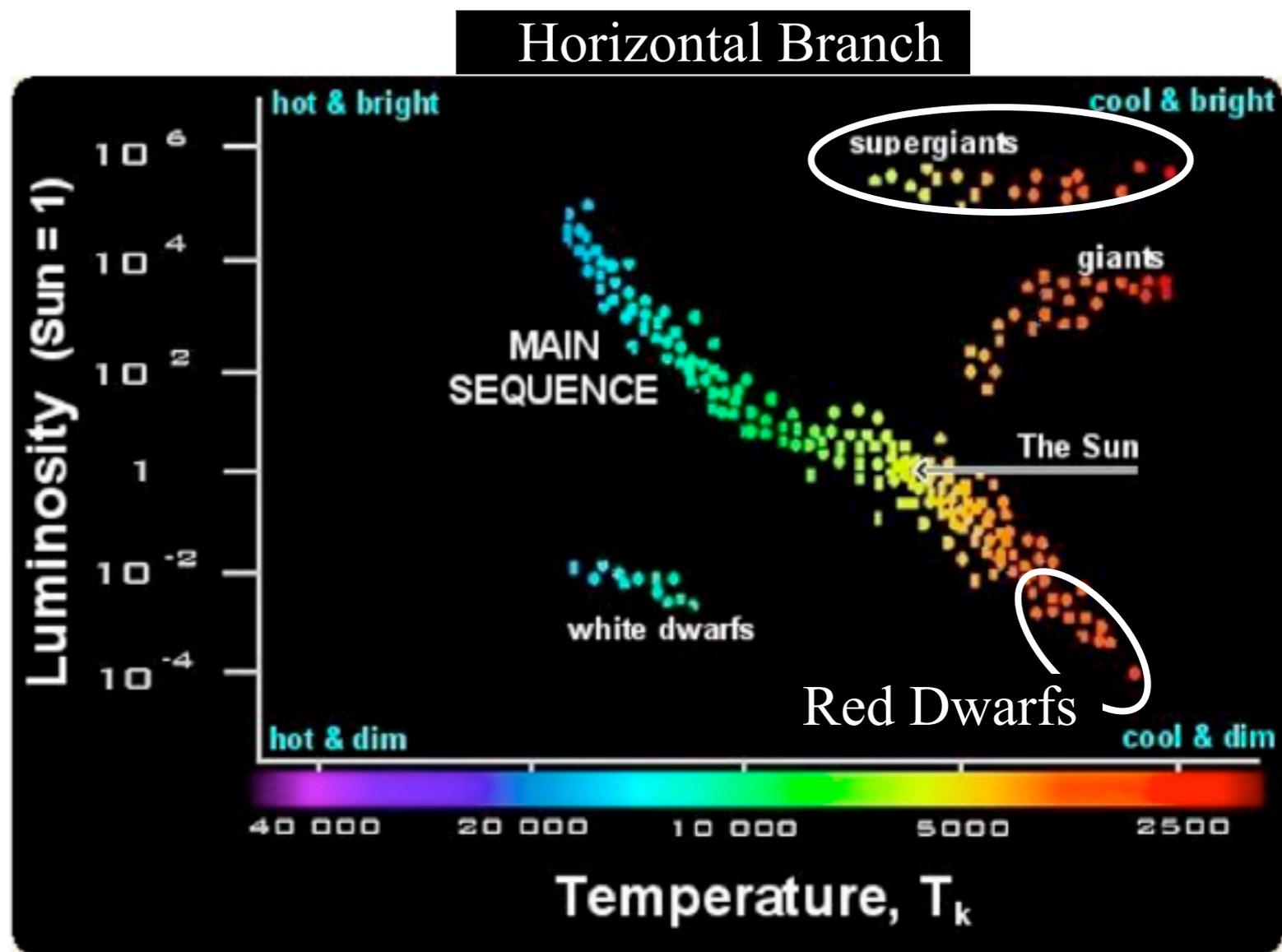
la materia oscura segue le stelle (come rivelato dalla curvatura della luce)



5. VITA DELLE STELLE

4. Il Diagramma di Hertzsprung-Russel

- Sequenza Principale: fusione di H nel core
- giganti rosse: fusione di H in una shell intorno al core di Elio
- supergiganti: flash di Elio, fusione di Elio nel core
- nane bianche: il core e' sostenuto dalla pressione di Fermi degli elettroni, non c'e' piu' fusione
- Main Sequence, masse tra 0.4 e 0.08 masse solari, classi K e M: nane rosse (Red Dwarfs). Bruciano H senza formare un core di Elio perche' la convezione mescola l'atmosfera
- stanno li' per miliardi di anni



The HR diagram is the "Rosetta Stone" of stellar astronomy. Simply put, it plots a star's luminosity against its surface temperature. As simple as that sounds, it is the key to understanding stellar evolution.

Una foto di famiglia!

Conclusione

- Il diagramma H-R è; uno strumento di indagine formidabile
- da' una impressionante foto di famiglia: la foto dell'evoluzione delle stelle in funzione della loro massa
- e costituisce un modo per ricostruire la distanza di una stella dal colore e lo spettro (parallasse spettroscopica)
- ma come in tutte le foto, ci sono anche *personaggi che non si vedono*. Tra questi
- oggetti piu' compatti delle nane bianche in cui possono finire le stelle con un core di massa superiore al limite di Chandrasekar:
 - stelle di neutroni, identificate inizialmente come sorgenti di radiosegnali periodici (pulsar)
 - buchi neri, se la massa supera il limite di Oppenheimer-Volkov
- dal lato opposto ci sono le “nane marroni” (Jupiters): oggetti che non sono riusciti a diventare delle stelle e che riveliamo come satelliti di stelle (esosatelliti)
-

6. QUELLO CHE NON C'E' NELLA FOTO

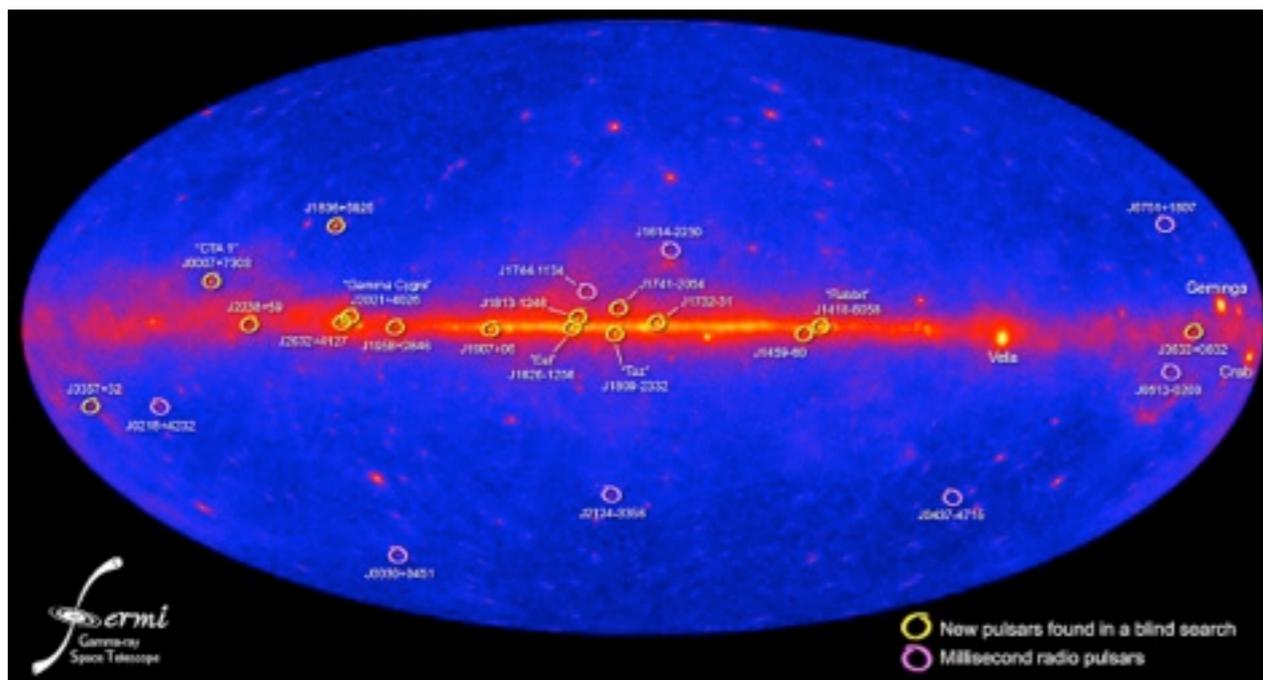
Le pulsar sono stelle di neutroni

- 28 Nov. 1968. Jocelyn Bell Burnell e Anthony Hewish (Premio Nobel 1974, insieme a M. Ryle) osservano radio segnali estremamente regolari separati da 1.33 secondi.
- La sorgente sconosciuta, la prima Pulsar osservata, viene indicata con LGM-1 (Little Green Men-1, il segnale di una società' extraterrestre?)
- la scoperta di una seconda sorgente in altra regione del cielo toglie ogni dubbio che sia un segnale artificiale.
- 1967 (un anno prima). Franco Pacini suggeriva che una stella di neutroni con un campo magnetico emetterebbe radiazione lungo l'asse dei poli e notava che l'energia verrebbe comunicata alla nebula residuo della supernova originale, ad es. la Crab Nebula
- Dopo la scoperta della pulsar, Thomas Gold ripropone il modello di stella di neutroni rotante e suggerisce che le pulsar siano oggetti di questo tipo.



Some neutron stars, like the one in the Crab Nebula supernova remnant, are called pulsars because astronomers detect regular radio pulses coming from them.

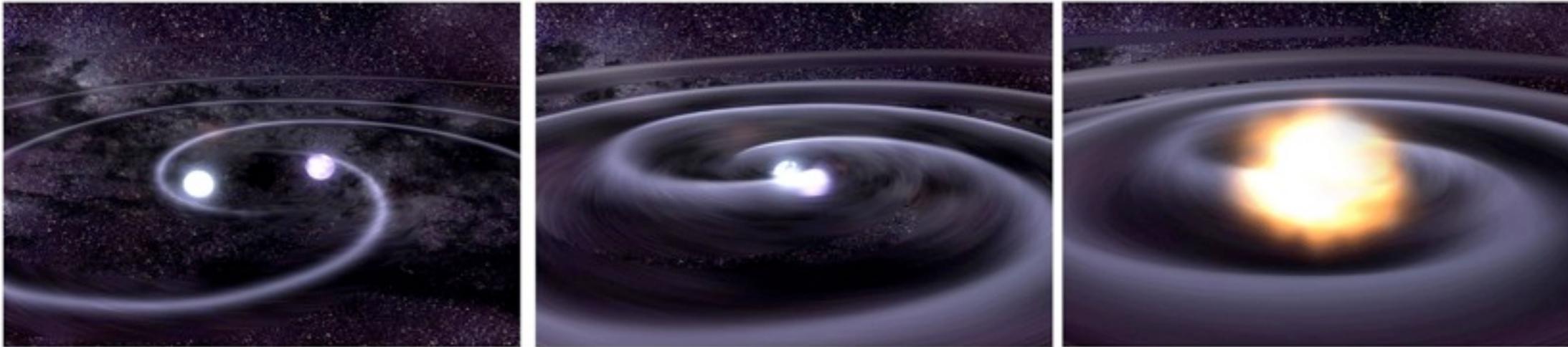
The 6-light-year-wide Crab Nebula was created by a star that blew up nearly 1000 years ago, leaving behind an unusual neutron star that may boast four magnetic poles (Image: NASA/ESA/J Hester/A Loll/ASU)



Gamma-ray pulsars detected by the Fermi Gamma-ray Space Telescope.

Coalescenza di un sistema binario di pulsar

- La perdita di energia per emission di onde gravitazionali da parte della pulsar binarie le porta ad essere sempre piu' vicine
- fino a coalescere in uno scontro epocale



- molto oro??



MAX-PLANCK-GESELLSCHAFT

Max-Planck-Institut
für Astrophysik



Suchen

Schnellzugriff

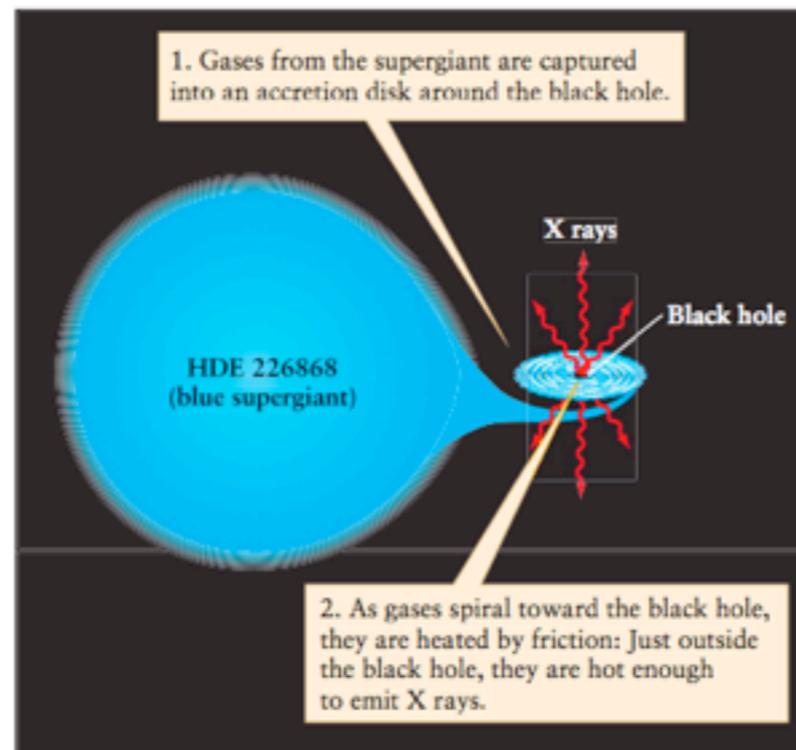
Cosmic Crashes Forging Gold

Cosmic Crashes Forging Gold

The cosmic site where the heaviest chemical elements such as lead or gold are formed is likely to be identified: Ejected matter from neutron stars merging in a violent collision provides ideal conditions. In detailed numerical simulations, scientists of the Max Planck Institute for Astrophysics (MPA) and affiliated to the Excellence Cluster Universe and of the Free University of Brussels (ULB) have verified that the relevant reactions of atomic nuclei do take place in this environment, producing the heaviest elements in the correct abundances.

Come osservare un buco nero vicino a noi?

- Meta' anni '60. Zeldovich-Novikov, in URSS, e Salpeter, USA, fanno una proposta interessante,
 - un sistema binario in cui si vede una sola stella nel visibile e la stella oscura ha una massa superiore a $3 M_{\odot}$ (stimata dai dati dell'orbita della stella visibile)
 - se l'altra e' una BH, dovrebbe catturare materia dal gas interstellare
 - la materia forma un'onda di shock e per collisione emette raggi X
- conclusione: cercare un sistema binario con una stella che emette nel visibile e l'altra nei raggi X.
- Negli anni '70, H. Friedmann (US Naval Research Laboratory) e B. Rossi e R. Giacconi sviluppano i rivelatori per un'astronomia a raggi X
- Giacconi (Premio Nobel 2002) scopre piu' di 300 sorgenti X, con il satellite UNHURU, tra cui Cygnus X-1, che risponde a tutti i requisiti!!



(a) A schematic diagram of Cygnus X-1



(b) An artist's impression of Cygnus X-1

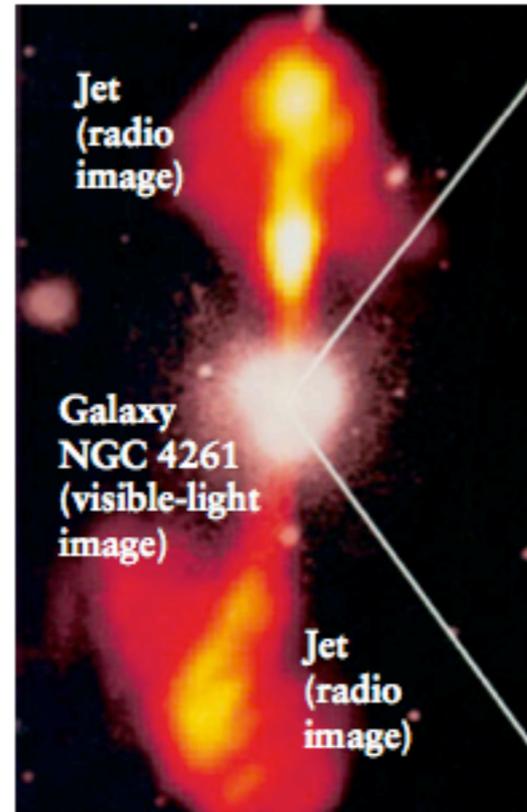


Figure 22-11
The Cygnus X-1 System (a) The larger member of the Cygnus X-1 system is a B0 supergiant of about $30 M_{\odot}$. The other, unseen member of the system has a mass of at least $7 M_{\odot}$ and is probably a black hole. (b) This illustration shows how the Cygnus X-1

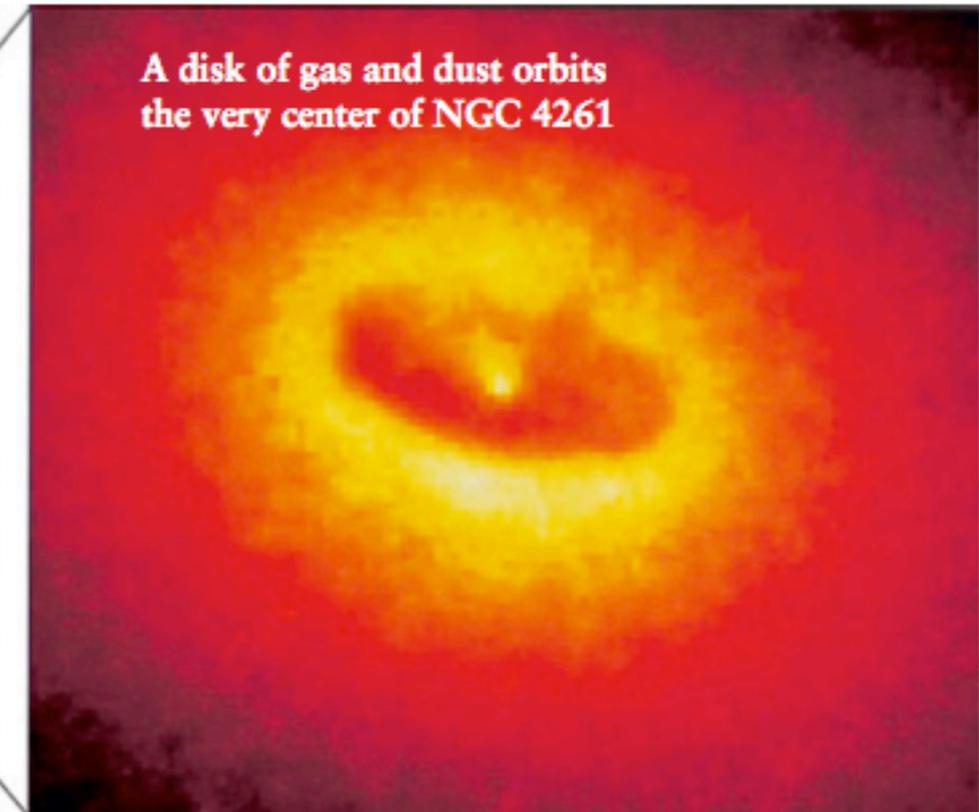
system might look at close range. (The illustration that opens this chapter depicts a similar system.) At even closer range, the black hole and its immediate surroundings might appear as shown in Figure 22-12. (Courtesy of D. Norton, Science Graphics)

7. Supermassive BH

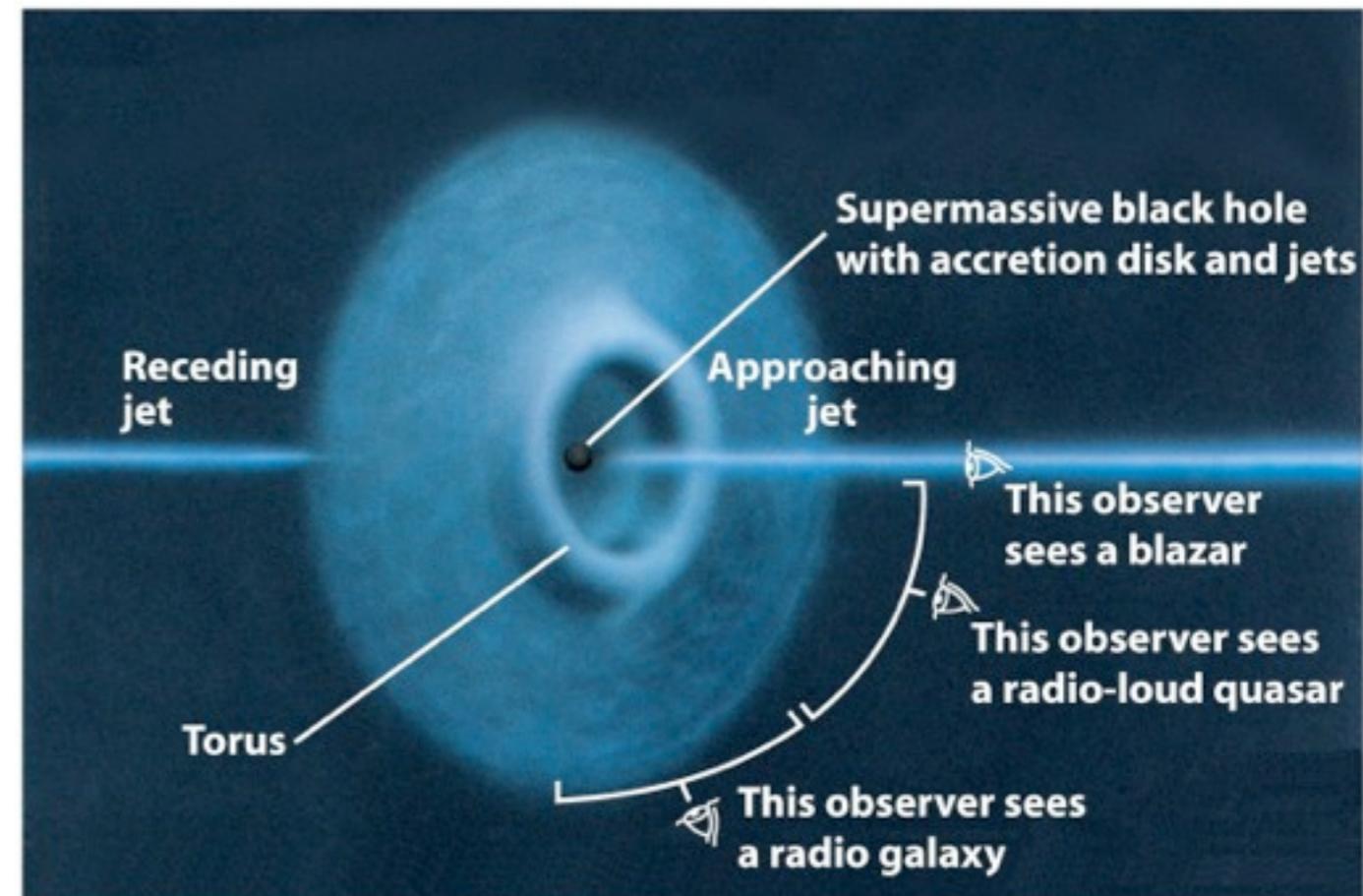
- *Quasars* sono oggetti “quasi stellari” scoperti negli anni '60 con i radiotelescopi a larga base. Alcuni sono tra gli oggetti più antichi, fino a 10^{10} anni fa, quando l'Universo aveva solo qualche miliardo di anni
- la luce, più intensa della luce prodotta dall'intera galassia, proviene dal disco di accrezione di una BH supermassiva ($10^6 - 10^9$ masse solari) al centro della galassia;
- due jet, visibili radio per luce di sincrotrone, trasmettono energia a lobi di gas esterni alla galassia, con estensioni anche di 30-50 kpc
- La materia che cade in un BH supermassivo è all'origine dell'emissione di radiazione da parte degli *Active Galactic Nuclei*.



(a) Galaxy NGC 4261



(b) Evidence for a supermassive black hole in NGC 4261



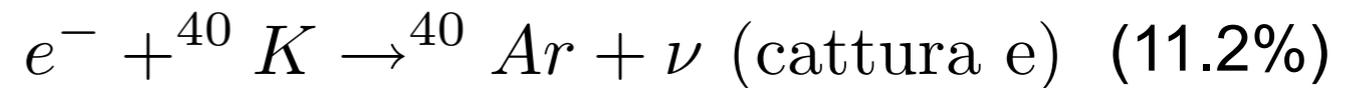
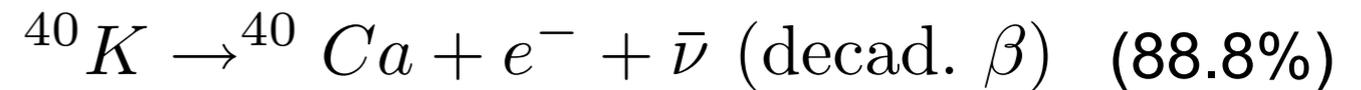
7. NUCLEI NELLE STELLE

2. Trasmutazioni nucleari

- “trasmutazione” e’ la trasformazione di un elemento chimico in un altro, il sogno degli antichi alchimisti
- nelle disintegrazioni nucleari alfa e beta, i valori di Z dei nuclei iniziale e finale sono diversi e si ha una trasmutazione naturale: es. $^{40}\text{K} \rightarrow ^{40}\text{Ar}$ per cattura elettronica (K-Ar datazione delle rocce)

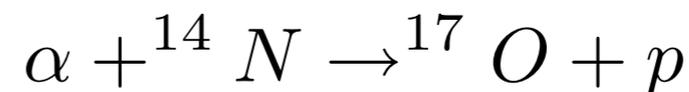
$$\left[\begin{array}{l} Z = 20 \\ Z = 19 \\ Z = 18 \end{array} \right]$$

Ca40 0+ 93.941	Ca41 1.22E+5 y 72 EC	Ca42 0+ 0.647
K39 3/2+ 93.2581	K40 1.277E+9 y 4- EC,β-	K41 3/2+ 6.7302
Ar38 0+ 0.063	Ar39 269 72- β	Ar40 0+ 99.6

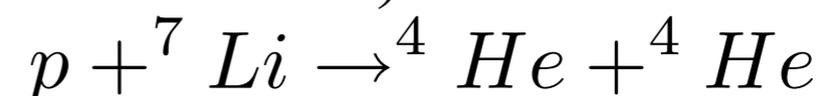


$$T = 1.248 \times 10^9 \text{ anni}$$

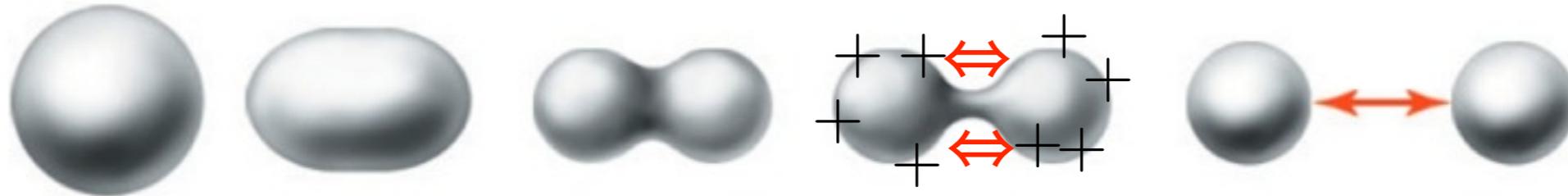
- per ottenere trasmutazioni artificiali occorre superare la barriera coulombiana con particelle di energia sufficiente:
- Rutherford e Soddy (1919, particelle alfa da radioattività naturale):



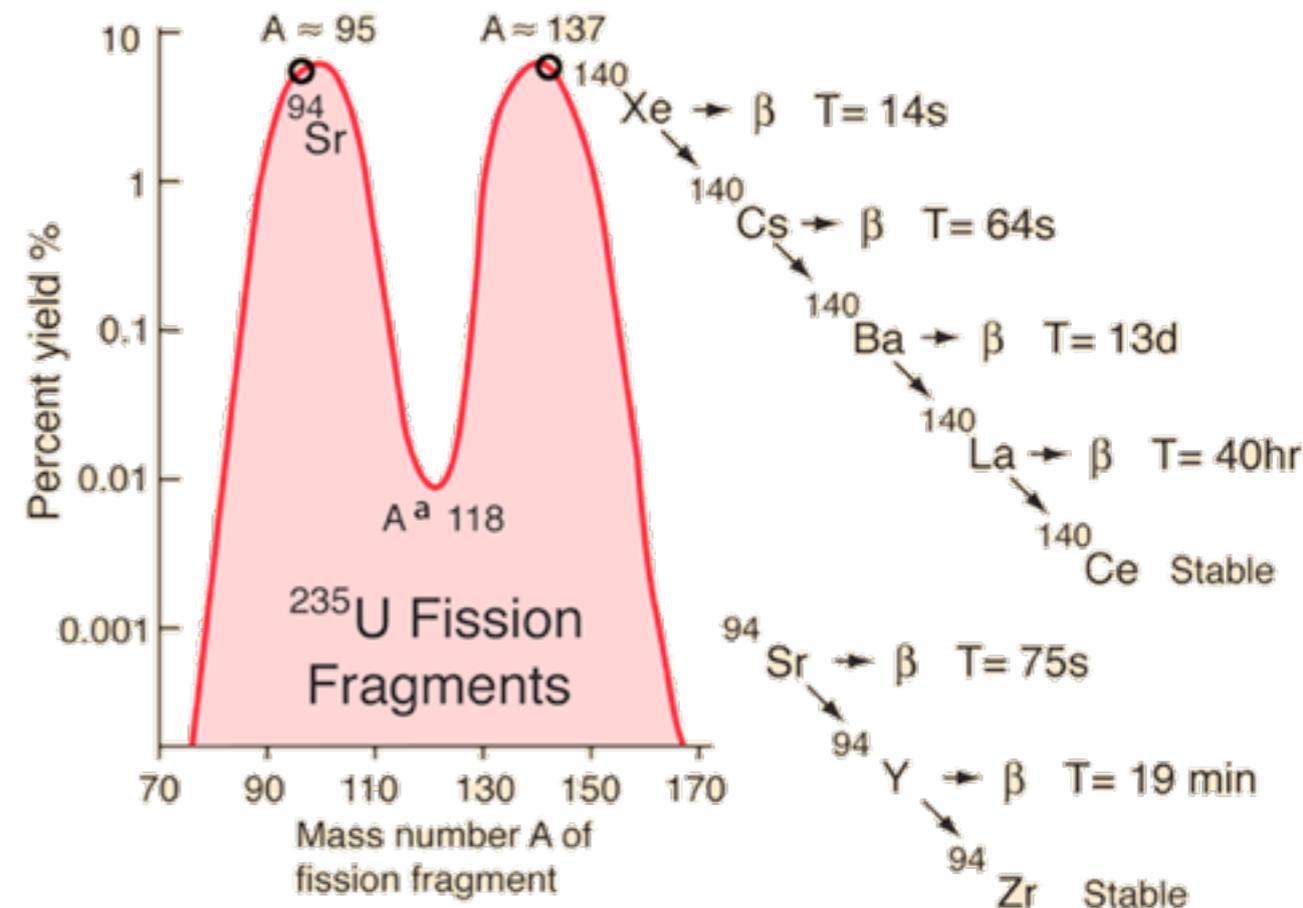
- Cockroft e Walton (1932, acceleratore elettrostatico):



Le idee di Bohr, Meitner e Frisch danno una base teorica ai risultati di Hahn e Strassman (Dicembre 1938)

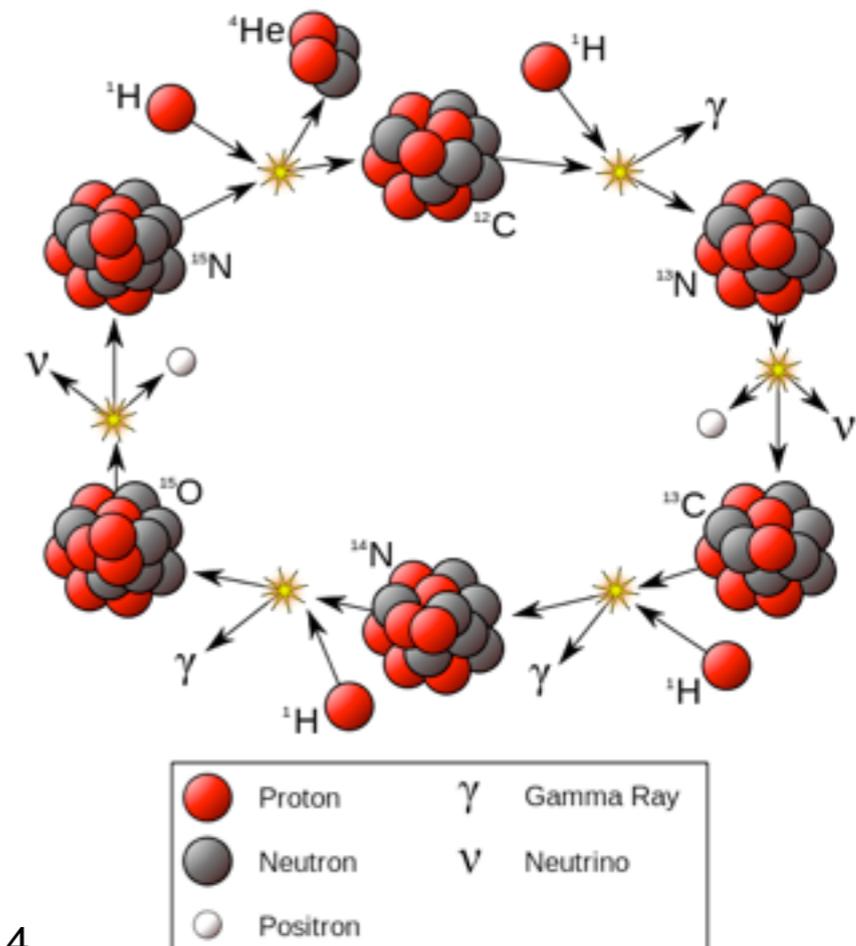
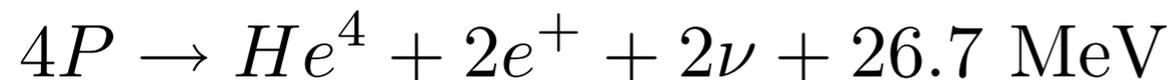


- N. Bohr: un nucleo pesante come U si comporta come una goccia di liquido, tenuta insieme dalle forze nucleari e sotto tensione per la repulsione coulombiana.
- Lisa Meitner e Otto Frisch: l'assorbimento di un neutrone mette la goccia in vibrazione;
- se si forma un collo, la repulsione coulombiana lo allunga, finché la goccia si spezza in due parti circa uguali: i frammenti di fissione, con peso atomico circa 1/2 del peso atomico di U.
- Meitner e Frisch calcolano che la variazione di energia è di circa 200 MeV, un'energia enorme, rispetto all'energia liberata dalle reazioni chimiche
- si capisce subito che, se nella fissione si liberano neutroni, questi potrebbero portare ad una reazione a catena
- Bohr viene informato mentre è in partenza per gli USA.



Fusione dell' Idrogeno in Elio

- Reazioni che bruciano idrogeno
- La reazione P+P: $T > 4 \cdot 10^6 \text{ K}$, domina nel Sole e simili
 - $P+P \rightarrow H^2 + e^+ + \nu$ (forze deboli, molto lenta)
 - $H^2 + P \rightarrow He^2 + \gamma$
 - $He^3 + He^3 \rightarrow He^4 + P + P$
- Ciclo CNO: $T > 17 \cdot 10^6 \text{ K}$, domina in stelle piu' massive del Sole
 - $C^{12} + P \rightarrow N^{13} + \gamma$
 - $N^{13} \rightarrow C^{13} + e^+ + \nu$
 - $C^{13} + P \rightarrow N^{14} + \gamma$
 - $N^{14} + P \rightarrow O^{15} + \gamma$
 - $O^{15} \rightarrow N^{15} + e^+ + \nu$ (forze deboli, molto lenta)
 - $N^{15} + P \rightarrow C^{12} + He^4$
- il bilancio complessivo e' lo stesso:



riassumendo

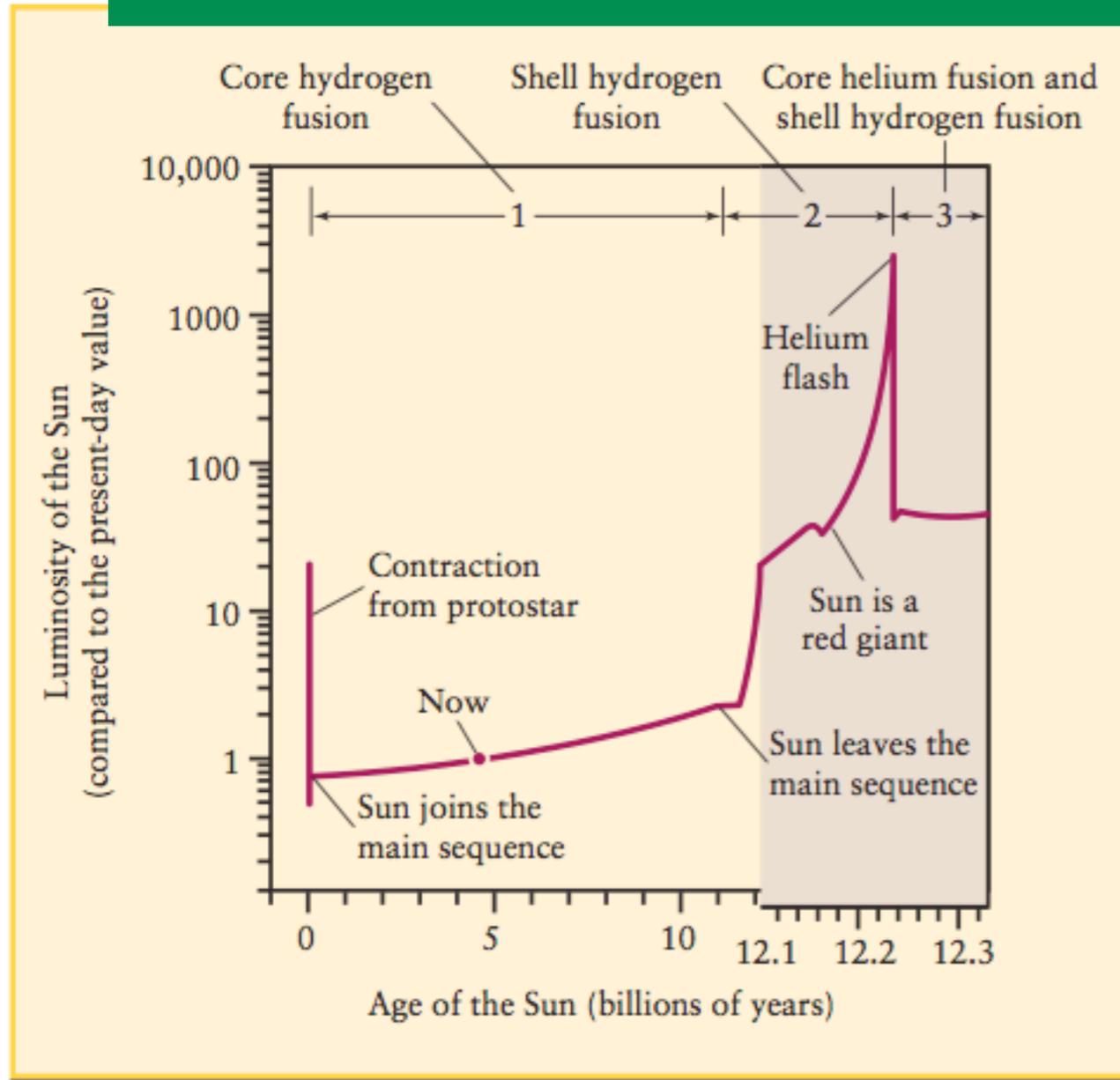
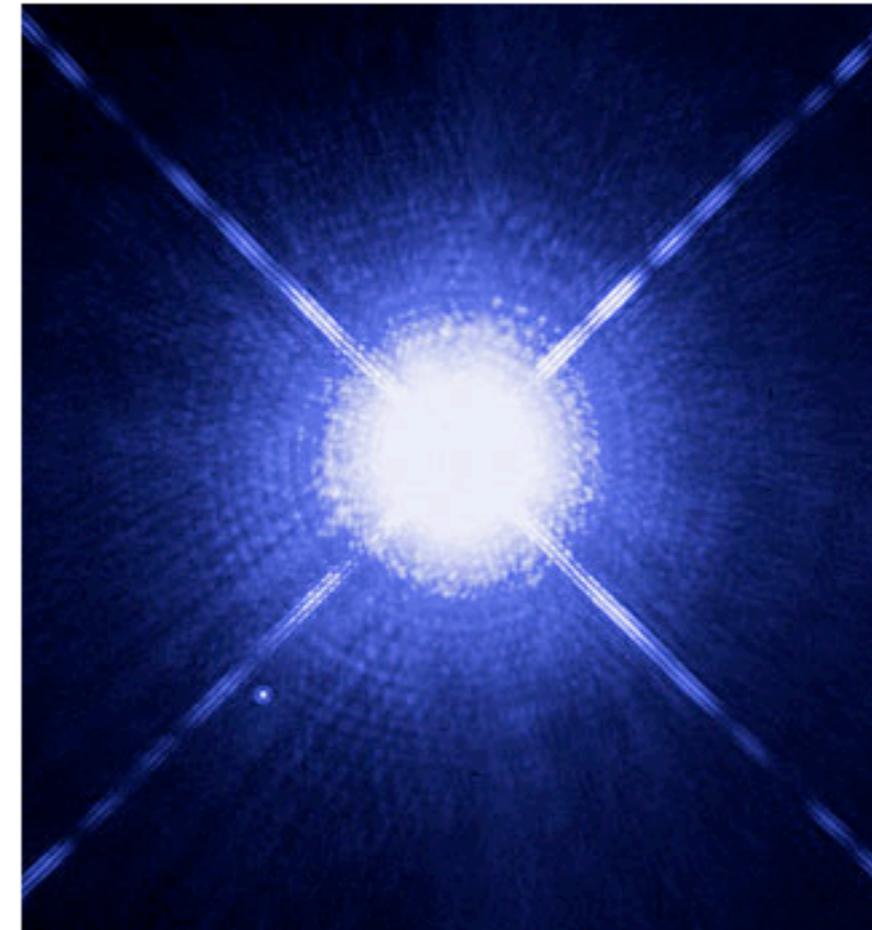


Figure 19-8

Stages in the Evolution of the Sun This diagram shows how the luminosity of the Sun (a $1-M_{\odot}$ star) changes over time. The Sun began as a protostar whose luminosity decreased rapidly as the protostar contracted. Once established as a main-sequence star with core hydrogen fusion, the Sun's luminosity increases slowly over billions of years. The post-main-sequence evolution is much more rapid, so a different time scale is used in the right-hand portion of the graph. (Adapted from Mark A. Garlick, based on calculations by I.-Juliana Sackmann and Kathleen E. Kramer)

The Dog Star, Sirius A, and its tiny companion



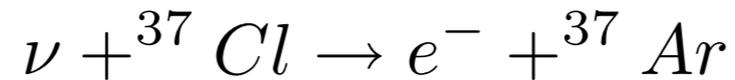
[Click to Enlarge](#)

This Hubble Space Telescope image shows Sirius A, the brightest star in our nighttime sky, along with its faint, tiny stellar companion, Sirius B. Astronomers overexposed the image of Sirius A [at centre] so that the dim Sirius B [tiny dot at lower left] could be seen. The cross-shaped diffraction spikes and concentric rings around Sirius A, and the small ring around Sirius B, are artifacts produced within the telescope's imaging system. The two stars revolve around each other every 50 years. Sirius A, only 8.6 light-years from Earth, is the fifth closest star system known.

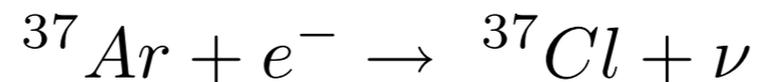
8. ASTRO E GEO NEUTRINI

La reazione dei neutrini con il Cloro 37

- nel 1947, Pontecorvo suggerisce di osservare i neutrini dalla reazione:



- l'isotopo 37 dell'Ar e' radioattivo, vita media 35 giorni, ritorna al ${}^{37}\text{Cl}$ catturando un elettrone del suo atomo, secondo la reazione (nota come "cattura K"):

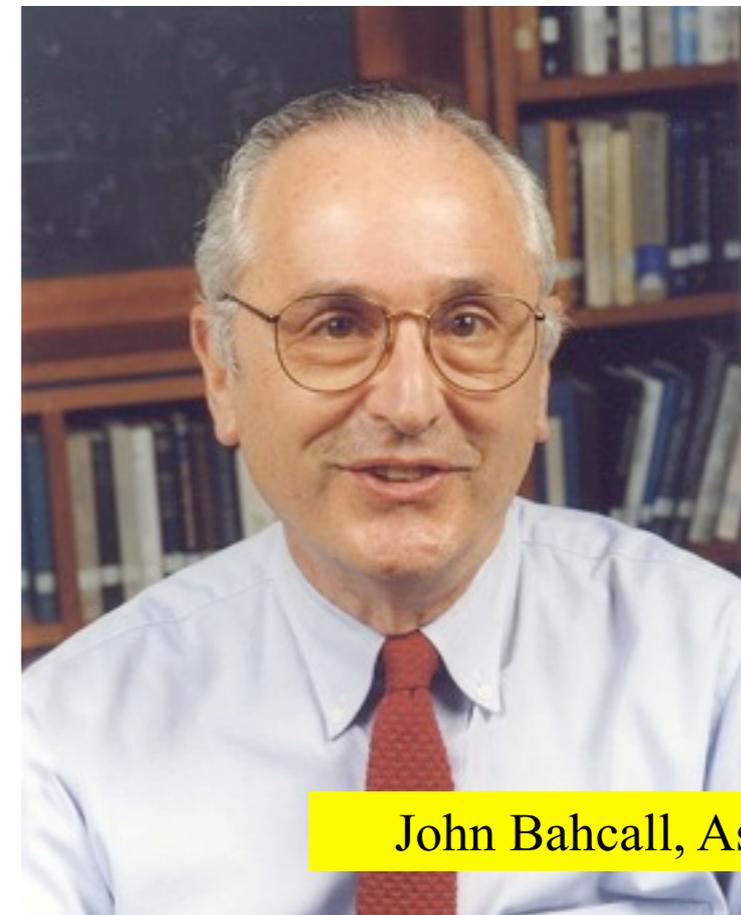


- ${}^{37}\text{Ar}$ si puo' estrarre dal Cl facendo passare aria, si raccoglie il tutto, si separa Ar dall'aria, e si misura la sua quantita' dalla radioattivita'
- conoscendo la probabilita' di reazione, dal n. di atomi prodotti/giorno si ottiene il flusso dei neutrini.



Bruno Pontecorvo, a sinistra, con Emilio Segre' e Edoardo Amaldi, Roma 1978

Raymond Davies, Premio Nobel 2002



John Bahcall, Astrofisico

L'esperimento BOREXINO al Gran Sasso, oggi

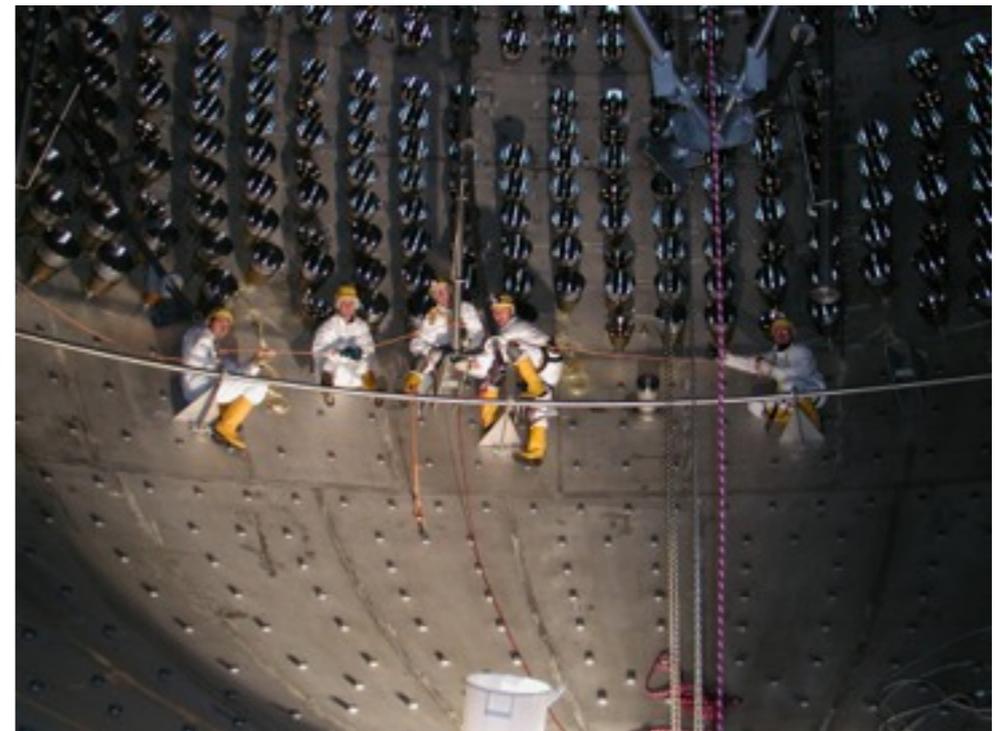
Osservate le reazioni interne delle stelle studiando i neutrini

La misura del flusso di neutrini p-p costituisce una conferma fondamentale della validità della teoria del modello solare. ... si dovrebbe potere, nel prossimo futuro, evidenziare possibili variazioni nel ciclo undecennale del Sole, che potrebbero comportare implicazioni importanti anche in altri ambiti scientifici.

Il percorso scientifico di Borexino...è destinato a continuare. Il prossimo passo ... è costituito dal tentativo di rivelare i neutrini provenienti dal così detto ciclo Carbonio-Azoto-Ossigeno (CNO). I nuclei di carbonio, azoto ed ossigeno, svolgono il ruolo di catalizzatori nella combustione nucleare dell'idrogeno. ..Nel Sole il contributo di tale ciclo rappresenta solo qualche per cento, ma ad oggi si è riuscito solo a mettere un limite superiore al suo contributo senza riuscire a misurarlo direttamente. Una siffatta misura..., permetterebbe anche di distinguere tra diverse possibili versioni di tali modelli e sarebbe un ennesimo esempio della fruttuosa interazione tra fisica delle particelle ed astrofisica.

Il “motore” della Terra svelato dai geoneutrini

... Nel mantello (all'interno della Terra), nuclei di uranio 238, torio 232 e potassio 40 con il loro decadimento radioattivo funzionano come una stufa che riscalda il pianeta generando i movimenti delle placche e quindi i terremoti, l'attività vulcanica, il sollevamento delle montagne e così via. Borexino fornì le sue prime indicazioni nel 2010. Nuovi dati ... hanno precisato il fenomeno. Il flusso dei geo-neutrini spiega circa la metà dell'energia interna della Terra.

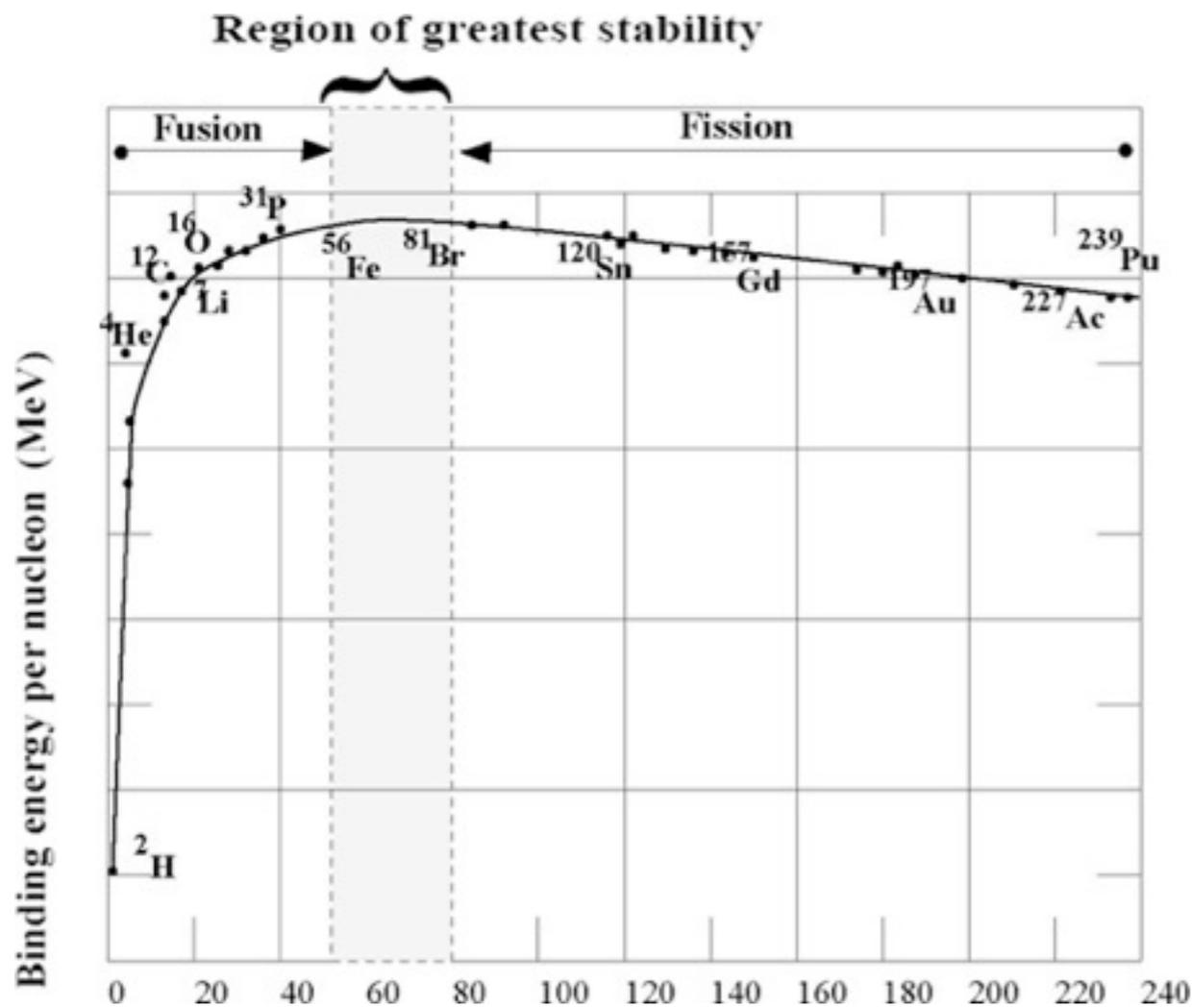


9. COME MUOIONO LE STELLE

Difetto di massa dei nuclei

- Misura la differenza tra la somma delle masse dei nucleoni costituenti liberi e la massa del nucleo, normalizzata al numero dei nucleoni costituenti

$$B = \frac{(\sum_i M_i) - M_{nucleo}}{N}$$



- M = massa del nucleone,
- M_k = massa del nucleo con k nucleoni
- la *fusione* del nucleo k con 1 nucleone e' *esotermica* se $M + M_k - M_{k+1} > 0$

$$M_k + M - M_{k+1} = (k + 1)B_{k+1} - kB_k =$$

$$= (k + 1) \left(B_{k+1} - B_k + \frac{1}{k + 1} B_k \right) > 0,$$

richiede $B_{k+1} > B_k$

2. Stelle giganti e collasso del core: Supernova di tipo II

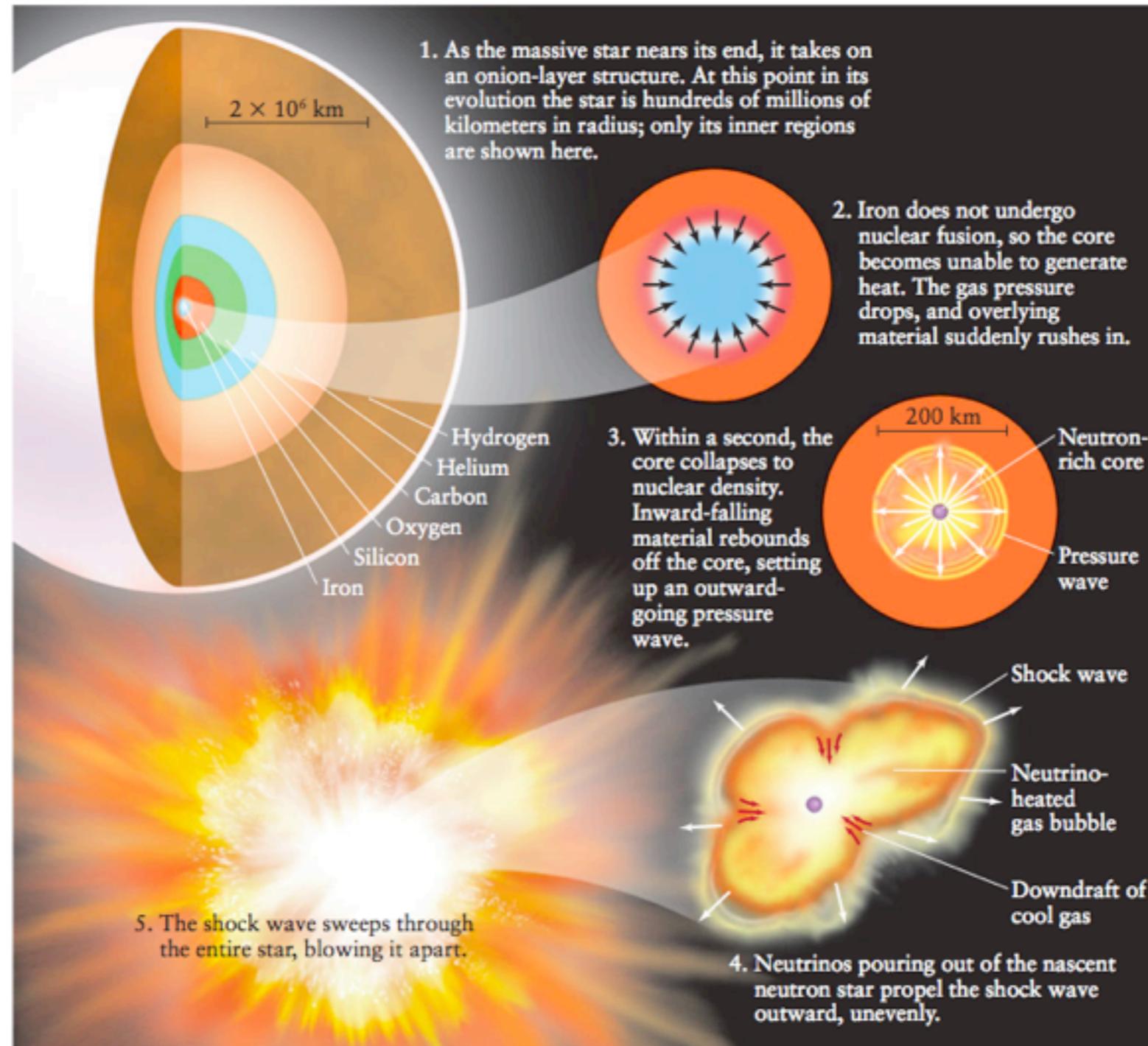
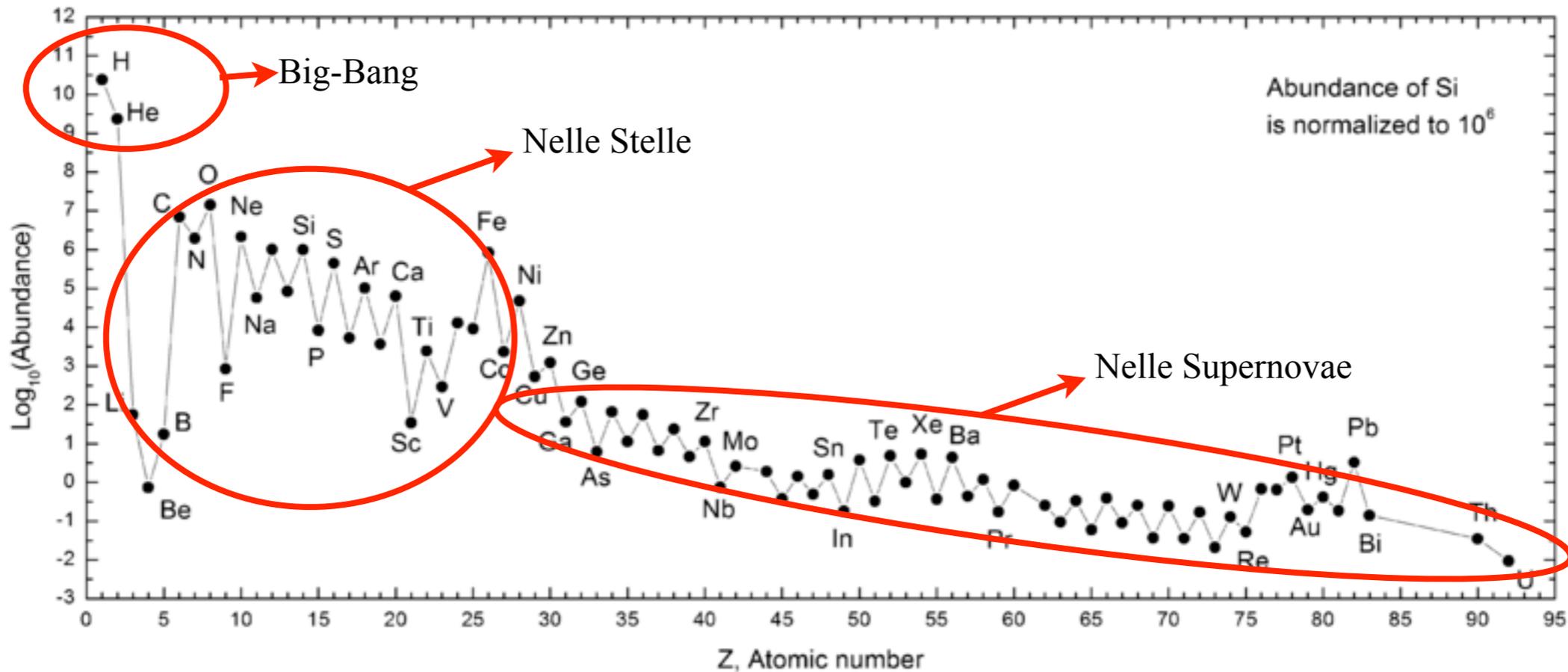


Figure 20-14

A Core-Collapse Supernova This series of illustrations depicts our understanding of the last day in the life of a star of more than about $8 M_{\odot}$. (Illustration by Don Dixon, adapted from Wolfgang Hillebrandt,

Hans-Thomas Janka, and Ewald Müller, "How to Blow Up a Star," *Scientific American*, October 2006)

7. Sintesi di elementi pesanti: dove? quando?



- elementi fino al Fe: sintetizzati nella vita delle stelle
- elementi piu' pesanti sintetizzati nel flusso di neutroni della fase finale delle supernove o nella coalescenza di due stelle di neutroni
- dispersi nell'esplosione delle supernovae e disponibili per nuove stelle
- In effetti vediamo stelle con metallicita' assai diverse

1. The more massive member of a pair of sunlike stars exhausts its fuel and turns into a white dwarf star.

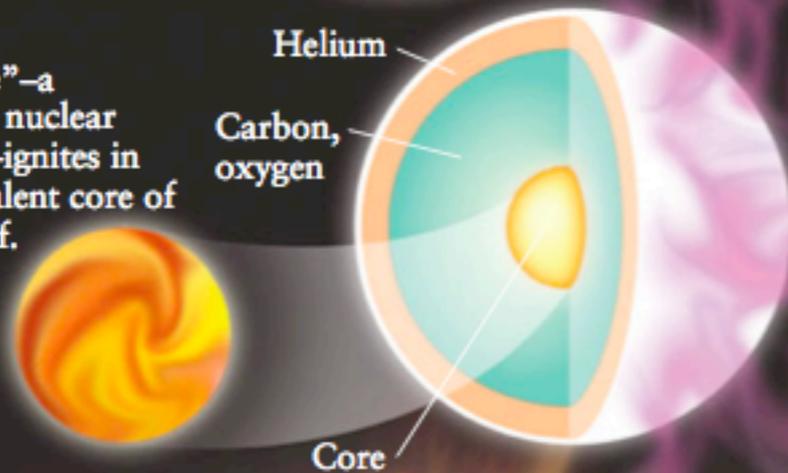


White dwarf

Companion star

2. The white dwarf sucks in gas from its companion, eventually reaching a critical mass.

3. A "flame"—a runaway nuclear reaction—ignites in the turbulent core of the dwarf.



Helium

Carbon,
oxygen

Core

4. The flame spreads outward, converting carbon (^{12}C) and oxygen (^{16}O) to radioactive nickel (^{56}Ni).

Flame front

Nickel

5. Within a few seconds, the dwarf has been completely destroyed. Over the following weeks, the radioactive nickel decays, causing the debris to glow.

Figure 20-21

A Type Ia Supernova This series of illustrations depicts our understanding of how a white dwarf in a close binary system can undergo a sudden nuclear detonation that destroys it completely. Such a cataclysmic event is called a Type Ia supernova or thermonuclear supernova. (Illustration by Don Dixon, adapted from Wolfgang Hillebrandt, Hans-Thomas Janka, and Ewald Müller, "How to Blow Up a Star," *Scientific American*, October 2006)

10. RAGGI COSMICI

Ritorno alla fisica fondamentale: la scuola di Varenna (1954)

Luisa Bonolis. Figure e storie della fisica del Novecento

Varenna 1954

Bruno Rossi, Gilberto Bernardini, Enrico Fermi



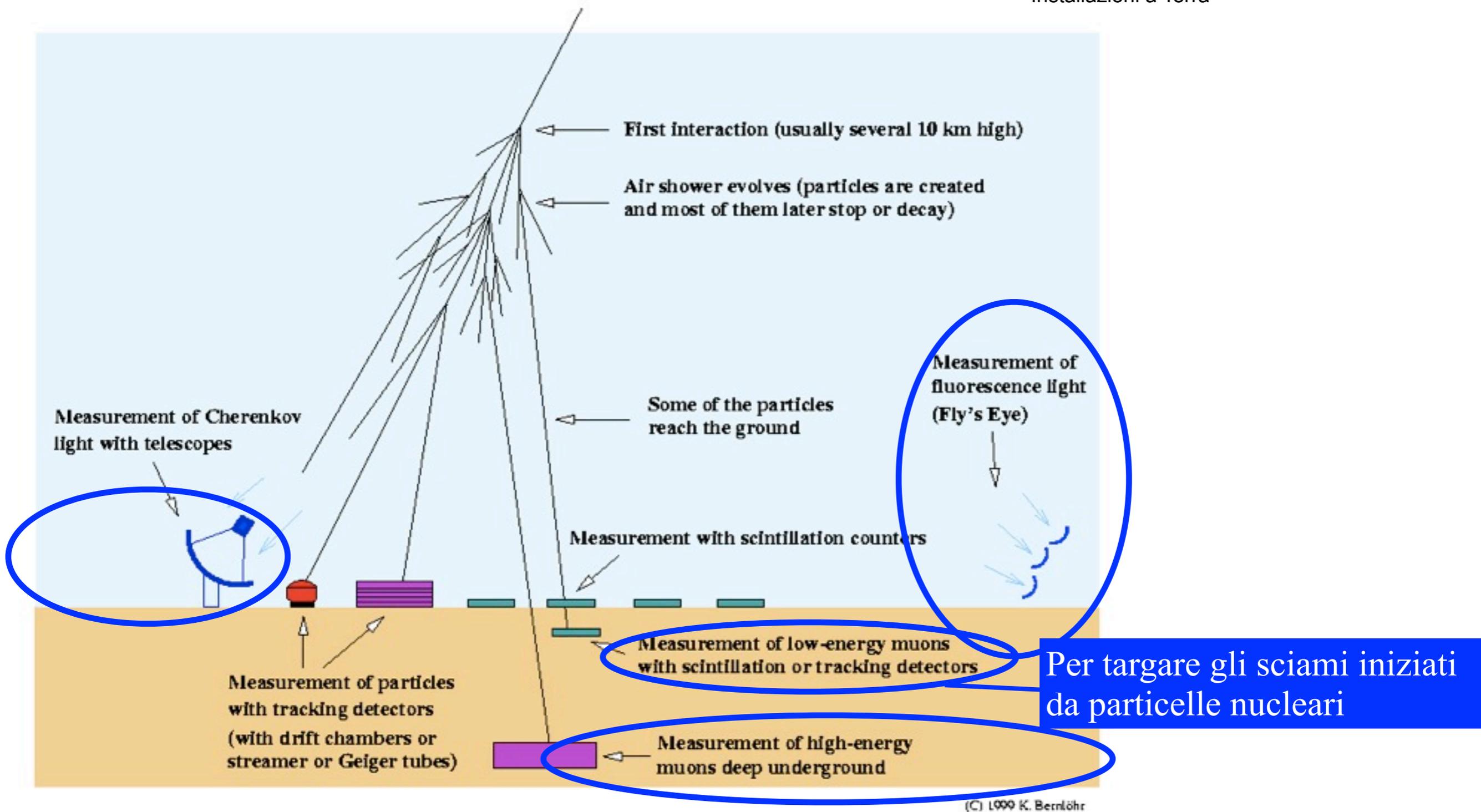
E. Fermi, "Lectures on Pions and Nucleons"
B. Rossi, "Lectures on Fundamental Particles"
B. Rossi, "Lectures on the Origin of Cosmic rays"

martedì 28 dicembre 2010

notte chiare e senza luna, siti ideali in deserti, pampa, altipiani, etc.

Measuring cosmic-ray and gamma-ray air showers

Installazioni a Terra

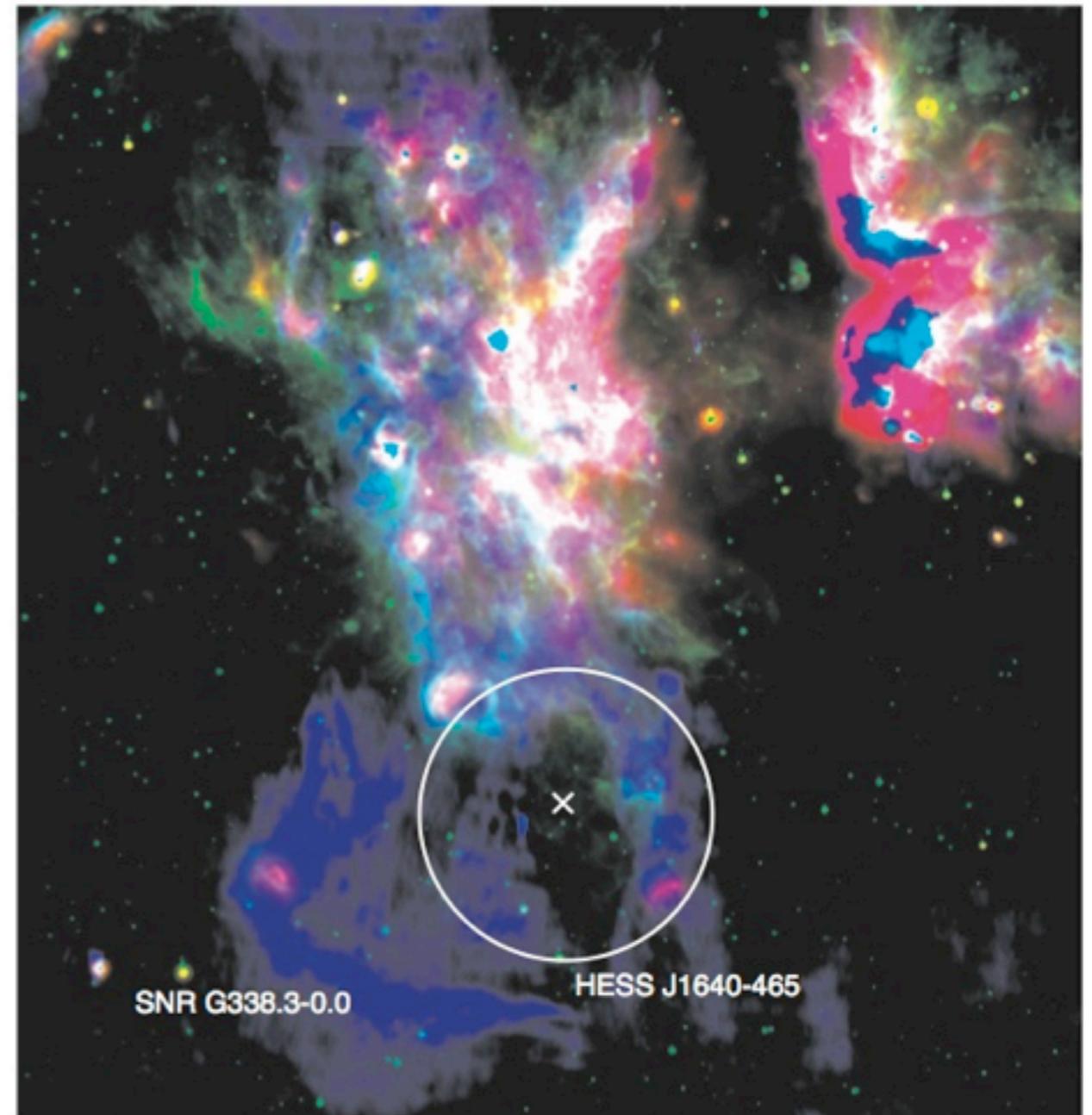


H.E.S.S.

High Energy Stereoscopic System



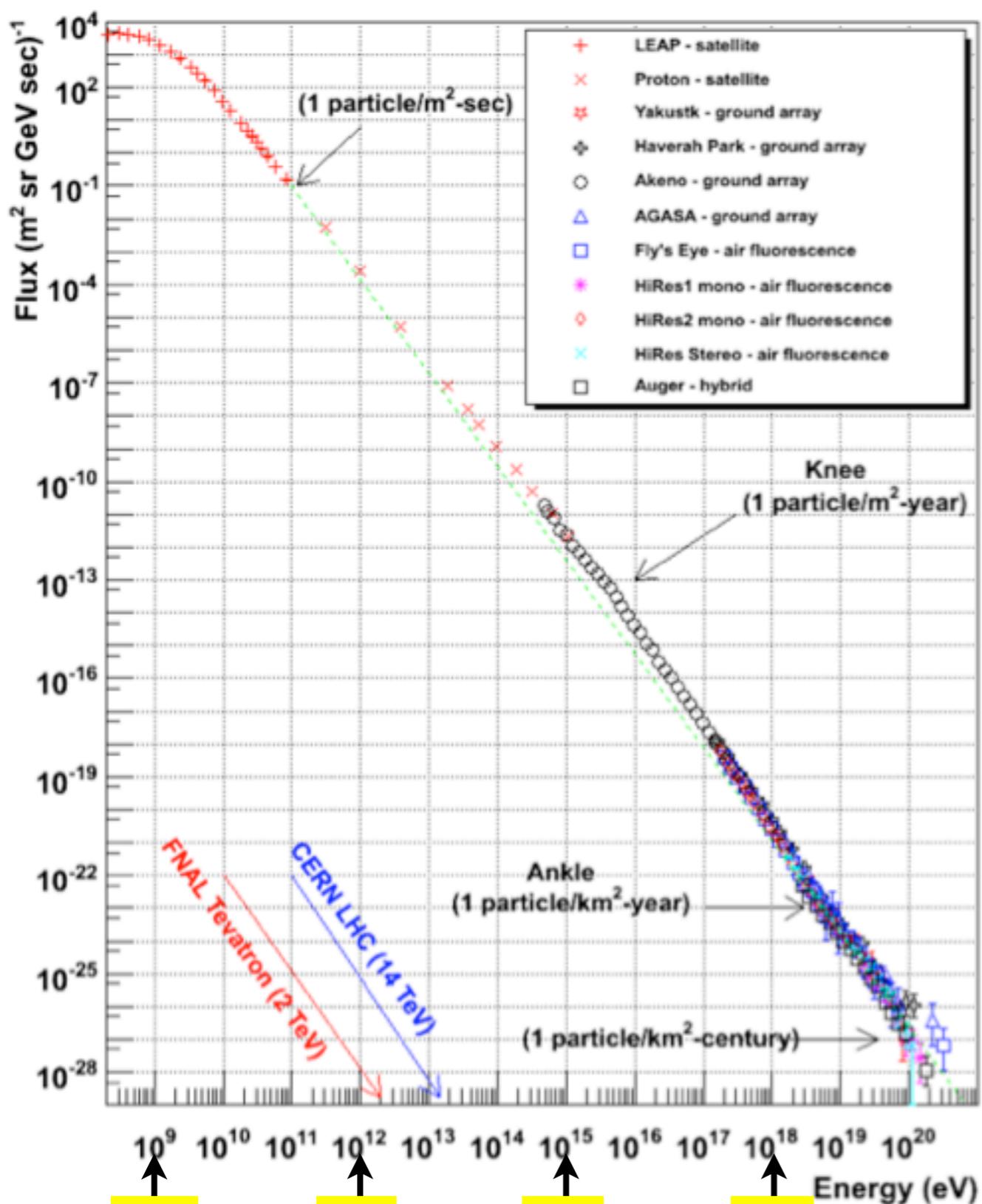
- la prima sorgente gamma e' stata scoperta nel 2004 dal telescopio H.E.S.S. situato in Namibia (High Energy Stereoscopic System, ma anche un riconoscimento a Victor Hess, scopritore dei RC)
- 2005: 8 nuove sorgenti
- 2009: piu' di 90 sorgenti con gamma al TeV
- si tratta in maggioranza di SuperNova Remnants (SNR)



Composite image showing radio continuum emission at 610 MHz (in blue) from the region around HESS J1640-465 / SNR G338.3-0.0, and infrared emission at 8 μm (in green) and at 24 μm (in red) taken from the Spitzer Space Telescope GLIMPSE and MIPS GAL surveys, respectively. The white circle marks the position and extension of HESS J1640-465, while the cross indicates the location of the extended X-ray source (Lemiere et al. 2009). From Castelletti et al. (2011)

6. Lo spettro dei Raggi Cosmici

Cosmic Ray Spectra of Various Experiments



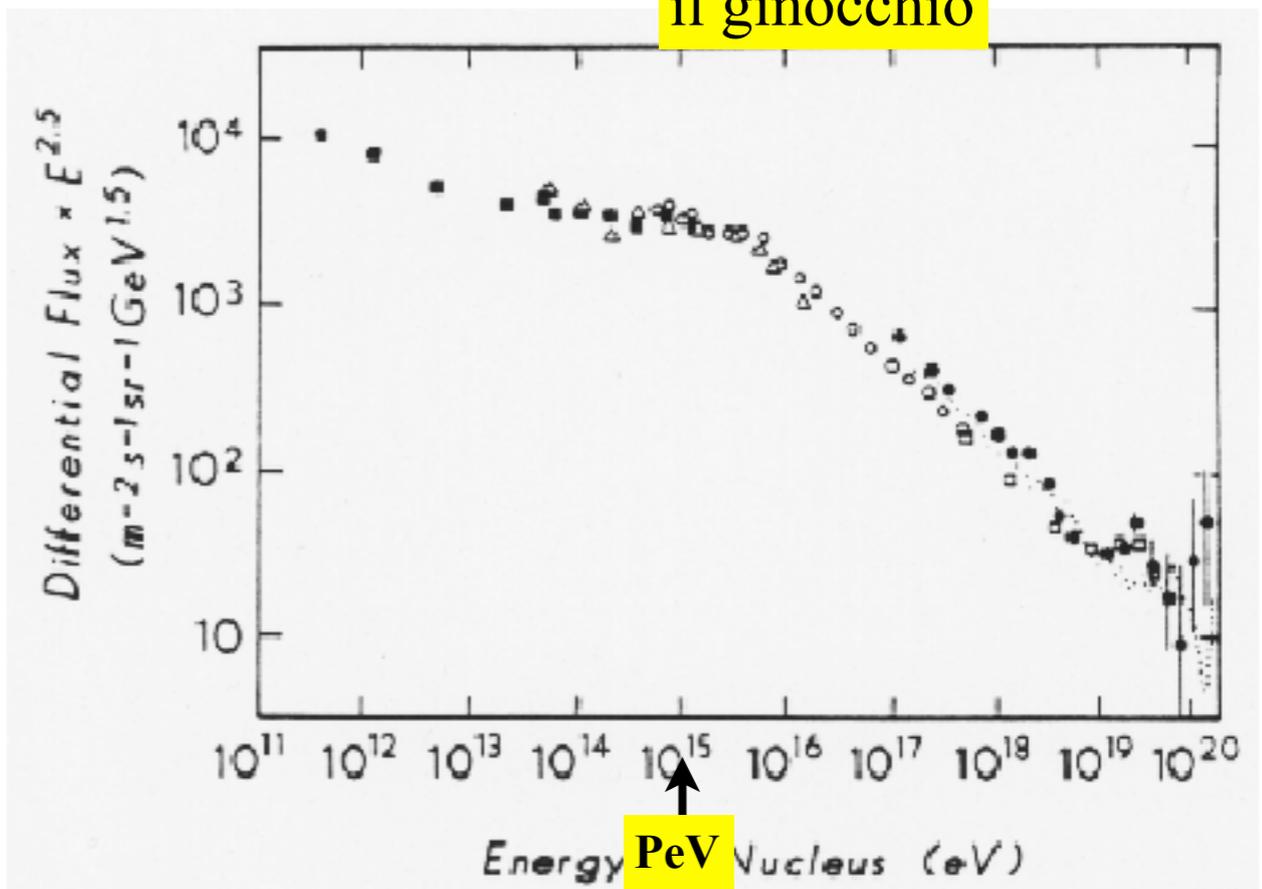
GeV

TeV

PeV

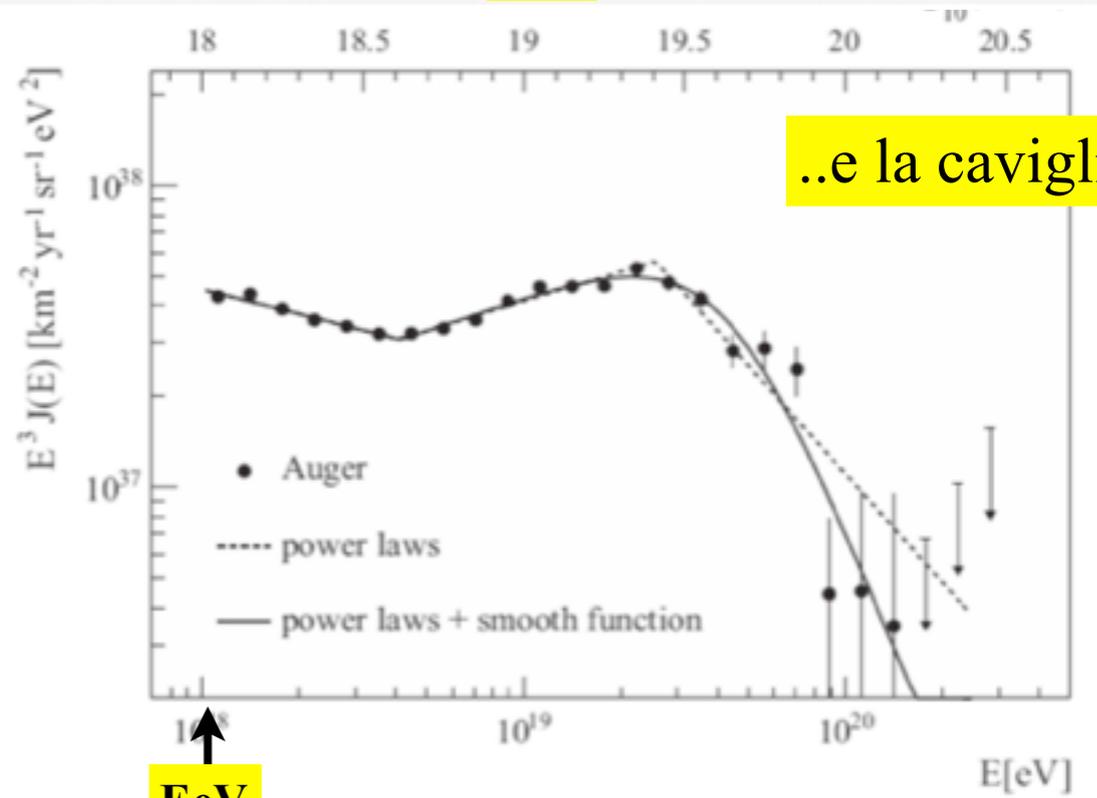
EeV

il ginocchio



PeV

..e la caviglia



EeV

- le abbondanze dei nuclei osservati nei raggi cosmici riflettono le abbondanze stellari : Idrogeno + He + metalli
- sono le abbondanze tipiche della composizione dei residui di Supernova

Un nuovo paradigma:
i raggi cosmici galattici sono
tutti materia accelerata nei
residui di Supernova?

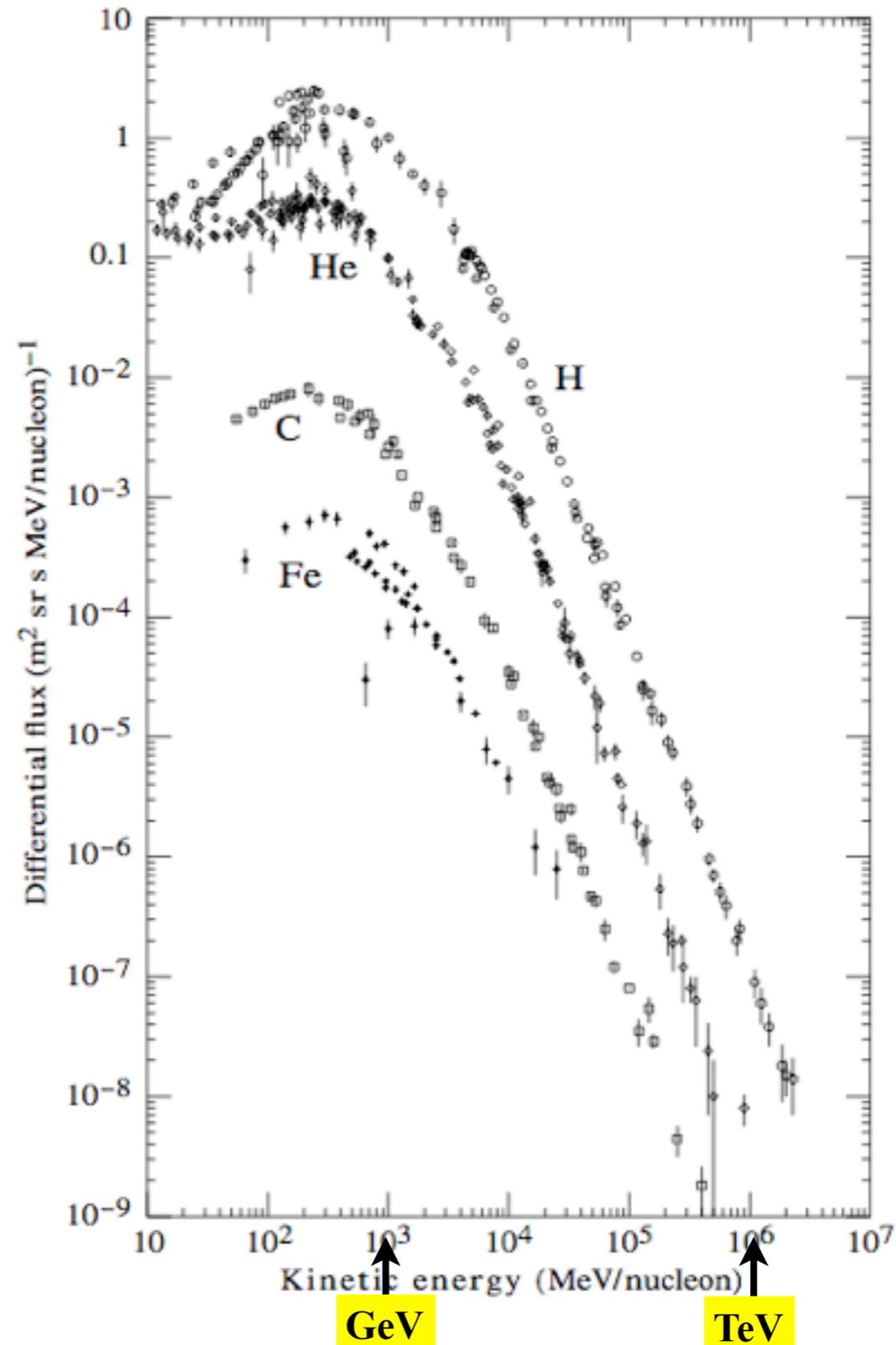
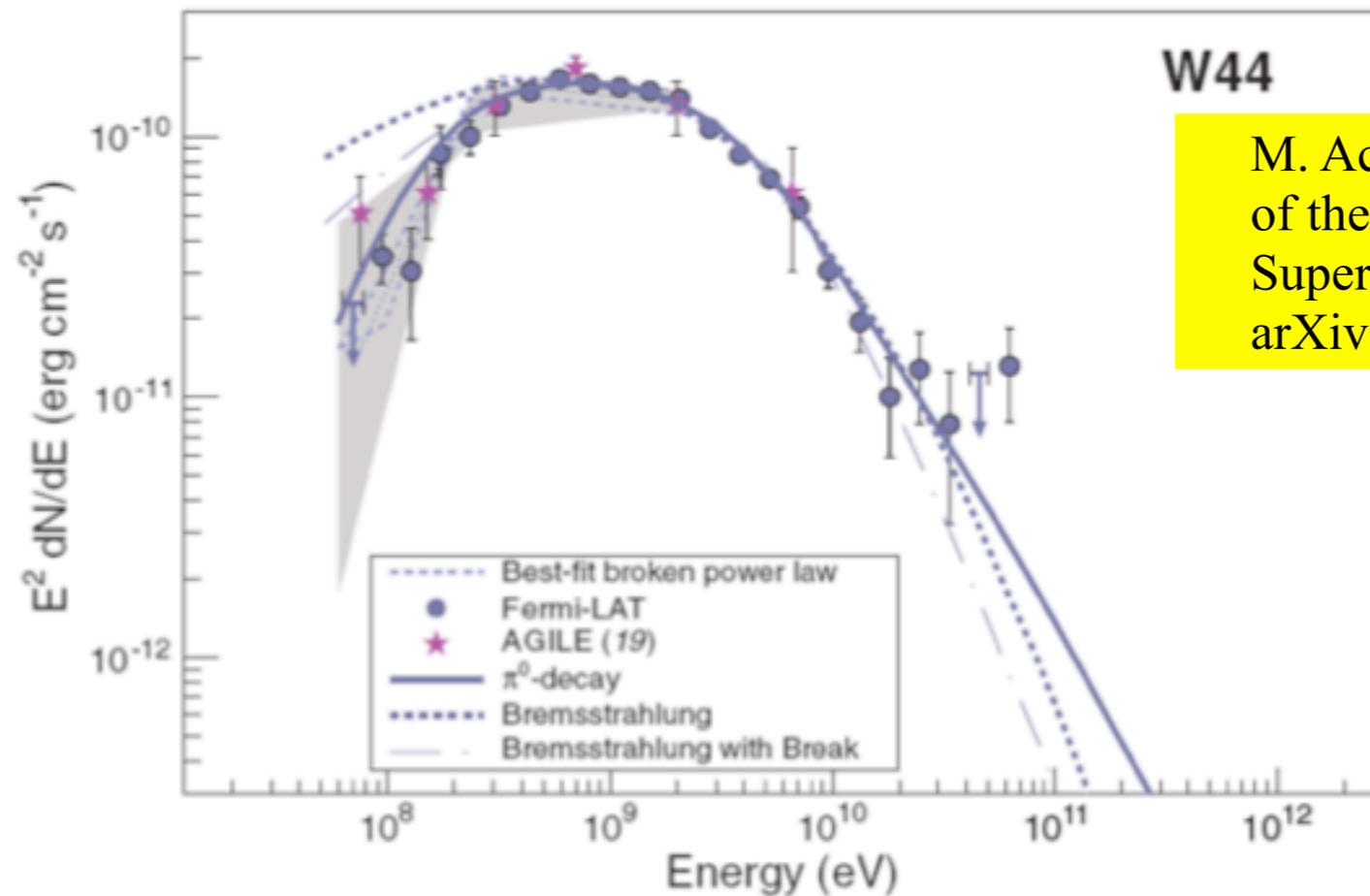


Figure 1: Major components of the primary cosmic rays (from Simpson).

3. Cercando la “pistola fumante”

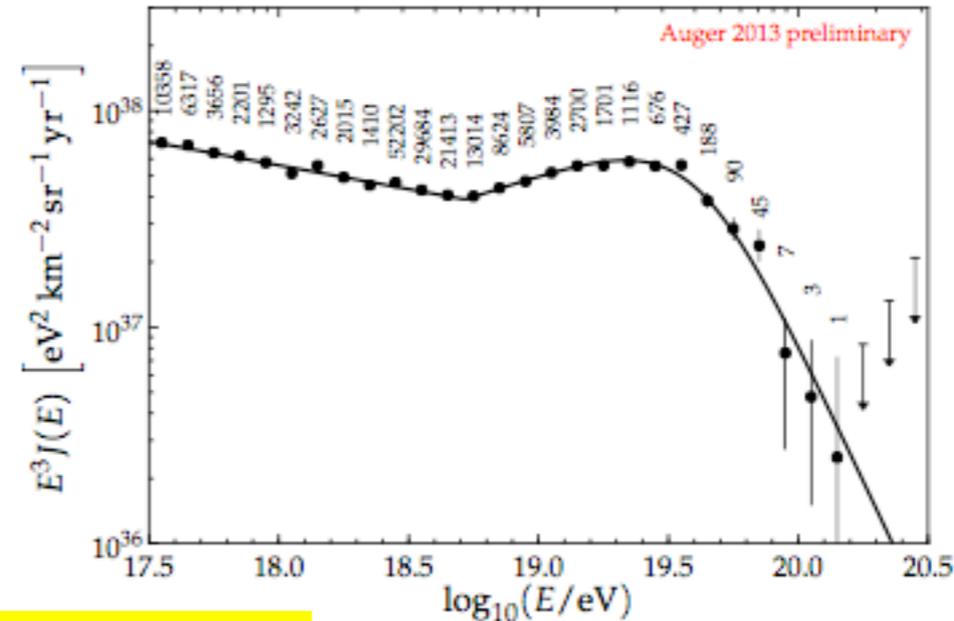
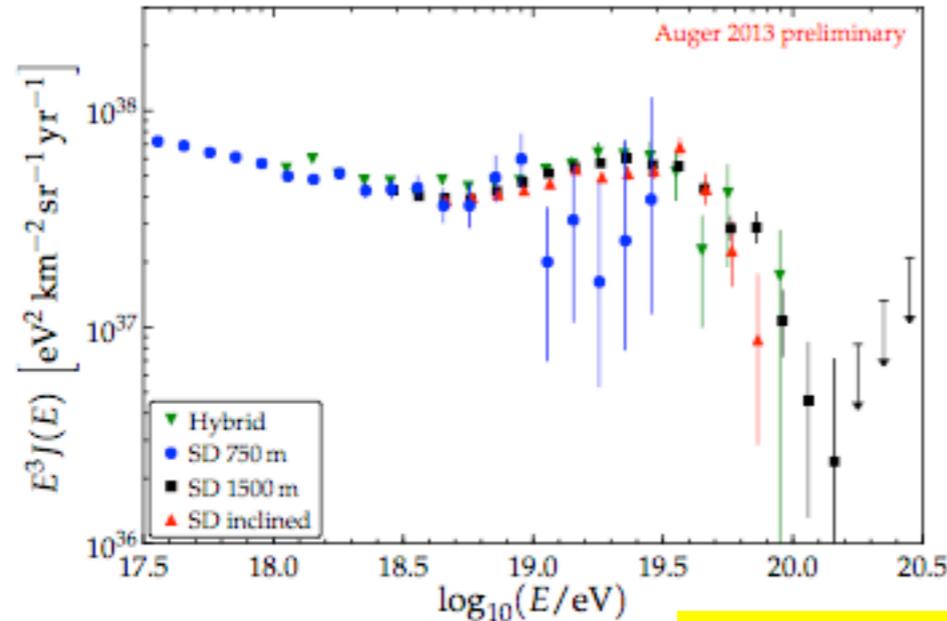
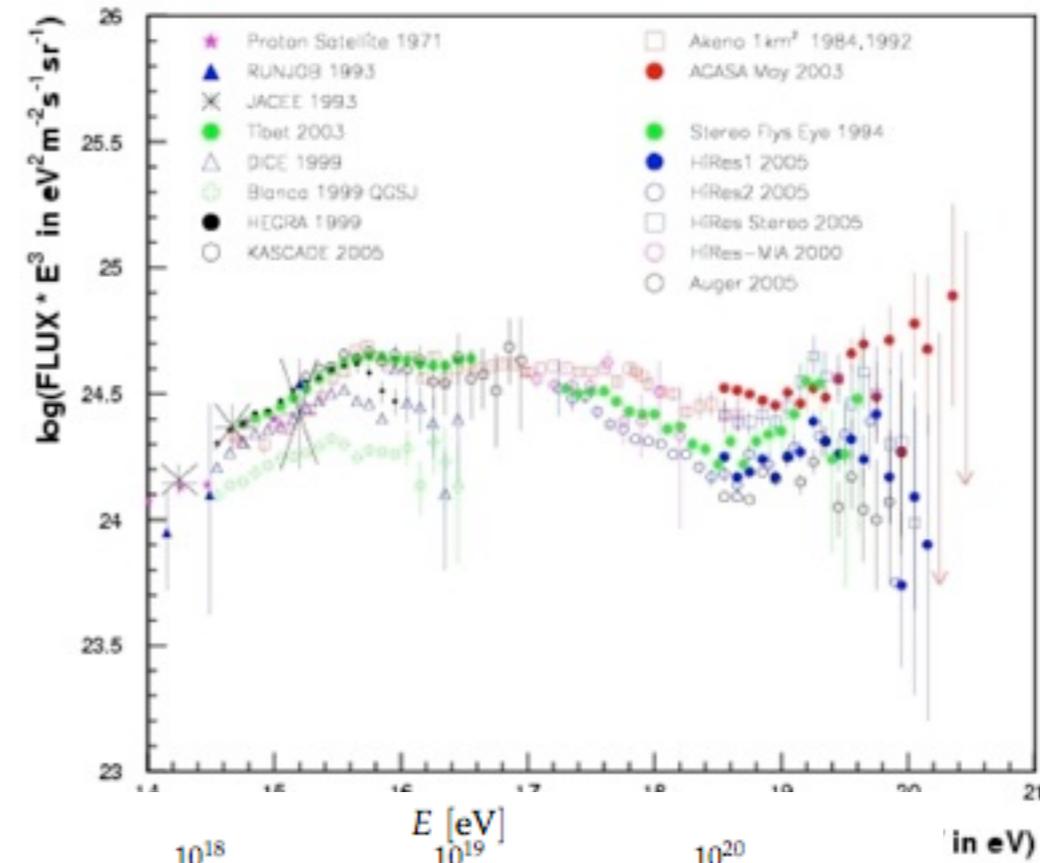
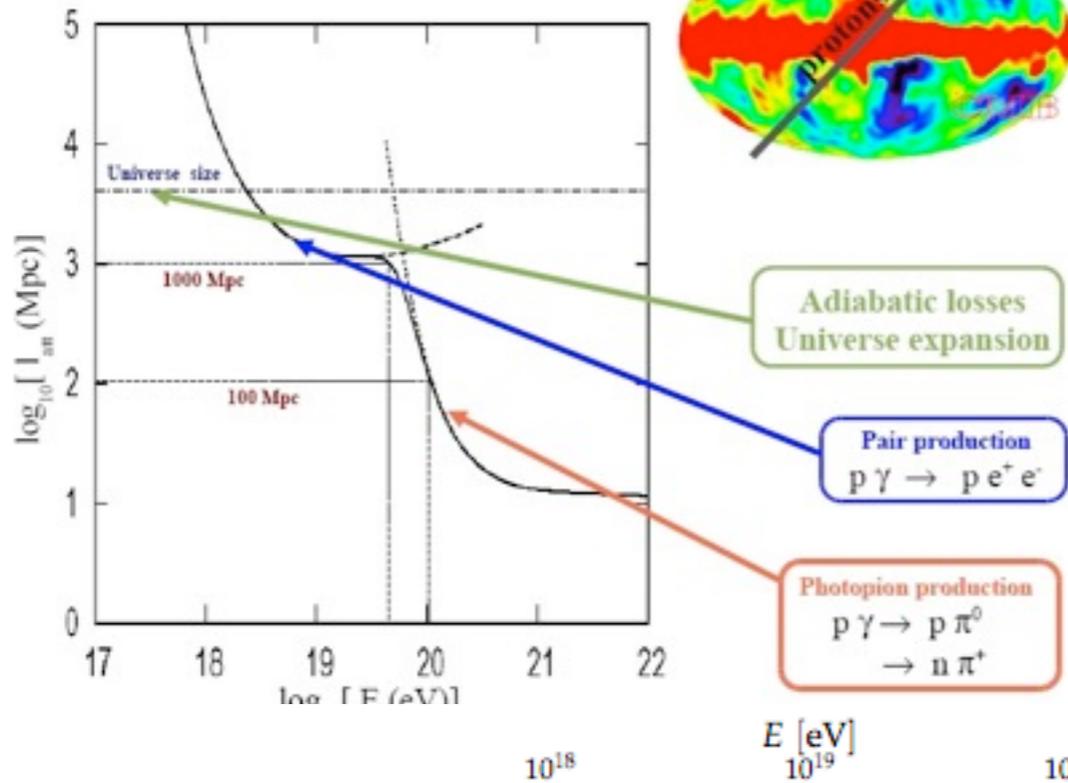


M. Ackermann, M. Ajello, A. Allafort, et al., Detection of the Characteristic Pion-Decay Signature in Supernova Remnants, *Science* 339 (2013) 807–811. arXiv:1302.3307, doi:10.1126/science.1231160.

Figure 4: Gamma-ray spectrum of W44 as measured with the Fermi LAT, which shows good agreement with pion-decay gamma-ray production model (from [17]).

8. GZK: gli esperimenti all'OPA confermano il limite !

UHE Proton energy losses



Auger 2013: spectrum

Figure 1. Left: The energy spectra obtained from hybrid events, and from data of the 750 m and 1500 m SD arrays for vertical and inclined showers measured at the Auger Observatory. Right: The combined spectrum, with the number of events shown in each energy bin. The arrows represent upper limits at an 84% confidence level [5].

11. IL COSMO IN GRANDE

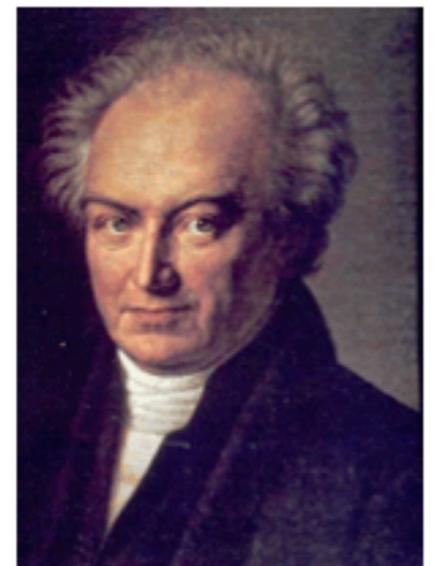
Il paradosso di Olbers

- La visione piu' immediata dell'Universo in grande e' che esso sia euclideo e di estensione infinita
- per quanto riguarda l'evoluzione nel tempo, stelle e galassie individuali possono nascere e morire, ma potremmo pensare che, nel complesso, *su grande* scala, l'Universo sia in uno stato stazionario.
- Questa visione, prevalente nella scienza dall'antichita' fino ai primi decenni del Novecento, si scontra con un semplice fatto osservativo: il cielo di notte e' blu.
- Il paradosso prende il nome dall'astronomo Heinrich Wilhelm Matthäus Olbers, (1758–1840)

German physician and skilled amateur astronomer who discovered the asteroids **Pallas** (1802) and **Vesta** (1807), rediscovered **Ceres** based on a position predicted by Carl **Gauss**, and found five **comets** (in 1798, 1802, 1804, 1815, and 1821) one of which (that of 1815) bears his name. He also formulated a method of calculating the orbits of comets (1779), which became standard in the 19th century; rediscovered the planet Uranus (1781); proposed that the pressure of light is responsible for comet's tails always pointing away from the Sun (1811); and first drew attention to what became known as **Olbers' Paradox** (1823).

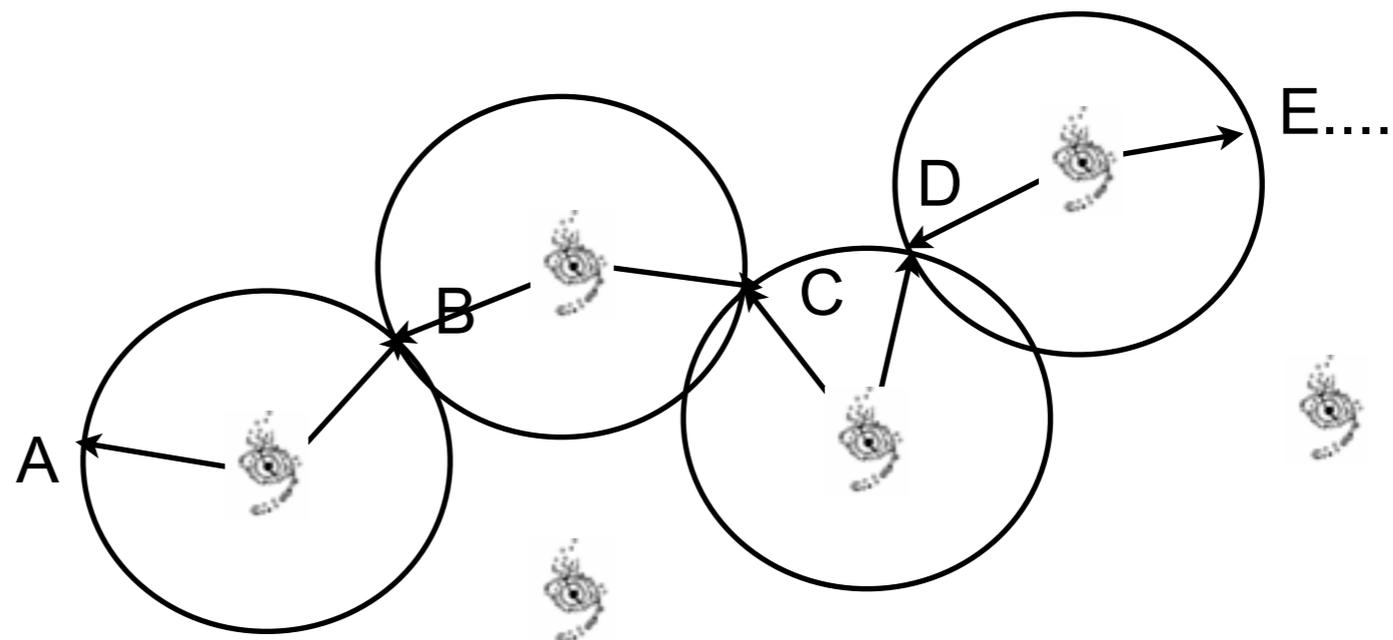
Olbers was a supporter of **pluralism** and of the increasingly contentious idea that the Moon was inhabited by intelligent beings (see **Moon, life on**). In the same paper in which he presented his famous paradox, he wrote that it is "most highly probable" that "all of infinite space is filled with suns and their retinues of planets and comets."

Olbers was born at Arbergen, a village of Bremen, studied medicine at Göttingen from 1777 to 1780, at subsequently practiced at Bremen. In 1811 he was a successful competitor for the prize proposed by Napoleon for the best "Memoir on the Croup."



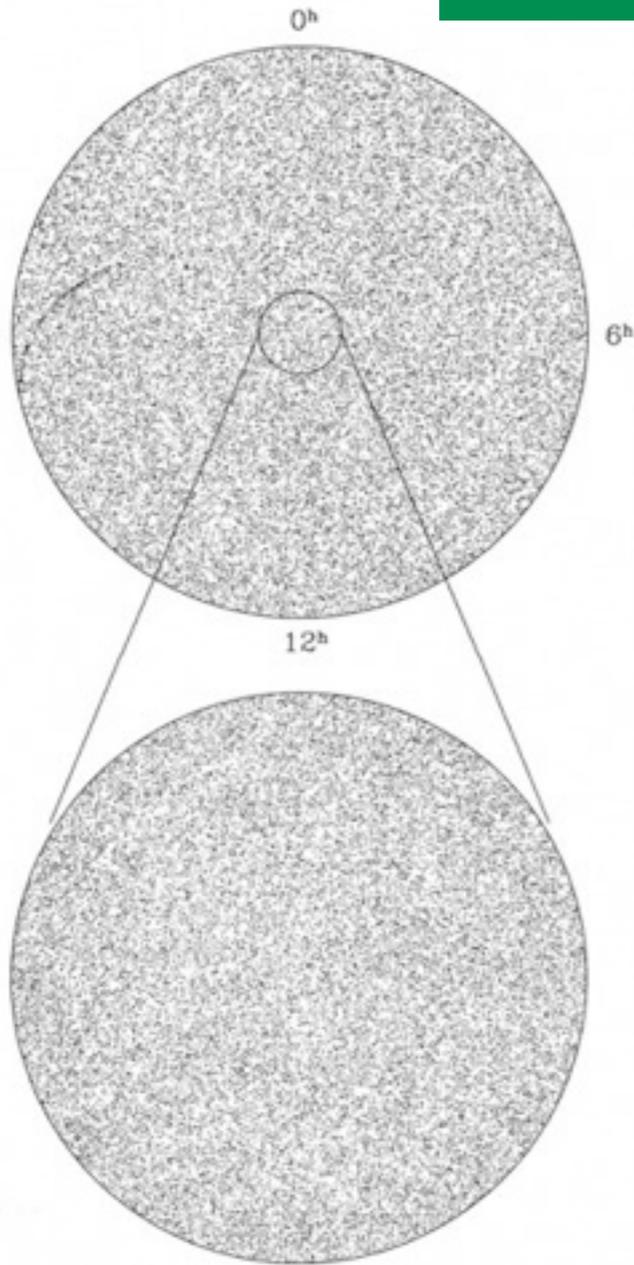
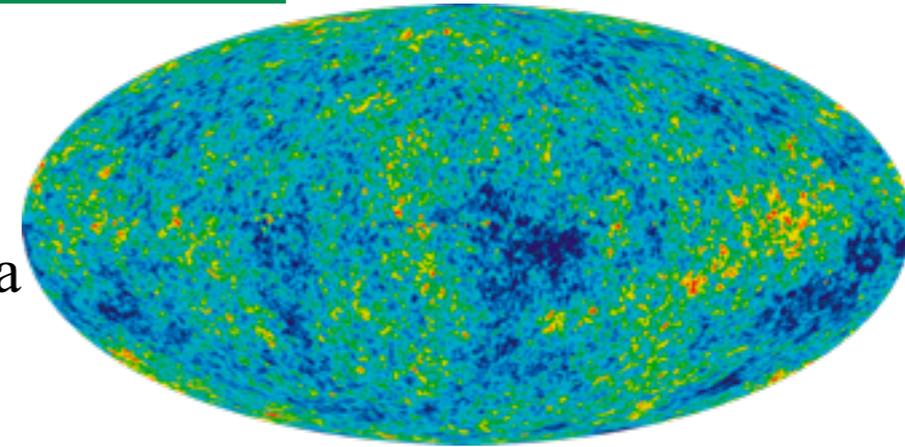
Il Principio di Mach e i Principi Cosmologico/Copernicano

- Mach: *Il sistema inerziale locale e' determinato dal moto, mediato in qualche modo, delle stelle (delle masse) lontane*
- e' un effetto dei corpi lontani, come il paradosso di Olbers
- P. Cosmologico: *la distribuzione di massa nel'Universo, mediata su dimensioni > della distanza tra cluster di galassia (diciamo 1000 Mpc) e' uniforme (Universo omogeneo)*
- P. Cosmologico attenuato: *la distribuzione e' isotropa (Universo isotropo)*
- P. Copernicano: *non ci sono osservatori privilegiati, ma solo osservatori tipici*
- tutti gli o. tipici sono equivalenti, i.e. *vedono lo stesso Universo, in media*
- Nota: se U. e' isotropo per tutti gli osservatori, U. e' anche omogeneo: *Isotropia in ogni punto=Omogenita'*
- $A=...=E$



Isotropia: da 0.1 milli eV a 10 EeV

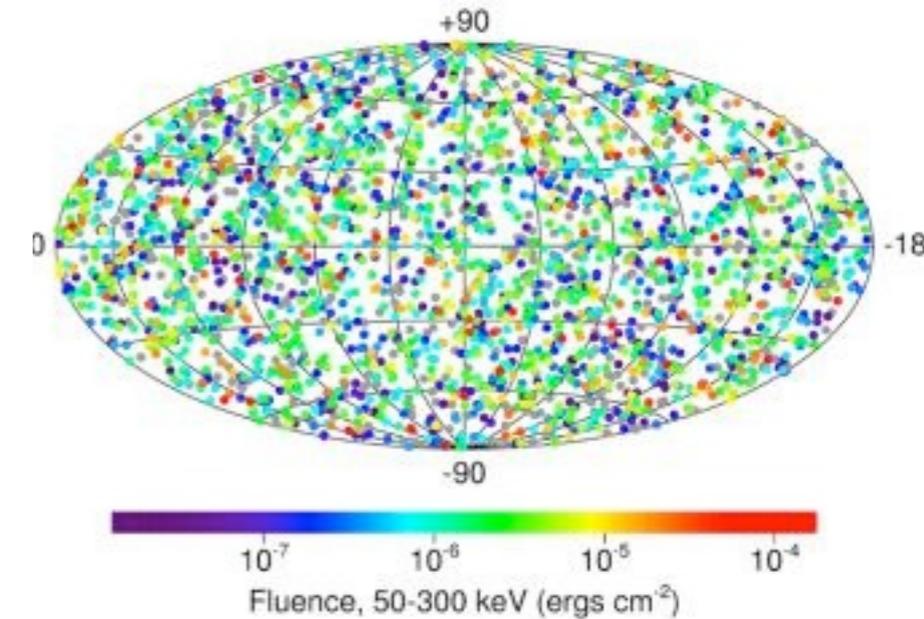
- CMB:
- Distribuzione del CMB, dopo sottrazione dell'asimmetria (di dipolo) dovuta al moto della Terra insieme alla Galassia
- le fluttuazioni di temperatura visibili sono dell'ordine $\Delta T/T \sim 10^{-6}$
- energia dei fotoni del CMB $\sim 3 \cdot 10^{-4}$ eV



Conteggio delle Galassie

- all-sky map of the locations of objects detected by radio telescopes

2691 BATSE Gamma-Ray Bursts



eventi con $E > 10^{19}$ eV

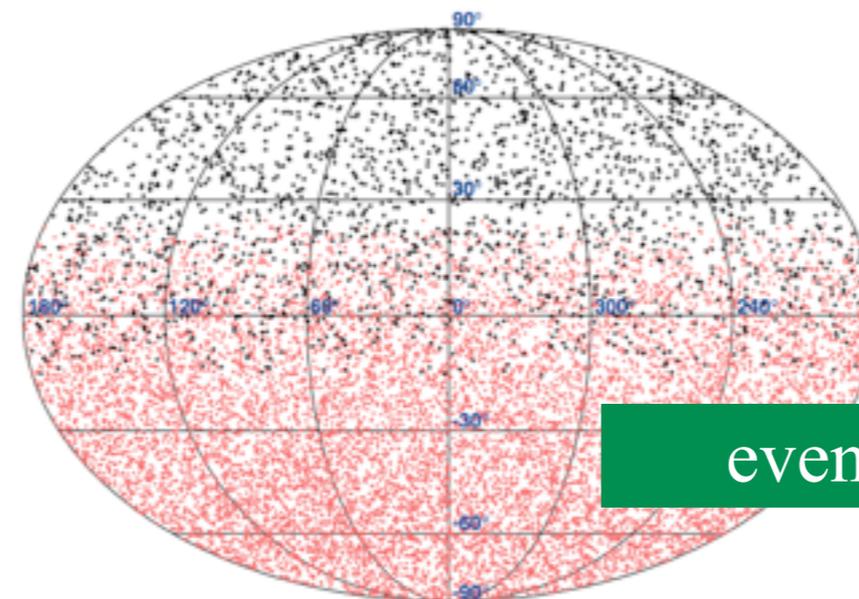
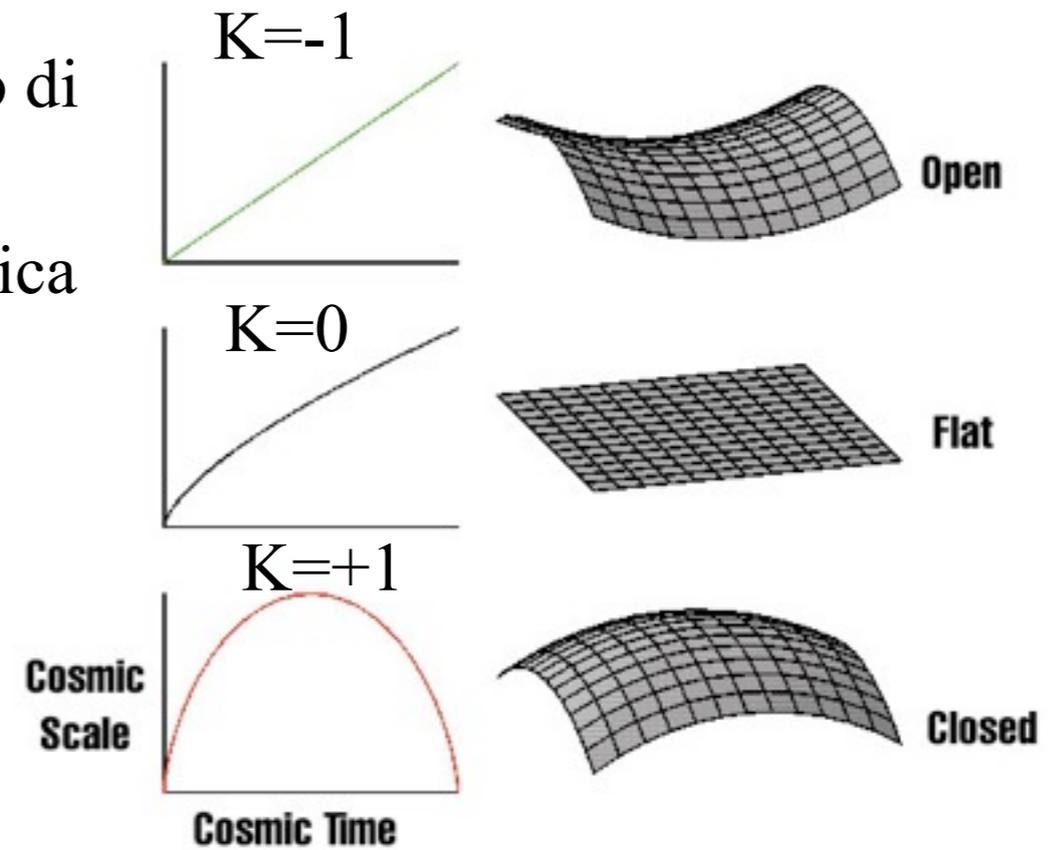


Figure 7. Arrival directions of Auger (red points in the south hemisphere) and Telescope Array events (black crosses in the northern hemisphere) above 10^{19} eV in equatorial coordinates, using a Mollweide projection. (A color version of this figure is available in the online journal.)

6. Gli universi di Friedman e Lemaitre

- negli anni '20 e '30, Alexander Friedmann, Georges Lemaître, Howard P. Robertson and Arthur Geoffrey Walker risolvono le equazioni di Einstein con e senza costante cosmologica e le applicano all'Universo in espansione che si stava scoprendo con le osservazioni di Hubble e altri
- le soluzioni davano la funzione di scala, $a(t)$, per fissati valori della composizione dell'Universo, in termini di ρ , p e Λ
- come per il sasso lanciato in verticale, le soluzioni sono di tre tipi, U. aperto, limite e chiuso
- corrispondono ai tre valori della curvatura K nella metrica di R&W
- il valore di K e' determinato dal contenuto di massa-energia nell'Universo, a sua volta individuato da un parametro cosmologico indicato con Ω



• definiamo:

$$\Omega_i = \frac{8\pi G}{3H_0^2} \rho_i, \quad (i = \text{mat.}, \text{ rad.}), \quad \Omega_\Lambda = \frac{\Lambda}{3H_0^2}$$

$$\Omega_{tot} = \sum_i \Omega_i + \Omega_\Lambda = 1 + \frac{K}{R_0 H_0^2}$$

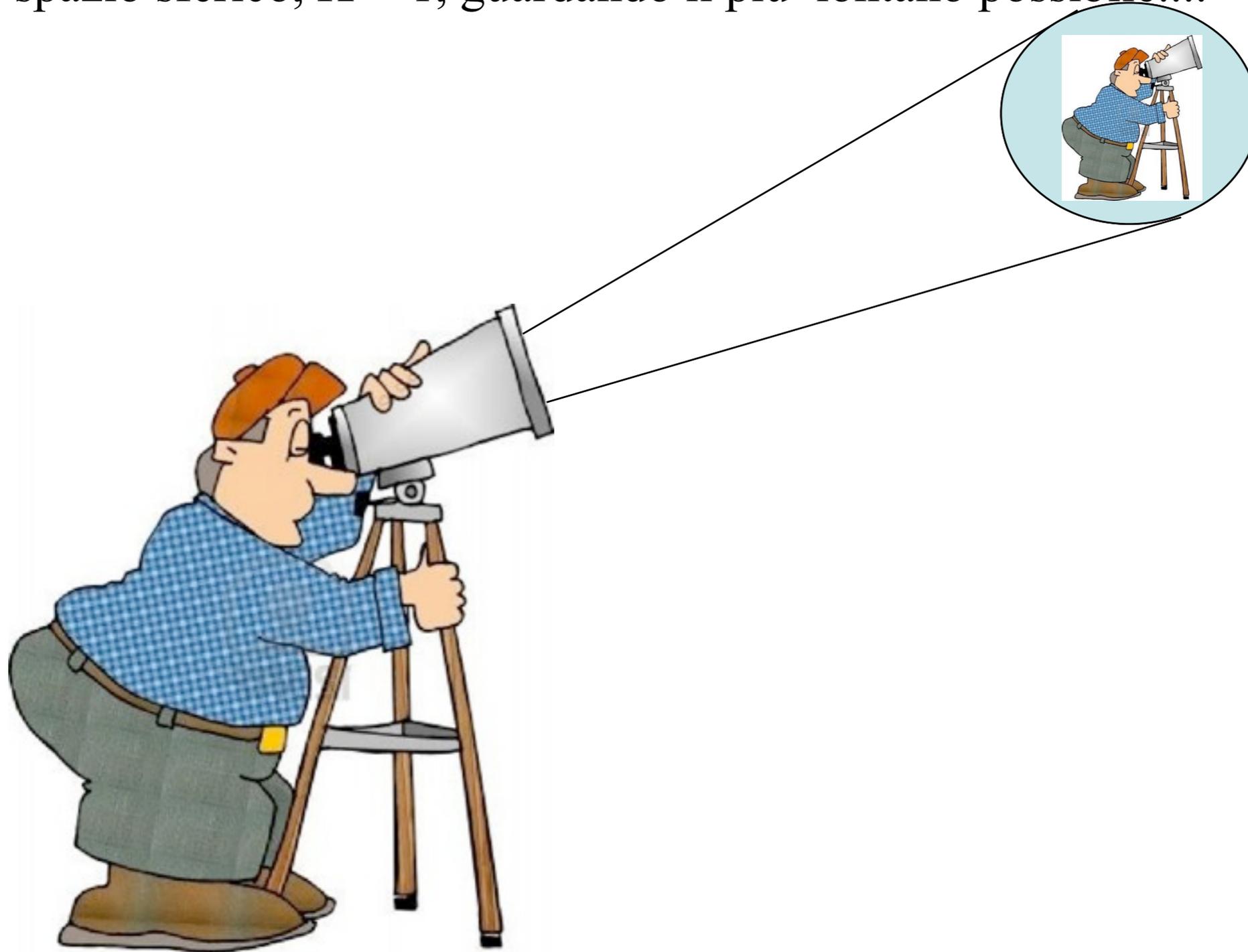
Universo chiuso/piatto/aperto : $\Omega_{tot} = (> 1, 1, < 1)$

densita' critica:

$$\rho_c = \frac{3H_0^2}{8\pi G} = 0.915 \cdot 10^{-29} \text{ gr/cm}^3 \left(\frac{H_0}{70 \text{ km/s/Mpc}} \right)^2$$

$\approx 5 \text{ protoni/m}^3$

- Nello spazio sferico, $K=+1$, guardando il piu' lontano possibile....



12. NUCLEOSINTESI PRIMORDIALE

Standard Big-Bang Nucleosynthesis after Planck

Alain Coc

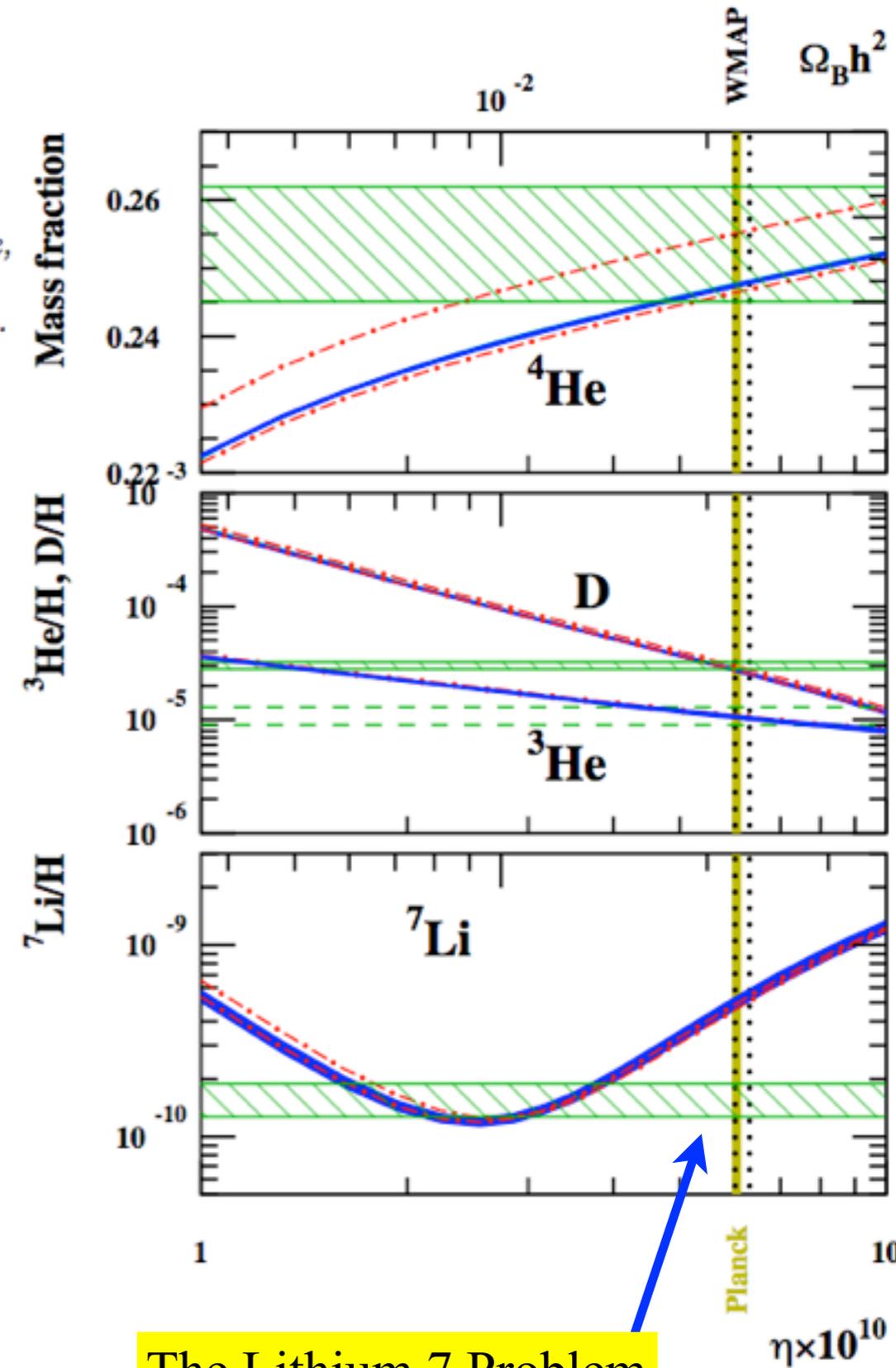
Centre de Sciences Nucléaires et de Sciences de la Matière (CSNSM), CNRS/IN2P3,
Université Paris Sud 11, UMR 8609, Bâtiment 104, F-91405 Orsay Campus (France).

Jean-Philippe Uzan and Elisabeth Vangioni

(1) Institut d'Astrophysique de Paris, UMR-7095 du CNRS, Université Pierre et Marie Curie,
98 bis bd Arago, 75014 Paris (France),

(2) Sorbonne Universités, Institut Lagrange de Paris, 98 bis bd Arago, 75014 Paris (France).

Fig. 1.— (Color online) Abundances of ^4He , D , ^3He and ^7Li (blue) as a function of the baryon over photon ratio (bottom) or baryonic density (top). The vertical areas corresponds to the WMAP (dot, black) and Planck (solid, yellow) baryonic densities while the horizontal areas (green) represent the adopted observational abundances; see text. The (red) dot-dashed lines correspond to the extreme values of the *effective* neutrino families coming from CMB Planck study, $N_{\text{eff}} = (3.02, 3.70)$; see text.



The Lithium 7 Problem

ABSTRACT

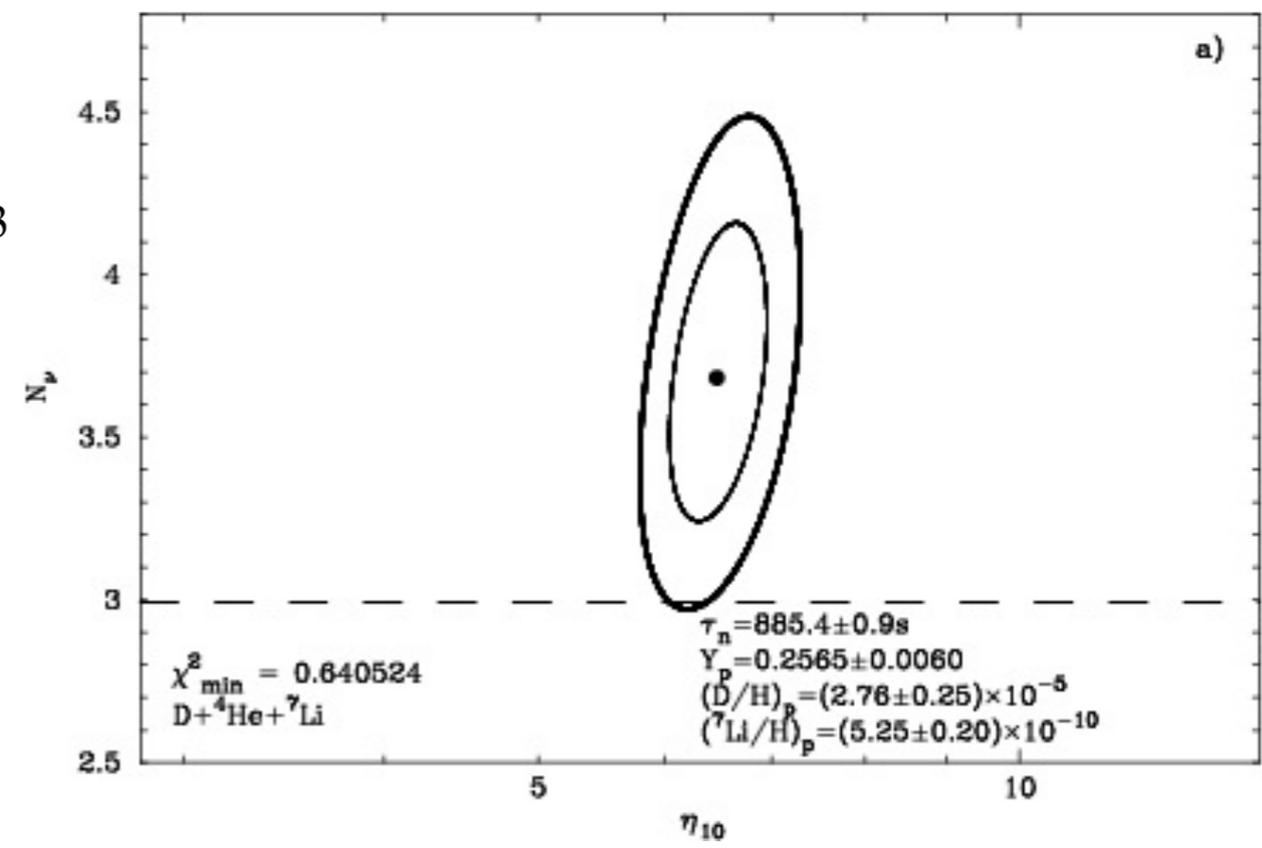
We present a new determination of the primordial helium mass fraction Y_p , based on 93 spectra of 86 low-metallicity extragalactic H II regions, and taking into account the latest developments concerning systematic effects. These include collisional and fluorescent enhancements of He I recombination lines, underlying He I stellar absorption lines, collisional and fluorescent excitation of hydrogen lines and temperature and ionization structure of the H II region. Using Monte Carlo methods to solve simultaneously for the above systematic effects, we find the best value to be $Y_p = 0.2565 \pm 0.0010(\text{stat.}) \pm 0.0050(\text{syst.})$. This value is higher at the 2σ level than the value given by Standard Big Bang Nucleosynthesis (SBBN), implying deviations from it. The effective number of light neutrino species N_ν is equal to $3.68^{+0.80}_{-0.70}$ (2σ) and $3.80^{+0.80}_{-0.70}$ (2σ) for a neutron lifetime τ_n equal to 885.4 ± 0.9 s and 878.5 ± 0.8 s, respectively, i.e. it is larger than the experimental value of 2.993 ± 0.011 .

$$\eta_B = (6.5 \pm 1.5) 10^{-10}$$

$$\text{ovvero: } n_B = 370 \cdot 10^6 \cdot \eta_B = (0.24 \pm 0.05) \text{ protoni/m}^3$$

$$\Omega_B = 0.045$$

conferma l'esistenza di materia oscura



13. LEGGE DI HUBBLE E OLTRE

la distanza e' plottata come magnitudo, scala logaritmica, m
 grande=oggetto meno luminoso=piu' distante

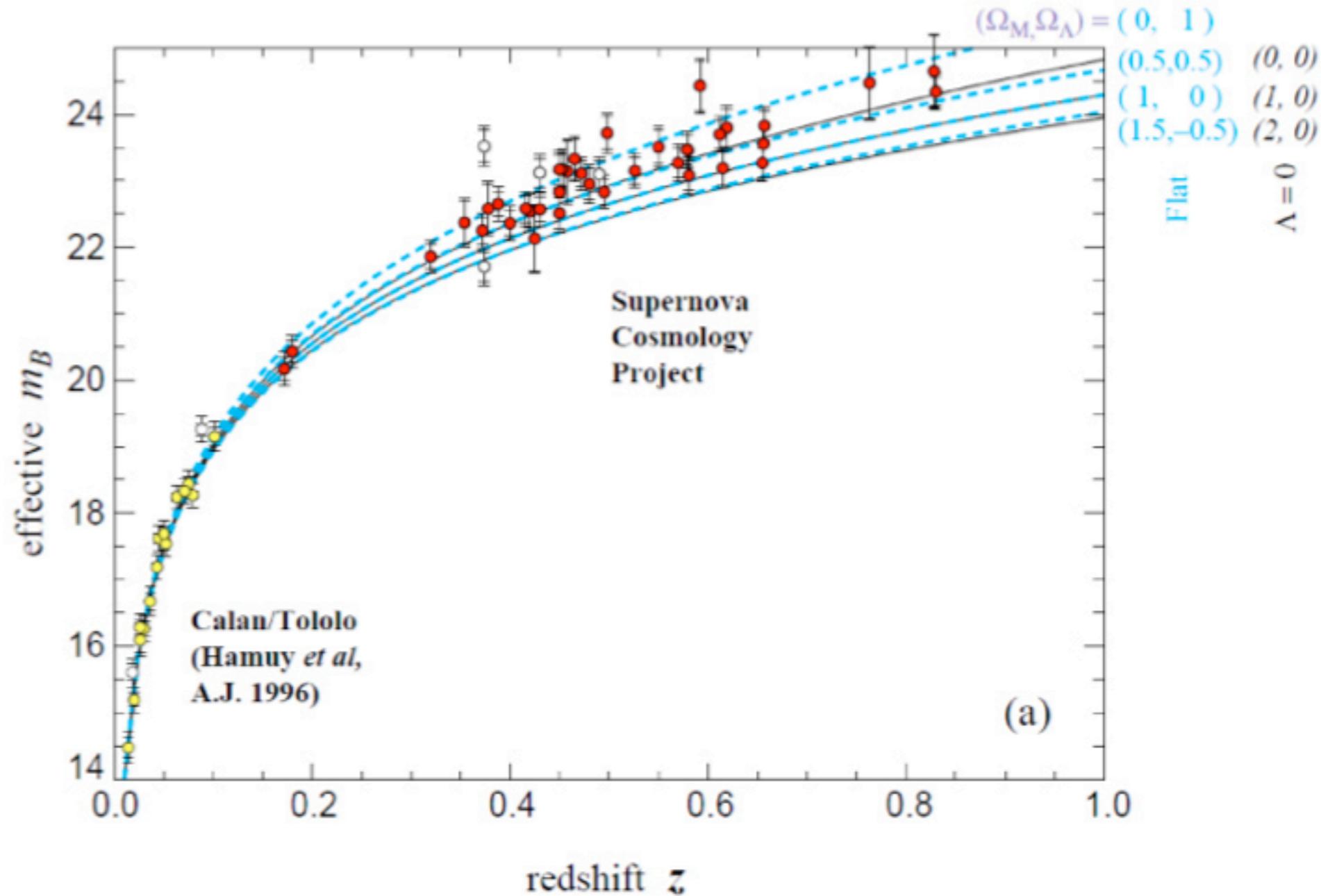


Figure 1: The Hubble diagram for 42 high redshift type Ia supernovae from SCP and 18 low redshift supernovae from the Calan/Tololo Supernova Survey. The solid curves represent a range of cosmological models with $\Lambda = 0$ and $\Omega_M = 0, 1$ and 2 . The dashed curves show a range of "flat" models where $\Omega_M + \Omega_\Lambda = 1$. Note the linear redshift scale.

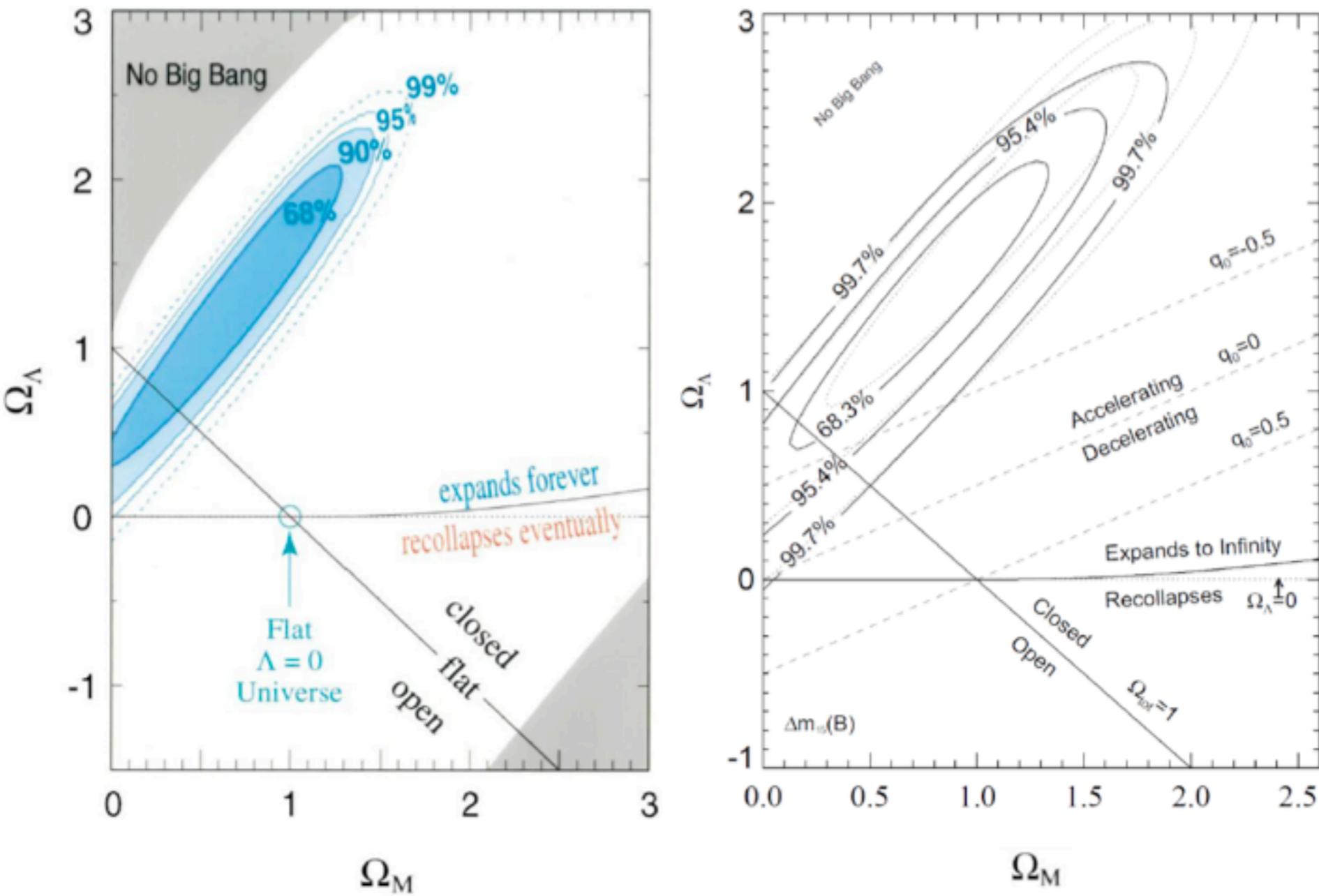


Figure 2. The left-hand panel shows the results of fitting the SCP supernova data to cosmological models, with arbitrary Ω_M and Ω_Λ [28]. The right-hand panel shows the corresponding results from HZT [27].

14. FLUTTUAZIONI PRIMORDIALI

Lezione Fermi 28

Luciano Maiani, AA 14-15

Le fluttuazioni del Fondo Cosmico di Microonde

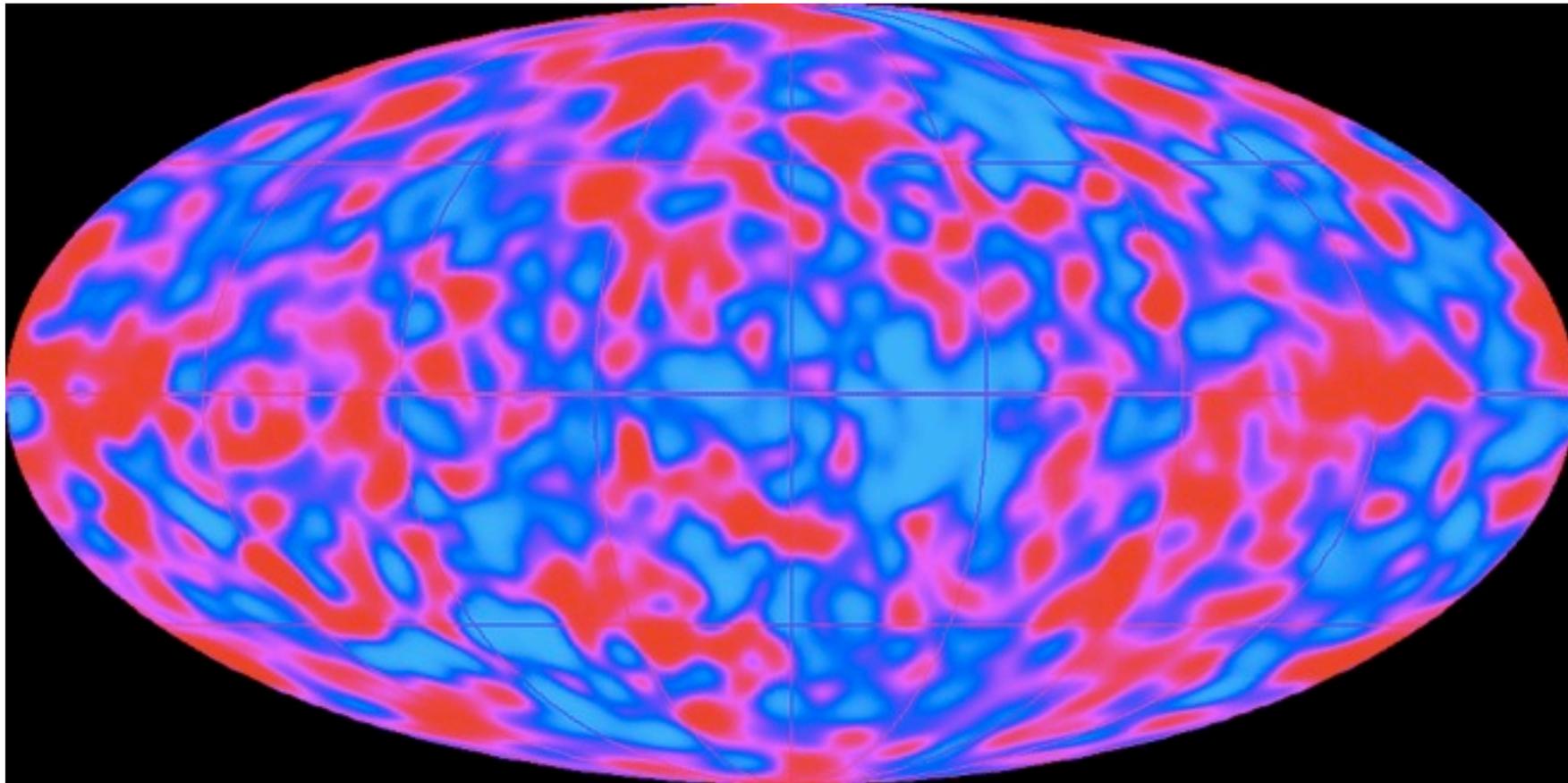
Italo Calvino. *Tutto in un punto*. Le Cosmicomiche. Einaudi (1965).

Attraverso i calcoli iniziati da Edwin P. Hubble sulla velocità d'allontanamento delle galassie, si può stabilire il momento in cui tutta la materia dell'universo era concentrata in un punto solo, prima di cominciare a espandersi nello spazio.

Si capisce che si stava tutti lì, - fece il vecchio *Qfwfq*, - e dove, altrimenti? Che ci potesse essere lo spazio, nessuno ancora lo sapeva. E il tempo, idem: cosa volete che ce ne facessimo, del tempo, stando lì pigiati come acciughe?

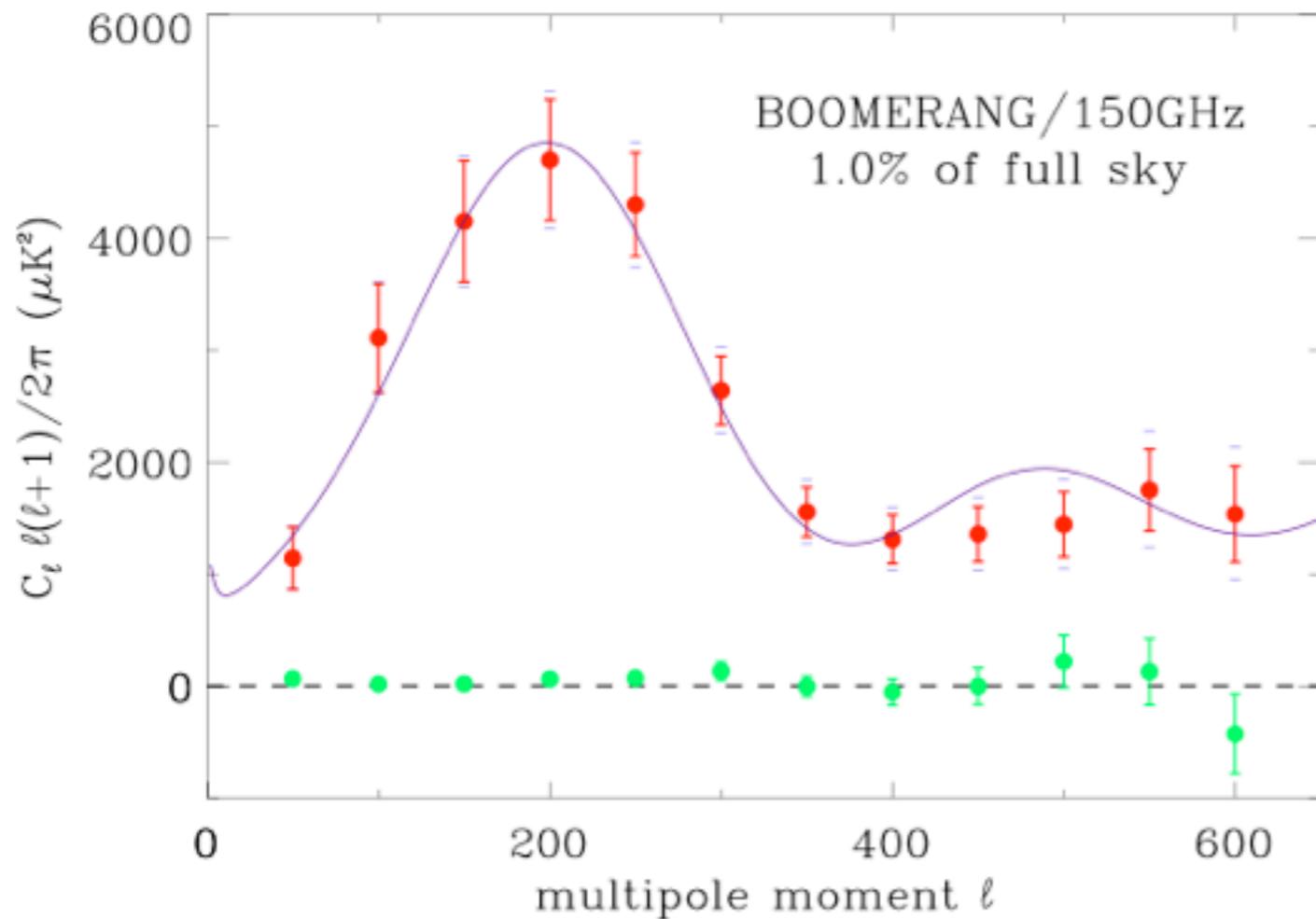
Sommario

1. Creazione spontanea e Big-Bang
2. Le anisotropie del CMB
3. COsmic Background Observer (COBE): misure di precisione da satellite
4. Lo spettro di potenza delle anisotropie
5. BOOMERANG: l'Universo e' piatto
6. L'era dei satelliti: WMAP-NASA
7. Concordance- Λ CDM-Cosmology
8. PLANCK-ESA

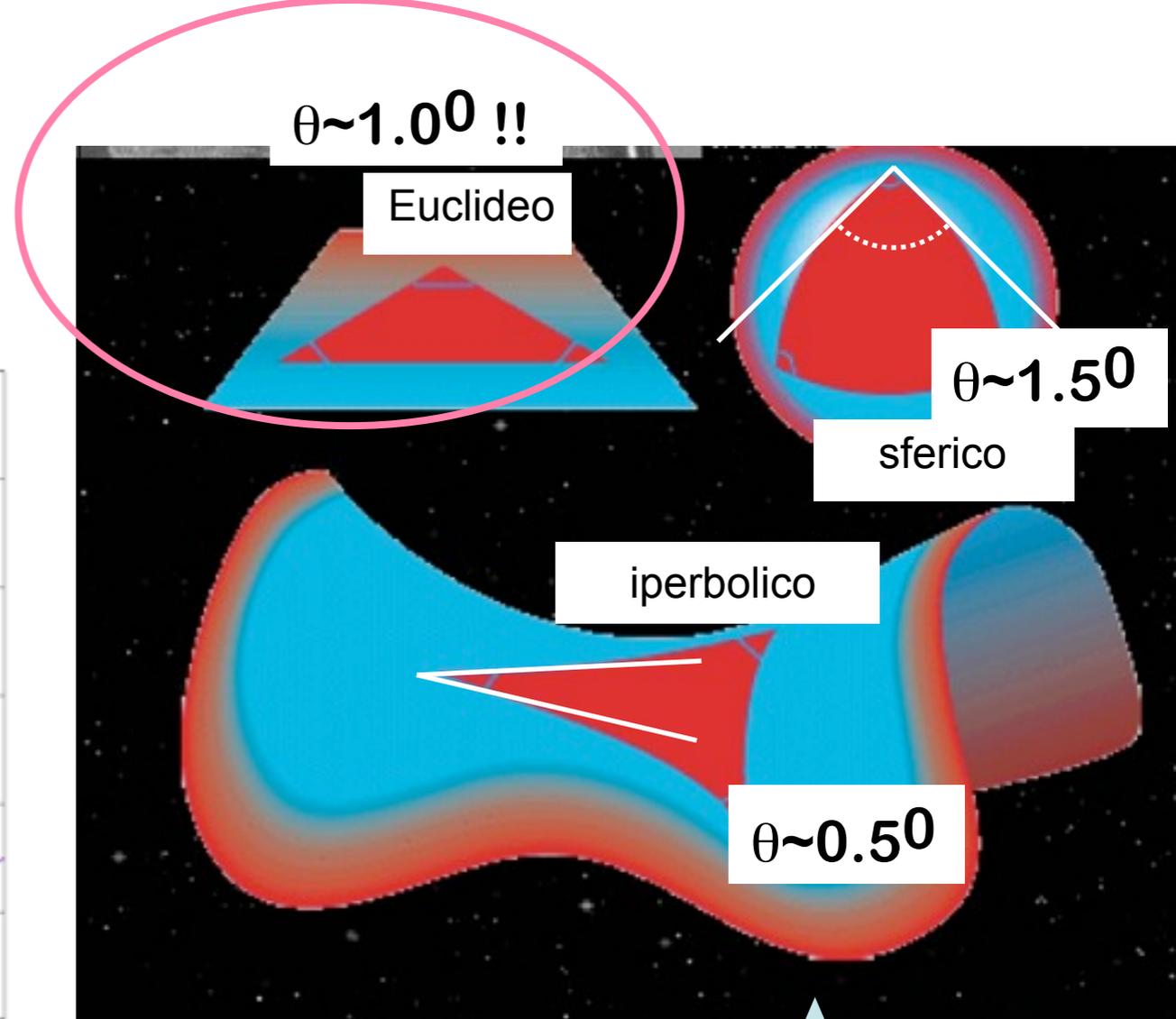


Le structure osservate hanno una dimensione angolare di circa 1°

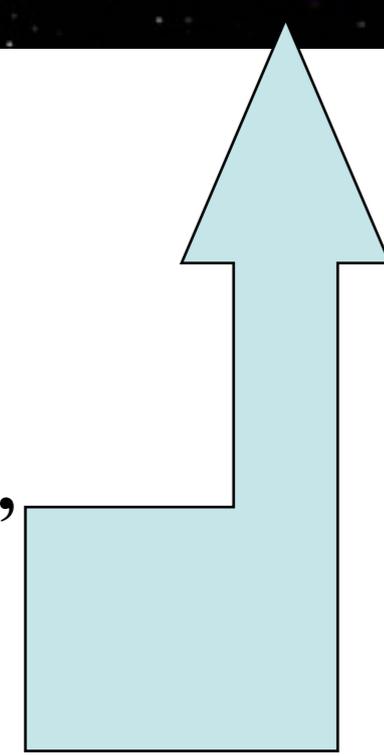
Picco acustico $\approx 1^\circ$



← $1/\theta$



Il picco principale corrisponde alle onde acustiche nel plasma, di cui conosciamo la lunghezza d'onda e la distanza da noi; l'angolo sotto cui le vediamo ci dice che l'Universo e' piatto: $\Omega=1$!!!!



7. Concordance - Λ CDM - Cosmology

Wikipedia. The Λ CDM (Lambda cold dark matter) or Lambda-CDM model is a parametrization of the Big Bang cosmological model in which the universe contains a cosmological constant, denoted by Lambda (Greek Λ), associated with dark energy, and cold dark matter (abbreviated CDM). It is frequently referred to as the standard model of Big Bang cosmology, since it is the simplest model that provides a reasonably good account of the following properties of the cosmos:

- *the existence and structure of the cosmic microwave background*
- *the large-scale structure in the distribution of galaxies*
- *the abundances of hydrogen (including deuterium), helium, and lithium*
- *the accelerating expansion of the universe observed in the light from distant galaxies and supernovae*

Oggi

Lez. 17

Lez. 22

Lez. 27

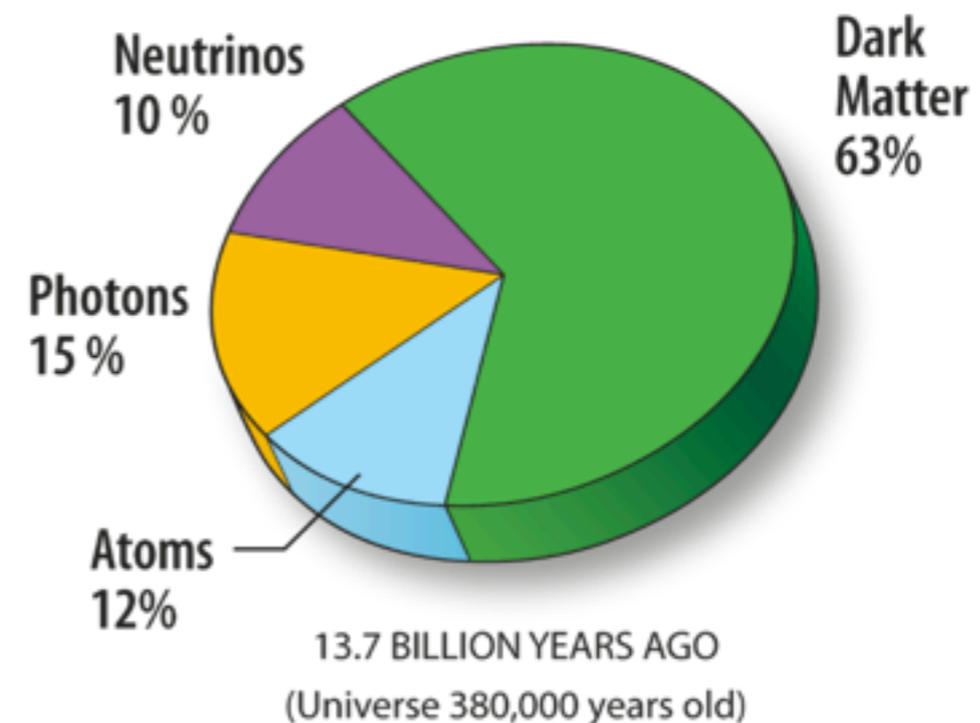
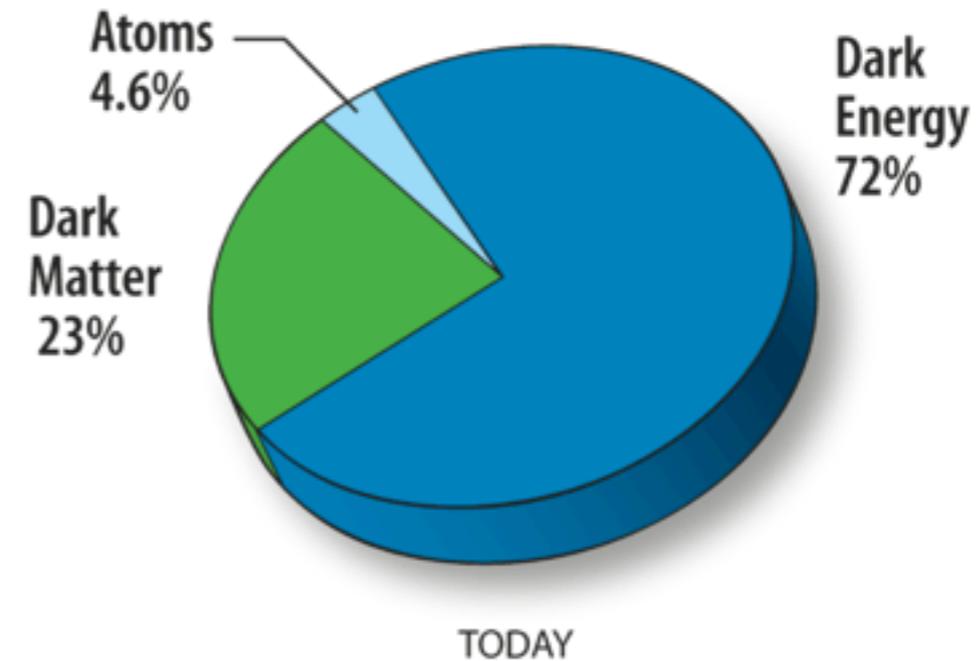
The model assumes that general relativity is the correct theory of gravity on cosmological scales. It emerged in the late 1990s as a concordance cosmology, after a period of time when disparate observed properties of the universe appeared mutually inconsistent, and there was no consensus on the makeup of the energy density of the universe.

The Λ CDM model can be extended by adding cosmological inflation, quintessence and other elements that are current areas of speculation and research in cosmology.

Some alternative models challenge the assumptions of the Λ CDM model. Examples of these are modified Newtonian dynamics, modified gravity and theories of large-scale variations in the matter density of the universe.

Composizione dell'Universo secondo WMAP (cont.)

- Componenti principali dell'Universo, oggi: materia oscura, materia barionica (densità circa 1/5 della DM), costante cosmologica
- Universo euclideo $\Omega_{\Lambda} + \Omega_m \approx 1$
- ricordiamo che:
$$\rho_{rad} \propto \frac{1}{a(t)^4}, \quad \rho_m \propto \frac{1}{a(t)^3}, \quad \rho_{\Lambda} \propto \frac{1}{a(t)^0}$$
- andando indietro nel tempo $a(t)$ diminuisce, quindi il contributo relativo della radiazione aumenta e quello della costante cosmologica diminuisce.
- la seconda figura mostra la situazione al momento della ricombinazione degli atomi: la radiazione e i neutrini fornivano una componente importante
- per tempi ancora inferiori, è la radiazione a dominare.



PLANCK: Concordance Cosmology alla prova

$$h = \frac{H_0}{100}$$

[1] Parameter	[5] 2015F(CHM)	[6] 2015F(CHM) (Plik)
$\Omega_b h^2$	0.02225 ± 0.00023	0.02222 ± 0.00023
$\Omega_c h^2$	0.1194 ± 0.0022	0.1199 ± 0.0022
H_0	67.48 ± 0.98	67.26 ± 0.98
n_s	0.9682 ± 0.0062	0.9652 ± 0.0062
Ω_m	0.313 ± 0.013	0.316 ± 0.014

NOTE:

dens. barioni* $h^2 \rightarrow \Omega_b = 0.049$
 dens. cold matter $\rightarrow \Omega_c = 0.264$
 Hubble cost. oggi
 indice spettrale (atteso: leggermente < 1 ,
 inflazione)
 densita' materia totale (nota: $\Omega_b + \Omega_c = 0.314$, non
 moltineutrini massivi!!!)

Parameter TT, TE, EE+lensing+ext

Ω_K	$0.0008^{+0.0040}_{-0.0039}$
Σm_ν [eV]	< 0.194
N_{eff}	$3.04^{+0.33}_{-0.33}$
Y_p	$0.249^{+0.025}_{-0.026}$
$dn_s/d \ln k$	$-0.002^{+0.013}_{-0.013}$
$r_{0.002}$	< 0.113
w	$-1.019^{+0.075}_{-0.080}$

$1 - \Omega_{\text{tot}}$ (Universo euclideo)
 limite sulla massa totale dei neutrini
 Numero effettivo dei neutrini (torna con Z^0 !!)
 abbondanza ^4He primordiale

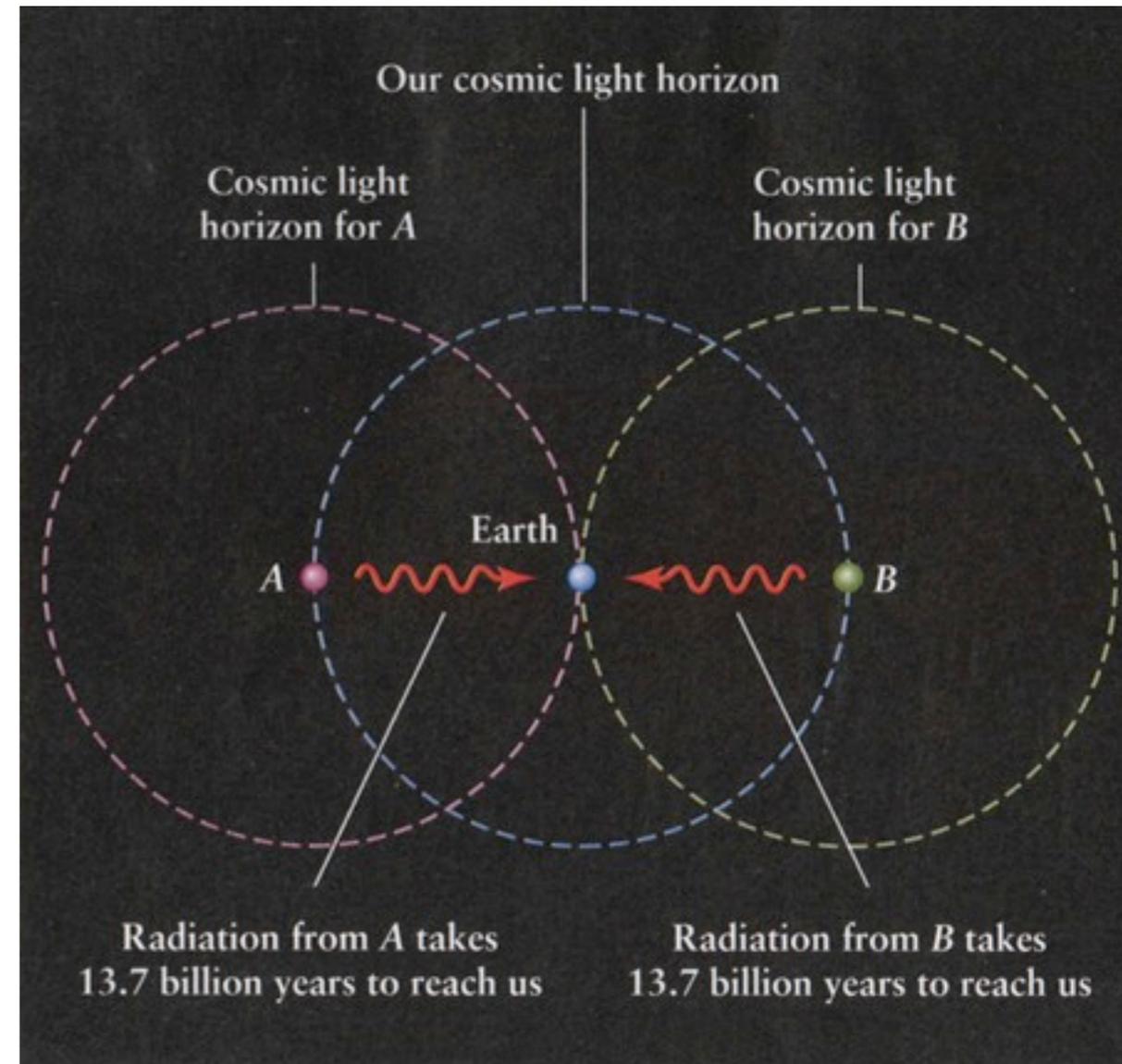
 coeff. equazione di stato dark energy (atteso: -1)

15. INFLAZIONE COSMICA

2. Superare il Big-Bang: perche'?

1. *Una temperatura troppo uniforme?* La temperatura della radiazione che proviene dalle diverse parti della superficie dell'ultima diffusione e' la stessa, entro fluttuazione relative che abbiamo visto essere dell'ordine di 10^{-5} . Tuttavia, regioni della LSS che hanno una distanza angolare tra loro superiore di circa 2° non hanno avuto il tempo, dall'inizio del Big-Bang, di trasmettersi segnali luminosi.

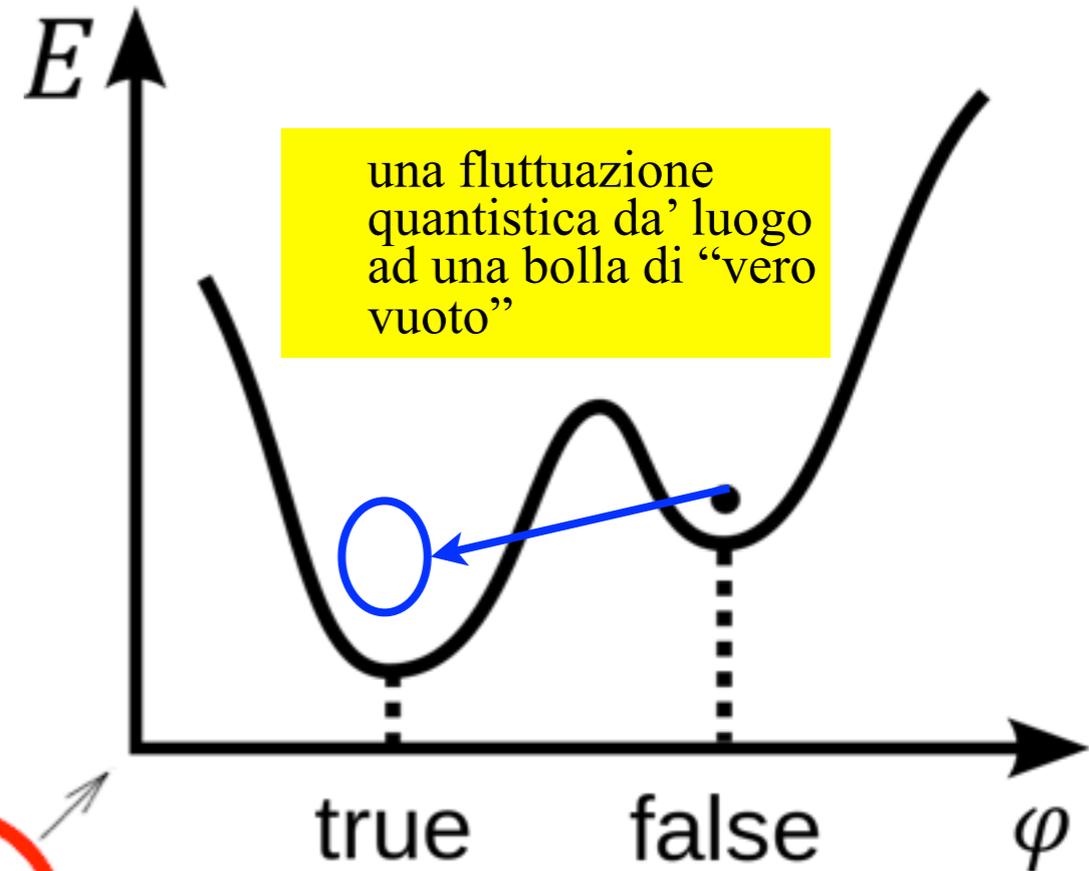
L'eguaglianza estrema delle loro temperature e' sospetta, come sarebbero due persone che danno esattamente la stessa versione di un fatto che nessuno dei due ha visto. Come e' avvenuta la sincronizzazione?



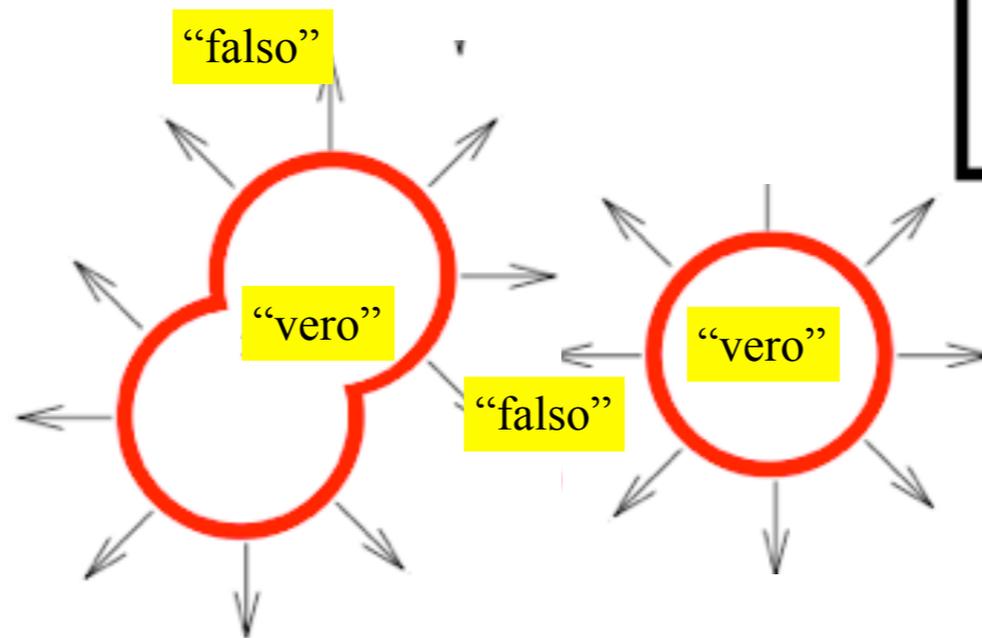
These photons could not have communicated with each other unless inflation took place during the very early Universe

“Vecchia inflazione”: transizione del 1° ordine al vero vuoto

- Partiamo da una temperatura altissime, $T > T_c$ e scendiamo verso $T=0$.
- Il campo di Higgs potrebbe restare intrappolato in un minimo secondario
- lo spazio si trova in uno stato di “falso vuoto” (un minimo relativo dell’energia), che e’ instabile

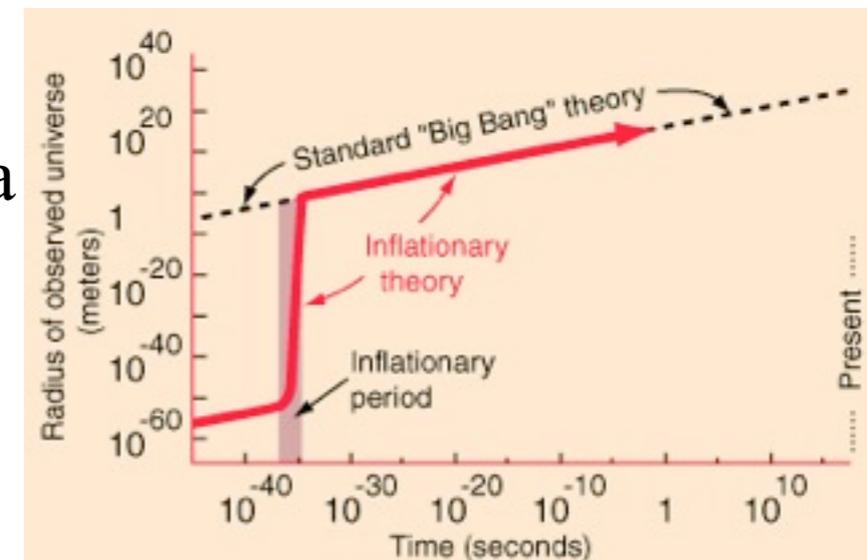


- per effetto tunnel quantistico si formano delle bolle di “vero vuoto”
- le bolle invadono tutto lo spazio fino a far scomparire il falso vuoto



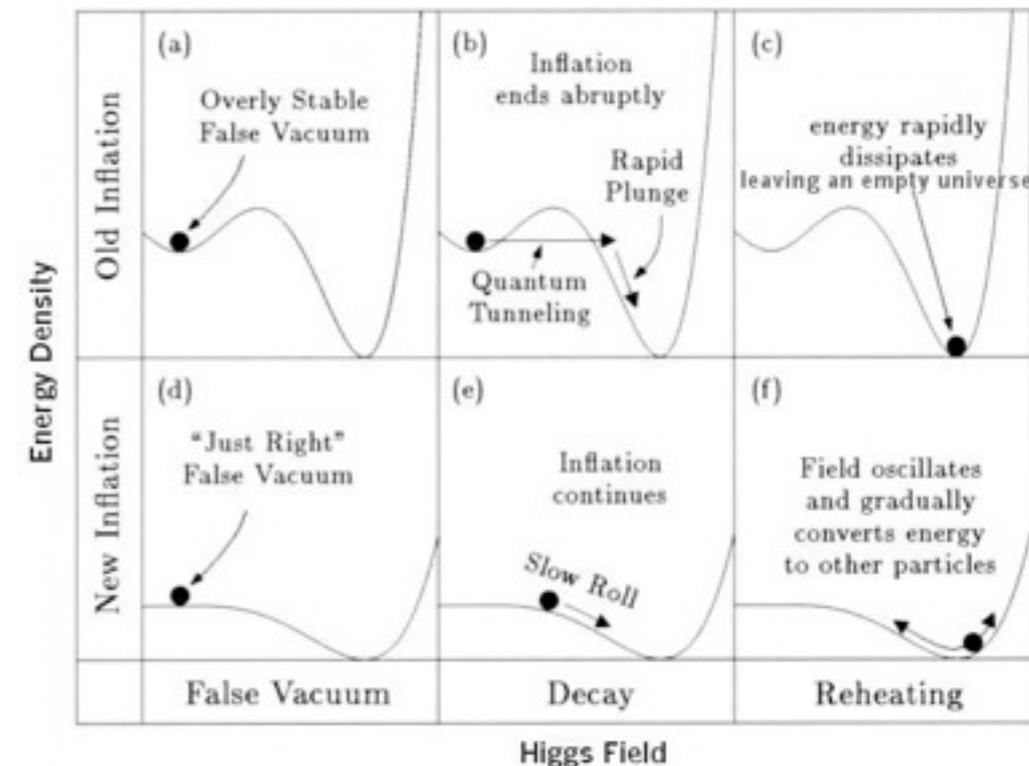
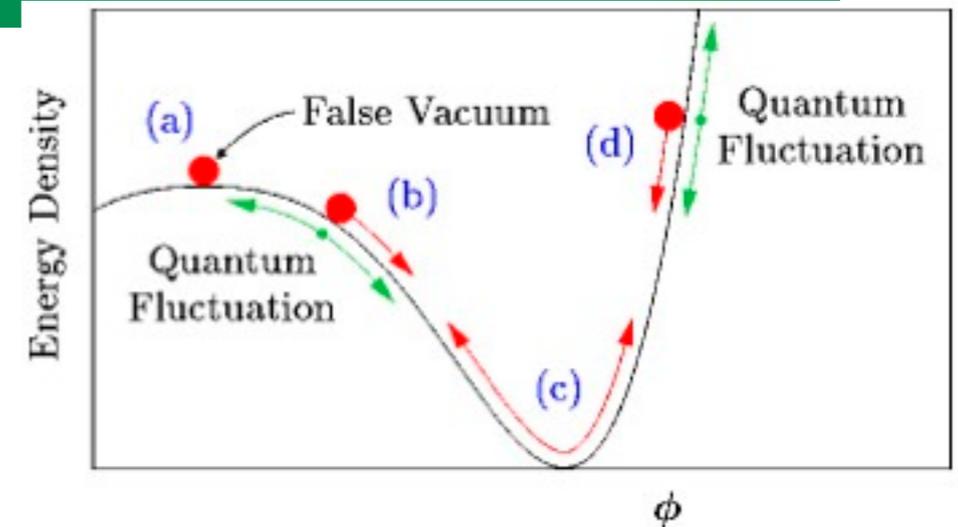
- Nel tempo in cui lo spazio resta nel falso vuoto, c’e’ solo l’energia del falso vuoto, che da’ una costante cosmologica
- il fattore $a(t) = Ae^{Ht}$ (!!!), la curvatura diminuisce esponenzialmente e Ω si schiaccia su 1 con un errore esponenzialmente piccolo: la nostra condizione iniziale

$$\frac{K}{H^2 a(t)^2} = \Omega_{tot} - 1$$



4. La nuova Inflazione (A. Linde e altri)

- Andrei Linde (1981) propone un diverso meccanismo.
- Il campo scalare e' un campo specifico, l'inflatone, accoppiato pochissimo alla materia
- il campo si trova, prima del Big Bang, a temperatura zero, su un potenziale quasi piatto
- nella fase di inflazione, il campo si muove lentamente verso il minimo del potenziale, secondo un moto che e' stato chiamato di "slow roll"
- quando arriva intorno al minimo, esegue oscillazioni che producono onde gravitazionali, materia e radiazione, riscaldando l'Universo ad una temperatura sopra la GUT (reheating) e mettendo in moto la macchina del Big Bang;
- Lo slow roll fornisce un meccanismo concreto per la graceful transition.
- Le fluttuazioni dell'inflatone sono il seme delle fluttuazioni del CMB e quindi delle strutture che vediamo nell'Universo
- Le onde gravitazionali produrrebbero degli effetti rilevabili nella polarizzazione del CMB
- l'esperimento BICEP2 sembrava aver rivelato effetti di questo tipo, ma i dati di PLANCK hanno messo seri dubbi che si trattasse di un fondo dovuto alla polvere cosmica



That's life... vedremo al prossimo round di misure

5. Inflazione caotica ed “eterna”?

- Nella Nuova Inflazione, l’inflatone parte da una condizione di quasi quiete e temperatura zero
 - Se consideriamo l’Universo in grande, ci sono punti in cui l’inflazione parte, formando bolle-Universo
 - e bolle che, alla fine dell’espansione, ricadono e si riassorbono con un Big Crunch.
- l’Universo in grande appare come un continuo caotico in cui Universi appaiono e scompaiono, ma che “sub specie eternitatis” e’ stazionario ed eterno
- non “creazione continua”, ma “inflazione e deflazioni continue”.
- L’inflazione caotica potrebbe dare un fondamento al Principio Antropico:
 - Universo con tutti i tipi di condizioni iniziali sono prima o poi possibili, anche quelli in cui le costanti di base assumono valori molto innatural
 - la vita si sviluppa solo in quelli in cui i parametri sono tali da rendere l’Universo “ospitale”

Wanted:

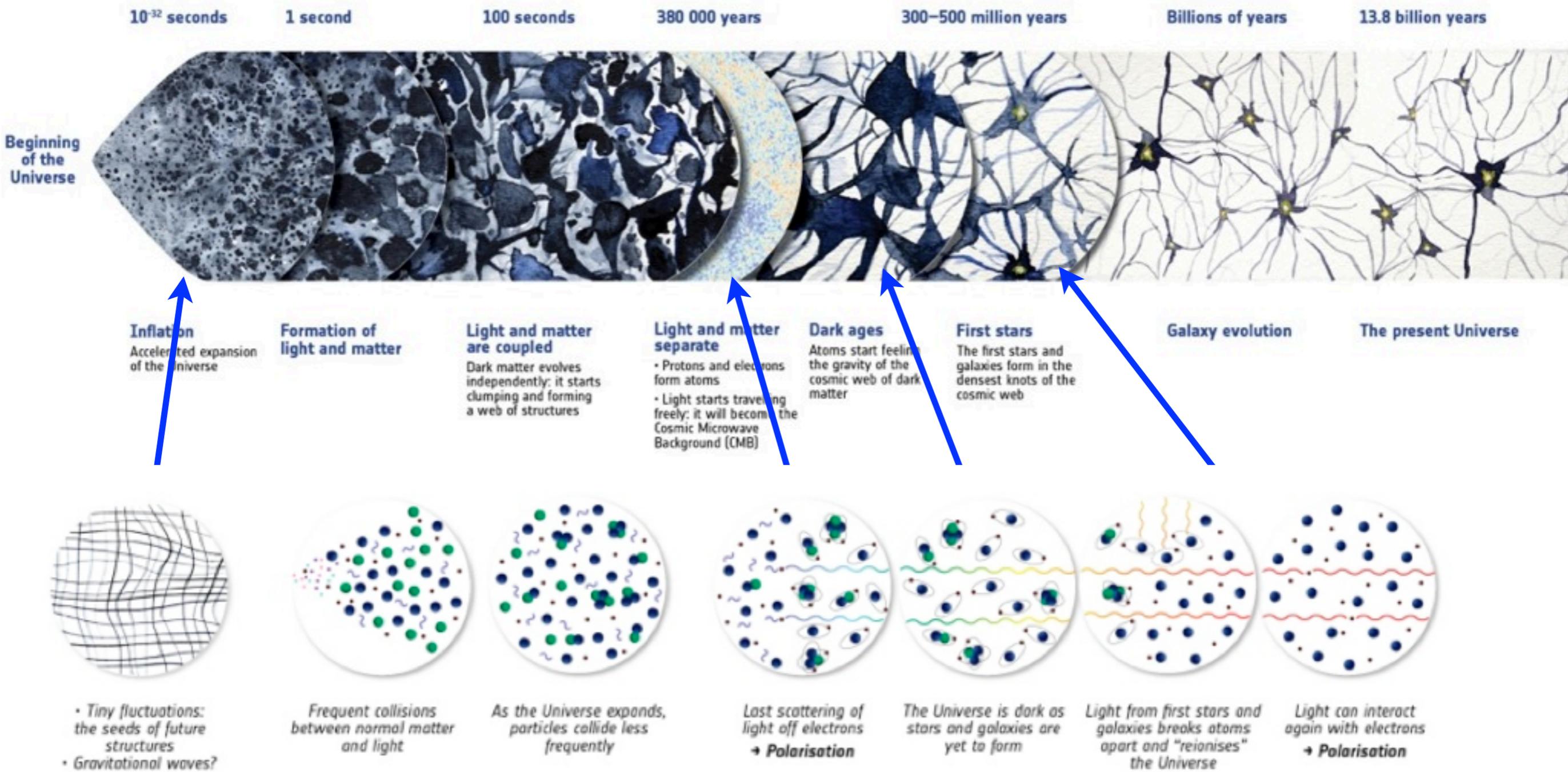
effetti fisici convincenti che possano mettere
alla prova queste idee ???

16. FRONTIERE



Storia del Cosmo dopo PLANCK

→ COSMIC HISTORY



Cosa resta da fare?

- Lavori di perfezionamento e approfondimento
 - esopianeti?
 - comete e pianeti
 -
 - la vita dal Cosmo? favola o realta'?
- Riempire i vuoti nel diagramma della vita dell' Universo:
 - onde gravitazionali ?
 - Raggi cosmici extragalattici? sorgenti?
 - cos'e' la Materia Oscura ?
 - le prime stelle ?
 - segnali da prima della nucleosintesi
 - bariogenesi?
 - segnali dall'inflazione (polarizzazione MCB)
 - e della quantum gravity ????
- Possiamo trovare nel Cosmo i segnali della Grande Unificazione? Cosmo come acceleratore del futuro?