

MASTERCLASS di PADOVA 2011, 14 – 16 marzo 2011

**LE TRE VIE ALLA NUOVA
FISICA AL DI LA' DEL
MODELLO STANDARD**

Antonio Masiero

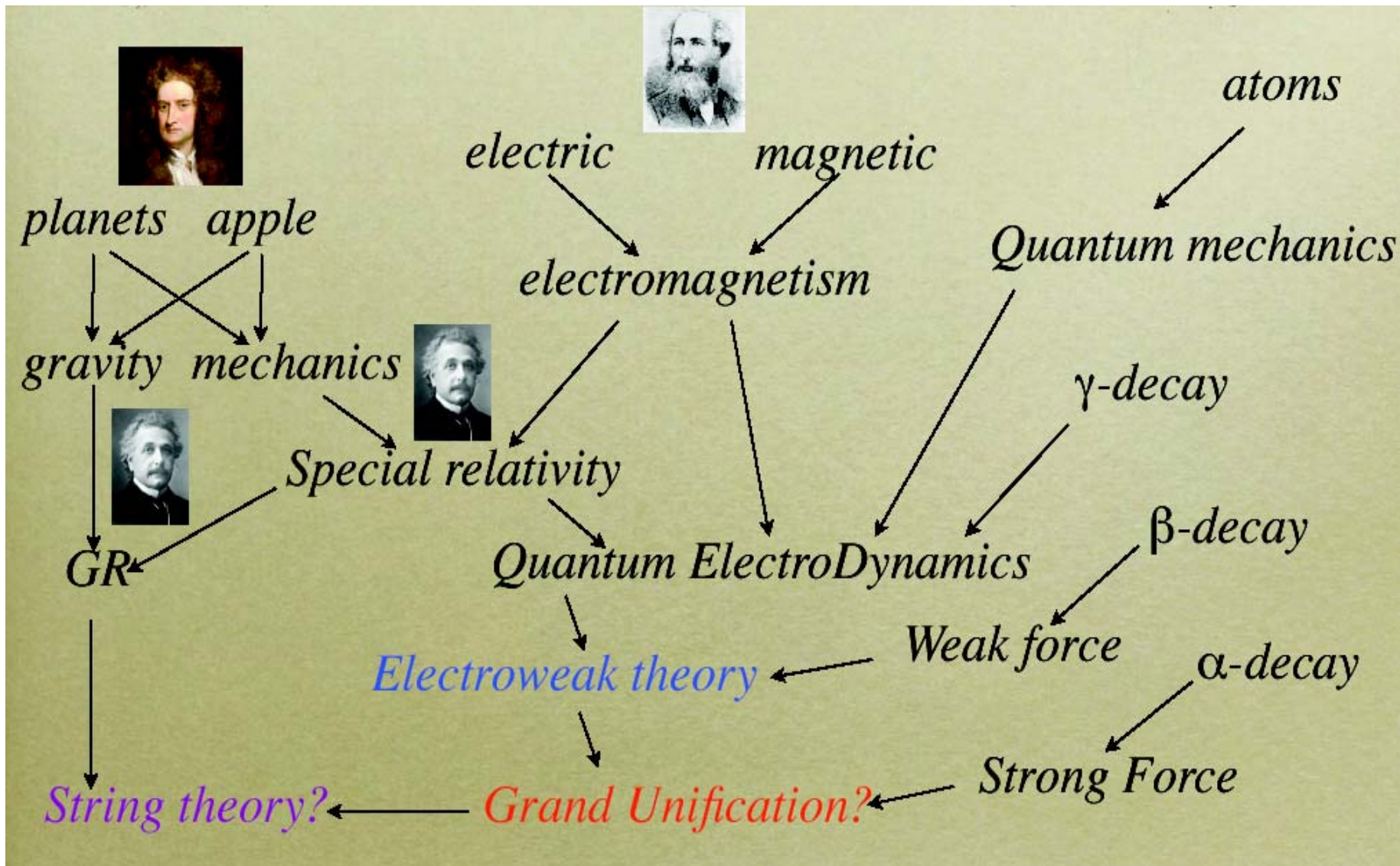
Universita' di Padova

e

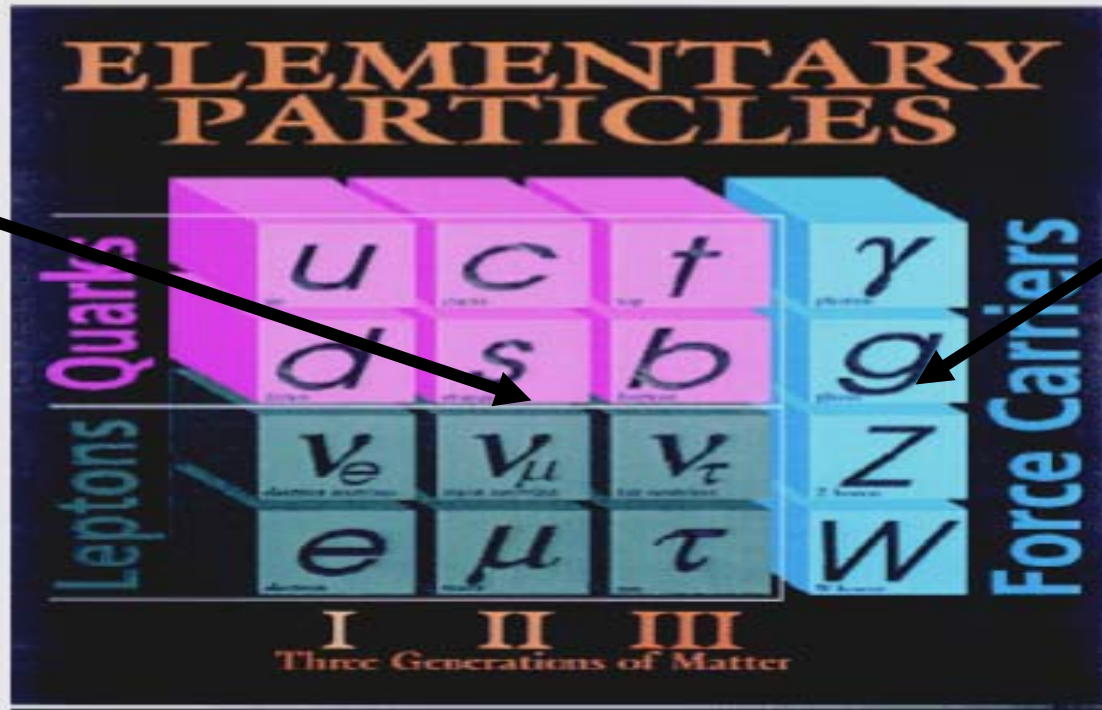
Istituto Nazionale di Fisica Nucleare,

Sezione di Padova

UNIFICAZIONE delle *INTERAZIONI FONDAMENTALI*



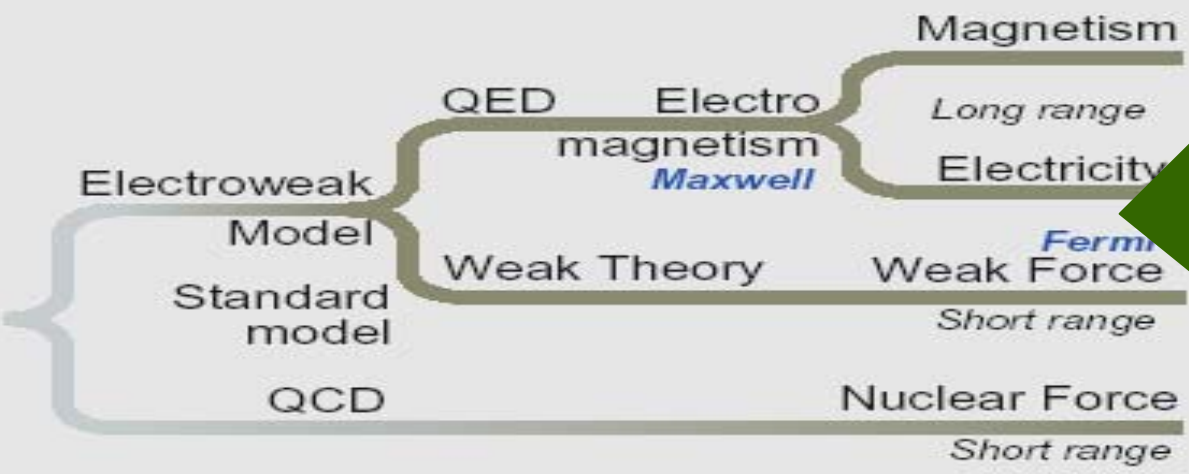
MODELLO STANDARD delle Interaz. Fondam.



RADIAZIONE

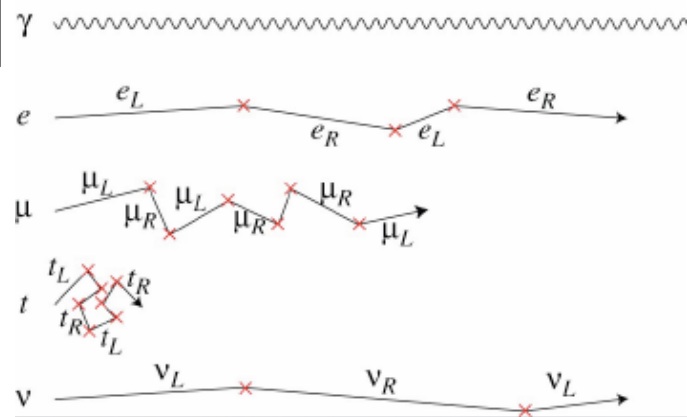
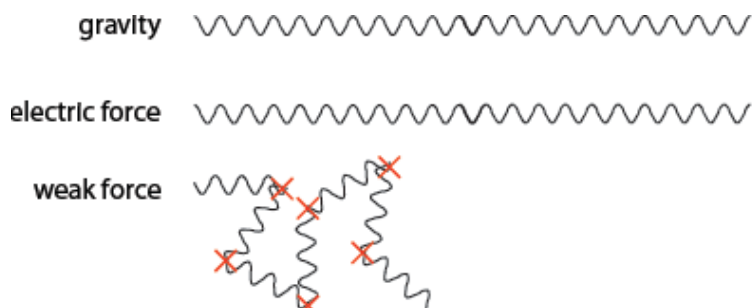
MATERIA

Grand Unified Theory
GUT




IL CAMPO DI HIGGS:

c'e' "qualcosa" che riempie l'intero Universo e che..

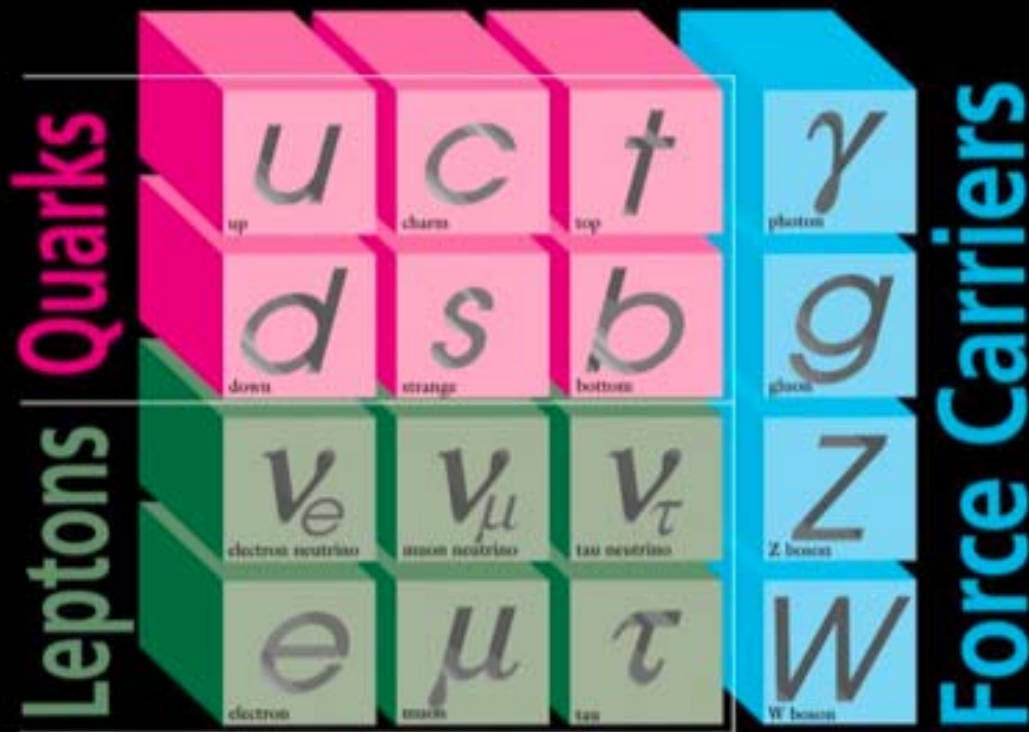


NON DISTURBA LA FORZA ELETTROMAGNETICA O QUELLA GRAVITAZIONALE, MA DISTURBA ("FA ATTRITO") CON LA FORZA DEBOLE RENDENDOLA DI CORTA DISTANZA E DANDO MASSA AI SUOI MEDIATORI, I BOSONI W, Z

TUTTA LA MATERIA – QUARK E LEPTONI PRENDONO MASSA DALL'ATTRITO CON QUESTO "CAMPO DI HIGGS" **ATTRITO PIU' GRANDE**  **MASSA PIU' GRANDE**

The Standard Model

Gravity
?



I II III
Three Generations of Matter

H
Higgs boson

?

Big Bang	Quark-Gluon Plasma		Protoni e neutroni	Protoni e Nuclei leggeri	Atomi →Galassie →Molecole→DNA
Gravità	Nucleare forte	Nucleare debole			



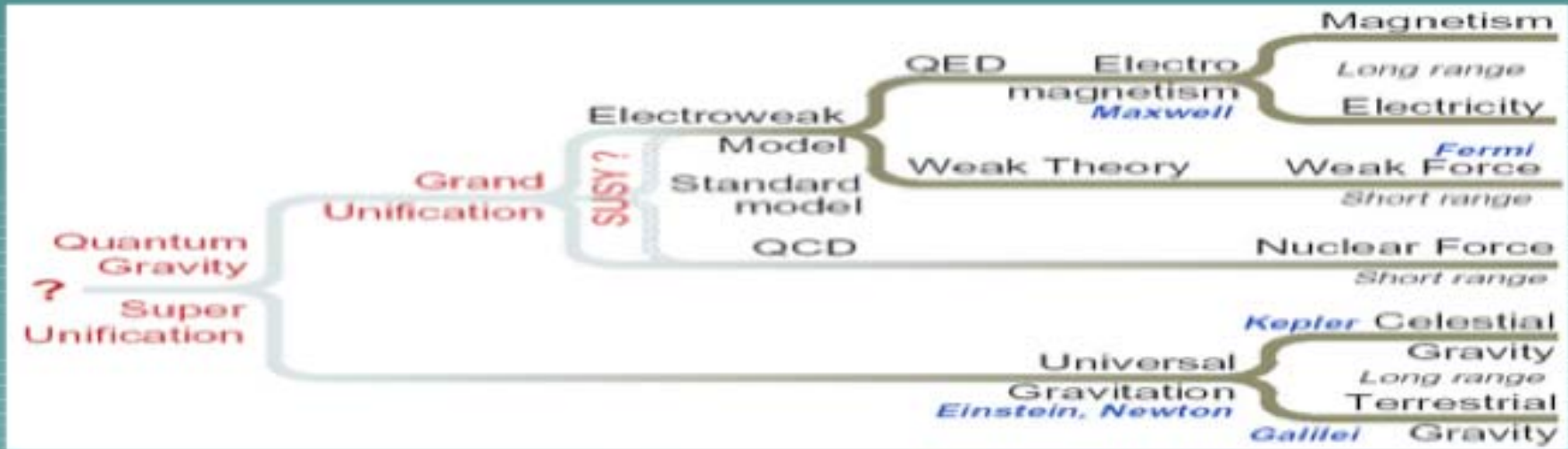
10^{-43} sec	10^{-32} sec	10^{-10} sec	10^{-4} sec	100 sec	300KY → 15GY
10^{-35} m	10^{-32} m	10^{-18} m	10^{-16} m	10^{-15} m	10^{-10} m
10^{19} GeV	10^{16} GeV	10^2 GeV	1 GeV	1 MeV	10 eV

???

LHC

LEP

Astronomia →



Theories:

STRINGS? RELATIVISTIC/QUANTUM CLASSICAL

INDICAZIONI DI NUOVA FISICA AL DI LA' DEL MODELLO STANDARD PARTICELLARE

- **MASSA DEI NEUTRINI**
- ESISTENZA DI **MATERIA OSCURA** NON COSTITUITA DALLA “SOLITA” MATERIA (protoni, neutroni)
- **ASIMMETRIA COSMICA TRA MATERIA E ANTIMATERIA**: ESISTENZA DI UNA NUOVA SORGENTE DI **VIOLAZIONE DI CP** OLTRE A QUELLA PREVISTA DAL MODELLO STANDARD
- DOMANDE “**FONDAMENTALI**” A CUI IL MODELLO STANDARD NON RISPONDE:
 - UNIFICAZIONE DELLE FORZE FONDAMENTALI
 - MASSE E MESCOLAMENTI DEI FERMIONI
 - “**STABILITA' DELLA SCALA DI ENERGIA A CUI I BOSONI W e Z PRENDONO MASSA (circa 100 GeV)**”

MICRO

MODELLO STANDARD

PARTICELLARE:

**COSTITUENTI E INTERAZIONI
FONDAMENTALI**



MA ANCHE

MACRO

MODELLO STANDARD

COSMOLOGICO:

HOT BIG BANG



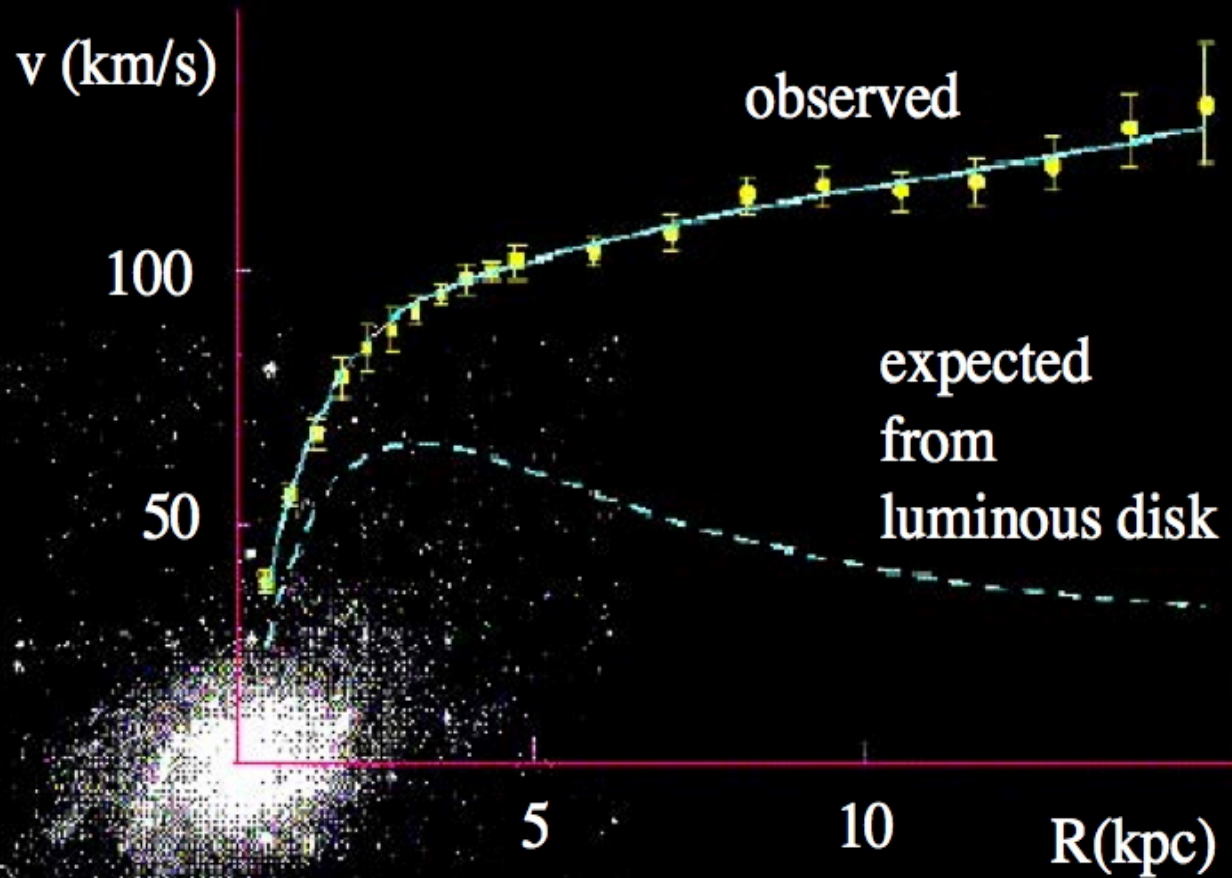
**MATRIMONIO FELICE
ES: NUCLEOSINTESI**

**PUNTI DI
ATTRITO**

MATERIA OSCURA ED ENERGIA OSCURA:

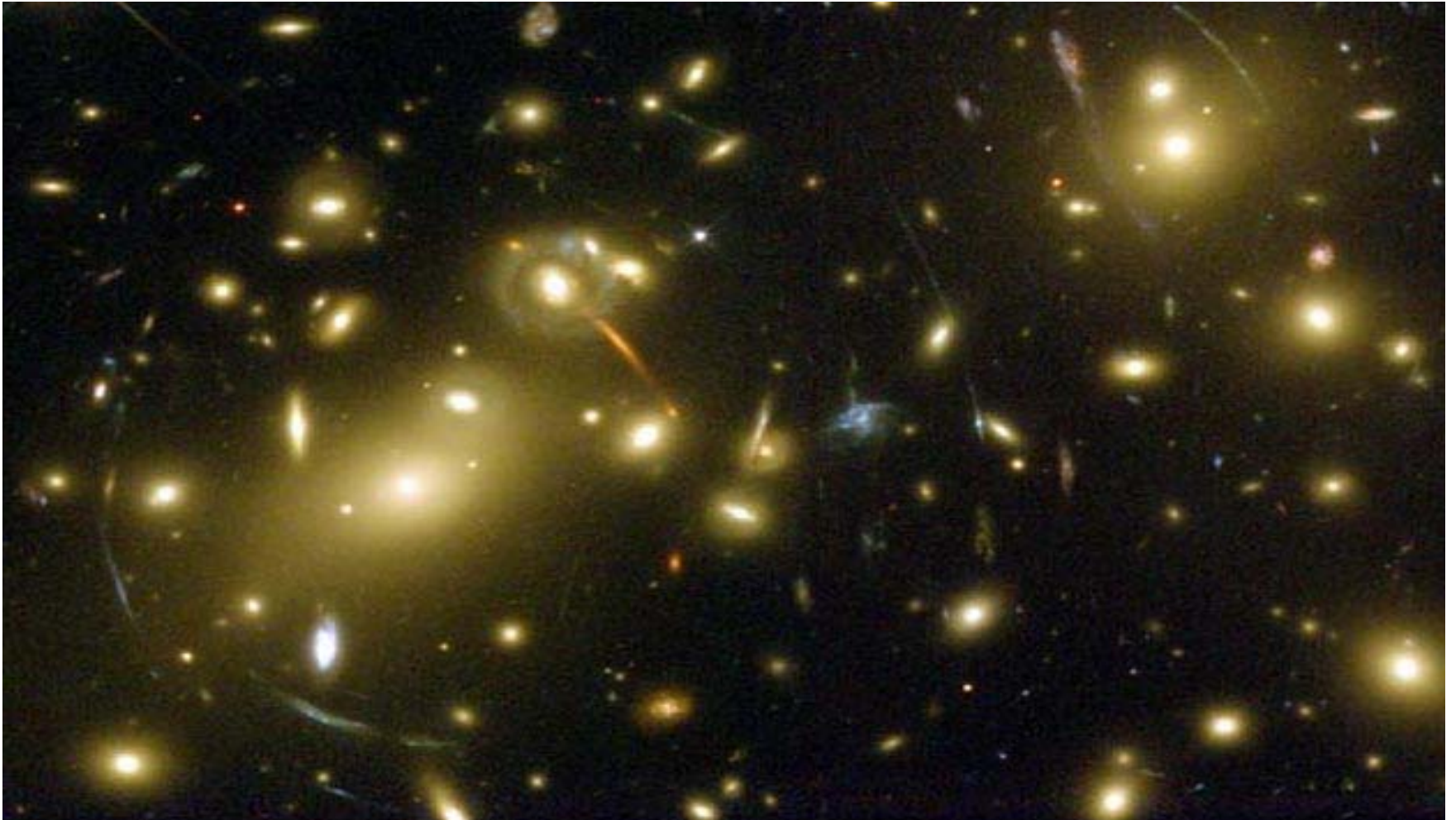
**FINESTRA SU NUOVA FISICA AL DI LA' DEL MODELLO
STANDARD PARTICELLARE E/O MODELLO STANDARD
COSMOLOGICO**

Di cosa è fatto l'Universo?



M33 rotation curve

L'AMMASSO DI GALASSIE ABELL 2218: il cluster ha una massa così grande da **piegare e focalizzare la luce proveniente da galassie che si trovano dietro ad esso**



The **BULLET CLUSTER**: two colliding clusters of galaxies

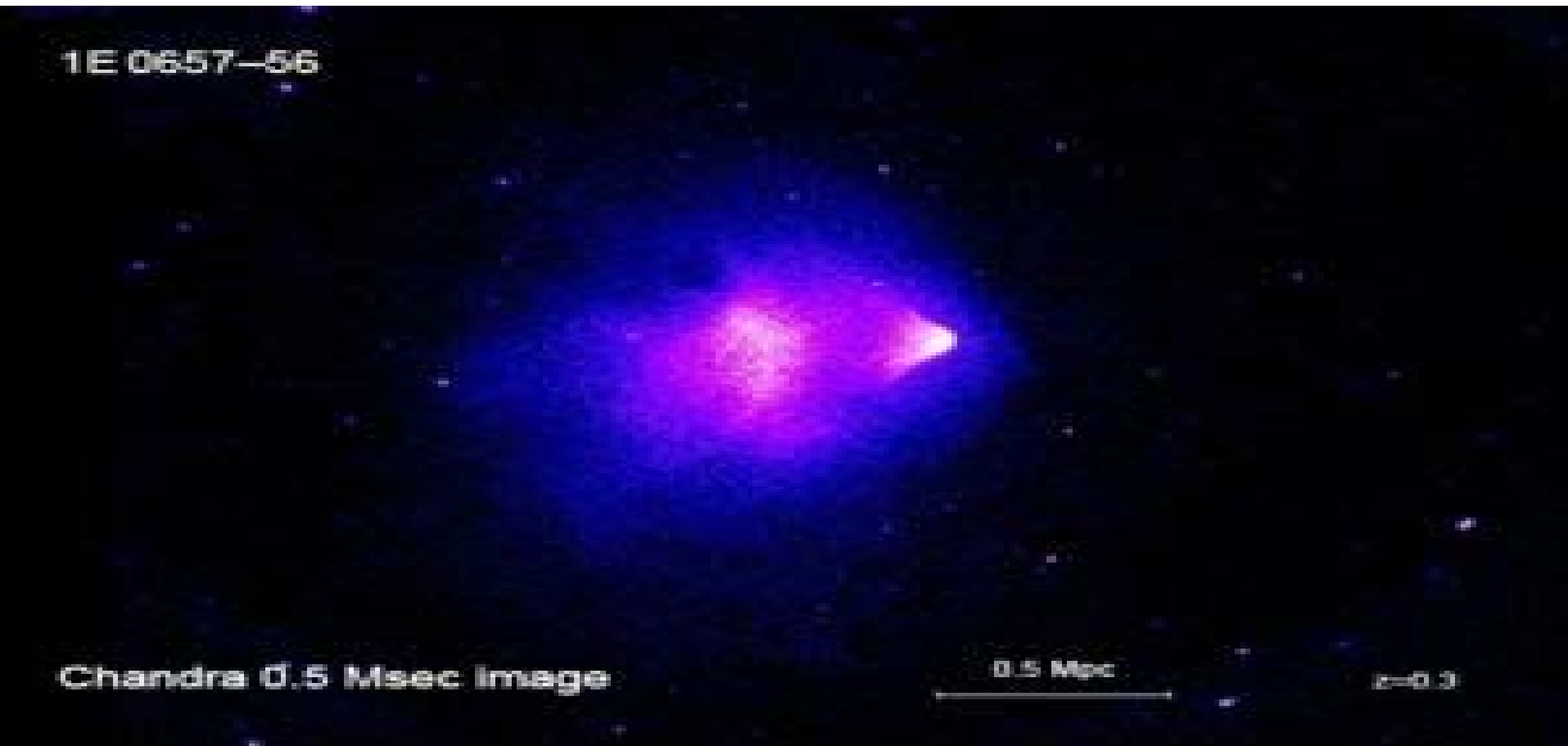
Stars, galaxies and putative DM behave differently during collision, allowing for them to be studied separately. In **MOND** the lensing is expected to follow the baryonic matter, i.e. the X-ray gas. However the lensing is strongest in two separated regions near the visible galaxies **→** most of the mass in the cluster pair is in the form of collisionless DM

1E 0657-56

Chandra 0.5 Msec image

0.5 Mpc

$z=0.3$



La materia oscura e' l'evidenza
piu' impressionante che abbiamo
dell'esistenza di nuova fisica oltre il
**MODELLO STANDARD DELLE
PARTICELLE**

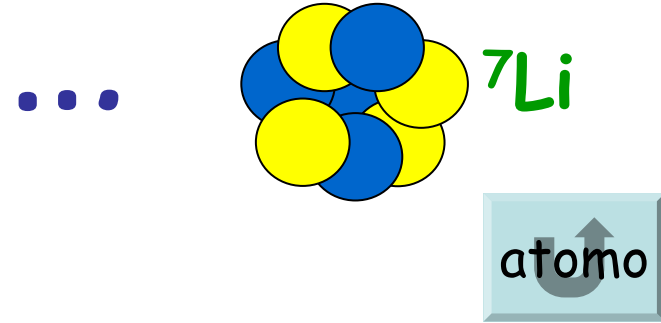
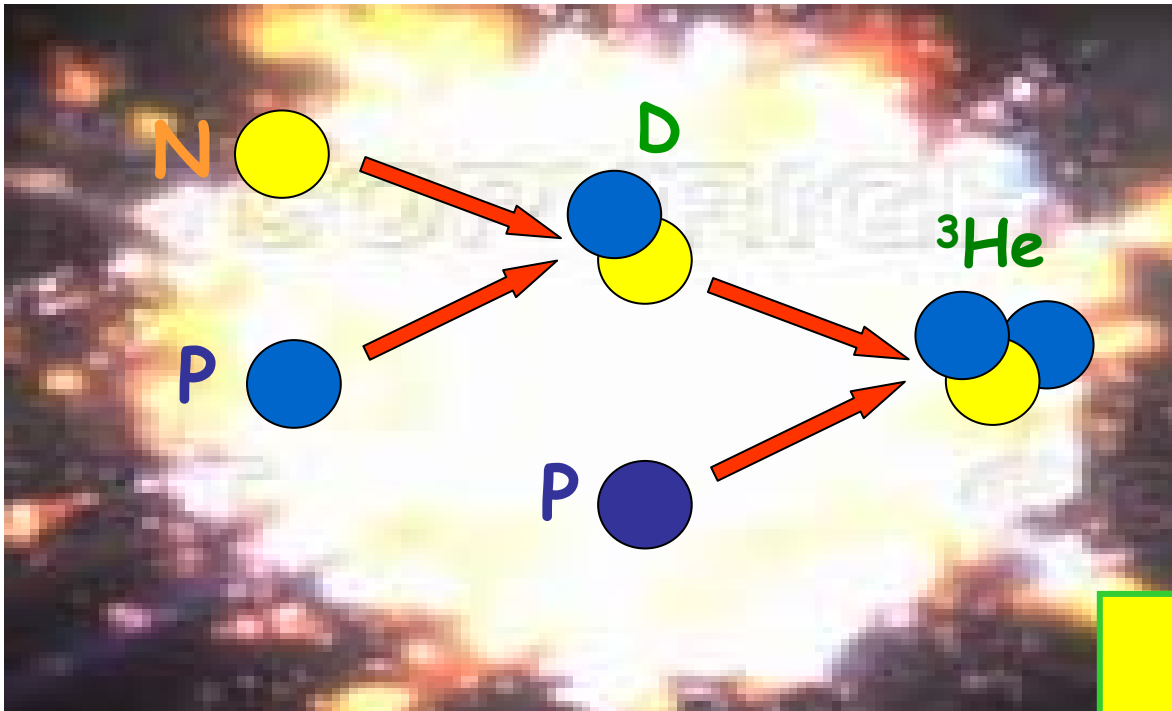
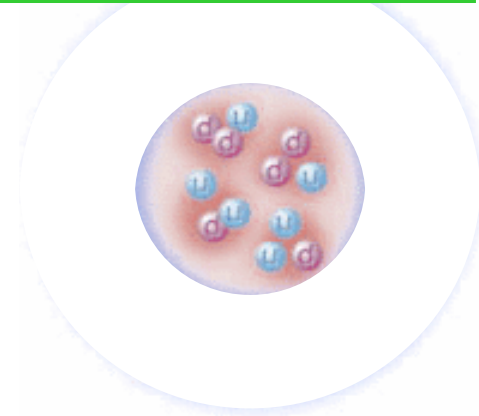


ESISTENZA DI UN NUOVO TIPO DI MATERIA

I PRIMI 3 MINUTI

$T = 0.1 \text{ MeV}$ ($10^9 \text{ K} \approx 10^8 \text{ C}$)

NUCLEOSINTESI \rightarrow FORMANO I
NUCLEI PIU' LEGGERI



MATERIA
(H, D, ^3He , Li ...)

A. ZOCCOLI
ABBONDANZA DI ELIO

elio

75%

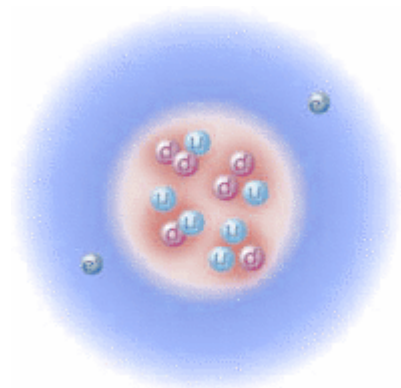
25%

(3P, 4N)

I FOTONI DEL PRIMO UNIVERSO

$T = 1 \text{ eV}$ ($10^4 \text{ K} \approx 10000 \text{ C}$)

1/2 milione
d'anni dopo il
Big Bang



NUCLEI CATTURANO
GLI ELETTRONI



ATOMI NEUTRI



RADIAZIONE NON
INTERAGISCE PIU' CON
MATERIA

D

NEUTRINI

${}^7\text{Li}$

${}^4\text{He}$

H

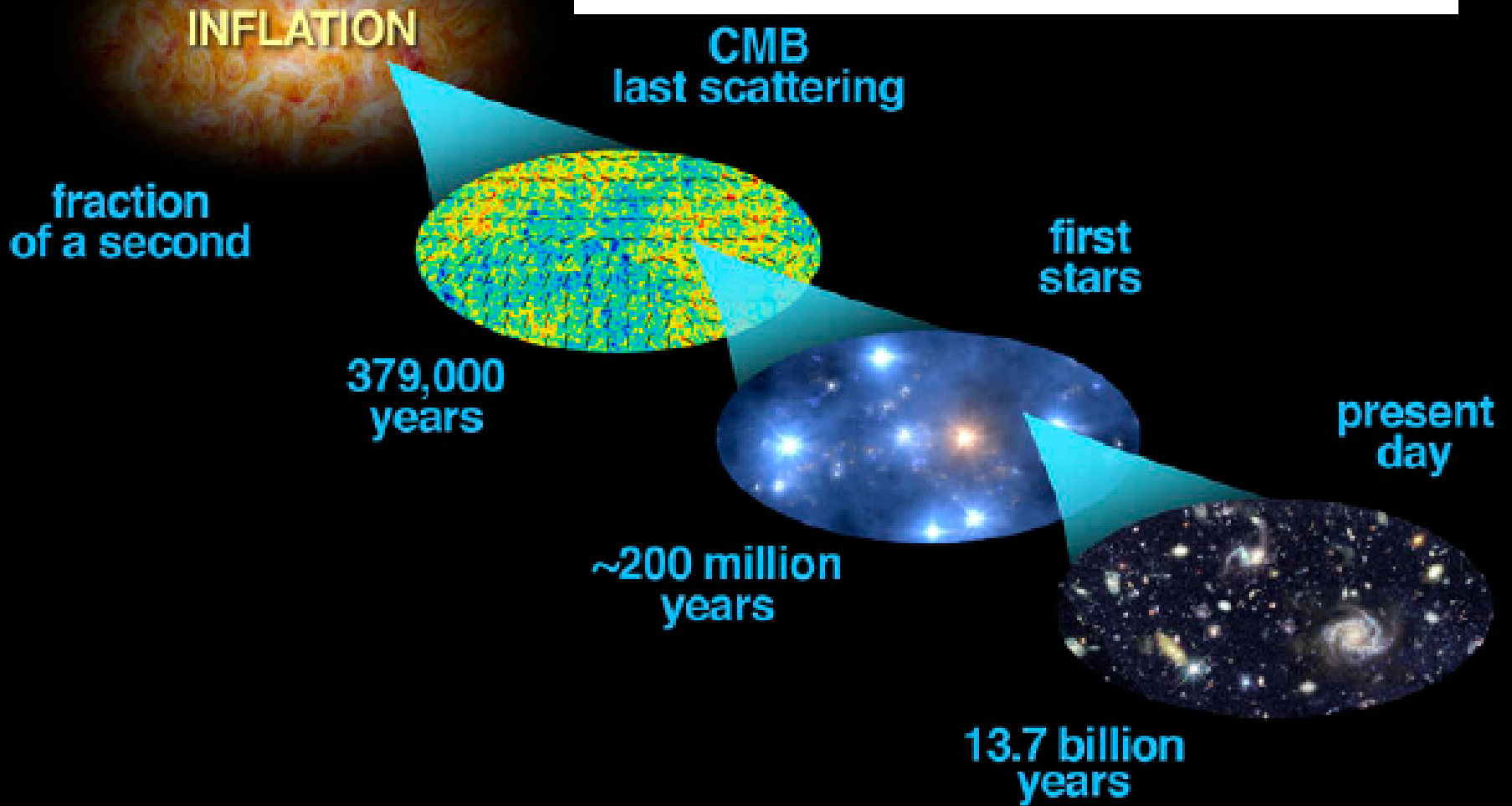
LUCE (γ)

GRAVITONI

A.Z.

MATERIA E RADIAZIONE \rightarrow VITA INDIPENDENTE

Cosmic Microwave Background – Radiazione di fondo cosmica



Cosmic Microwave Background Radiation Overview

1965



Penzias and Wilson



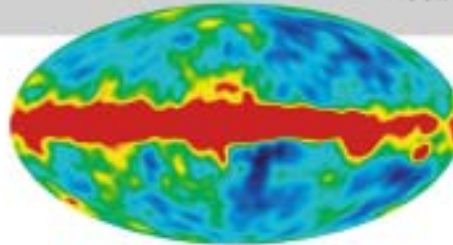
The oldest light or the first light of the Universe

Discovered the remnant afterglow from the **Big Bang**.
→ **2.7 K**

1992

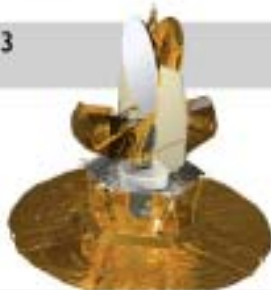


COBE

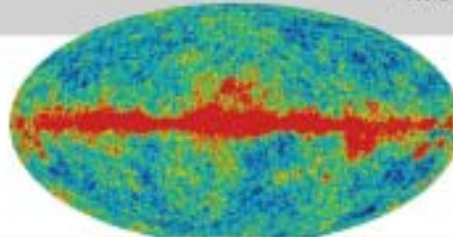


Blackbody radiation,
Discovered the patterns (**anisotropy**) in the afterglow.
→ **angular scale ~ 7°** at a level $\Delta T/T$ of 10^{-5}

2003



WMAP



(Wilkinson Microwave Anisotropy Probe):
→ **angular scale ~ 15'**

2009

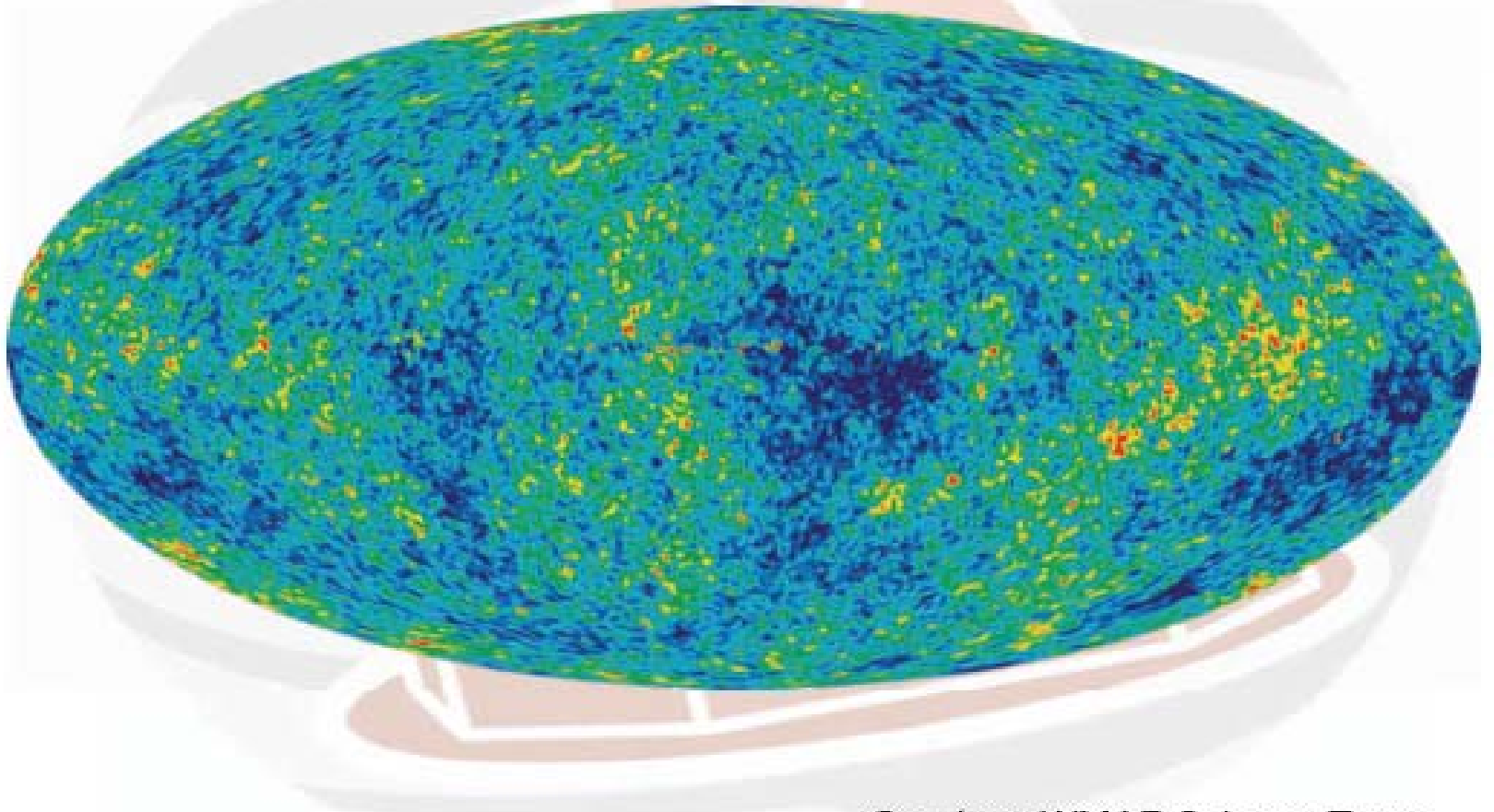


Planck

→ **angular scale ~ 5'**,
 $\Delta T/T \sim 2 \times 10^{-6}$, 30~867 Hz

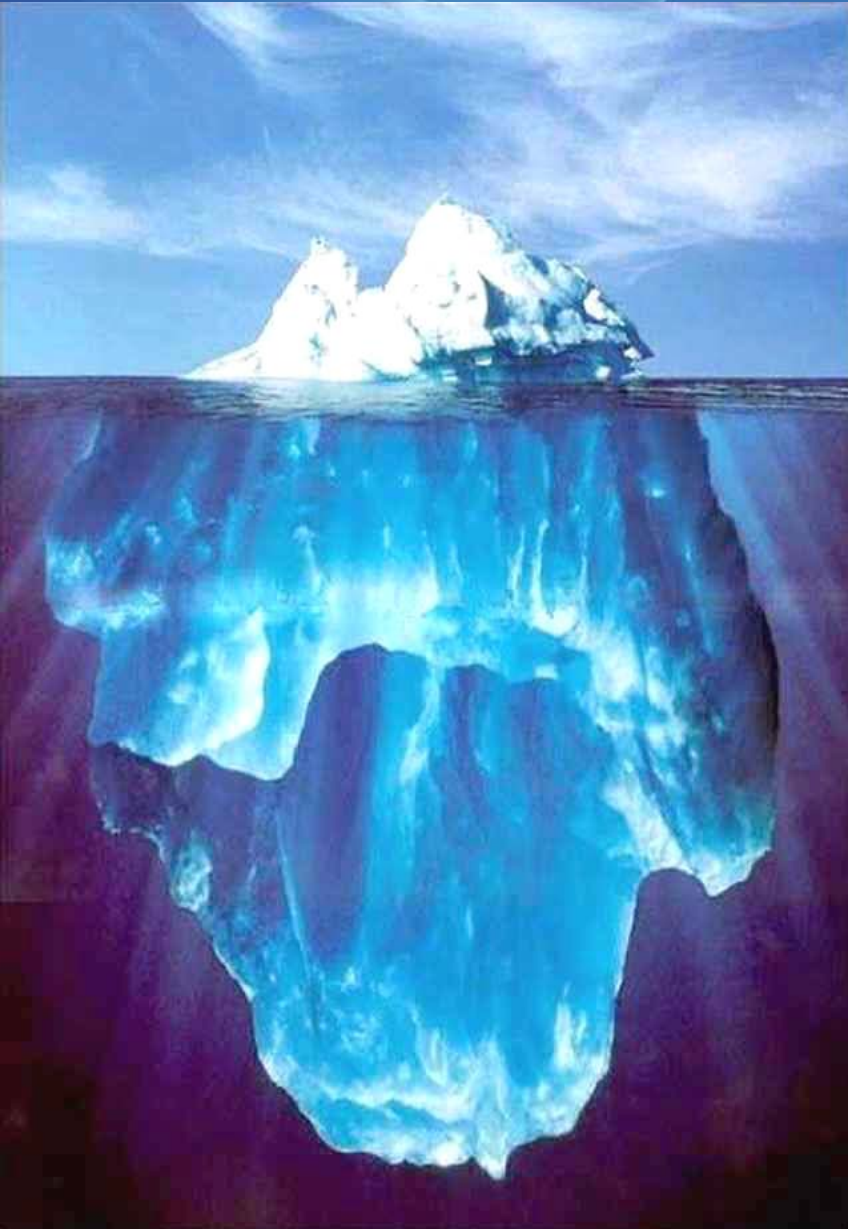
***LA PIU' ANTICA E PRECISA FOTOGRAFIA DI COME
ERA L'UNIVERSO 13 MILIARDI DI ANNI FA***

WMAP 7 CMB map



•Courtesy WMAP Science Team

Inventario della materia nell' Universo



MATERIA ORDINARIA

Stelle
Gas nelle galassie
Gas

materia barionica

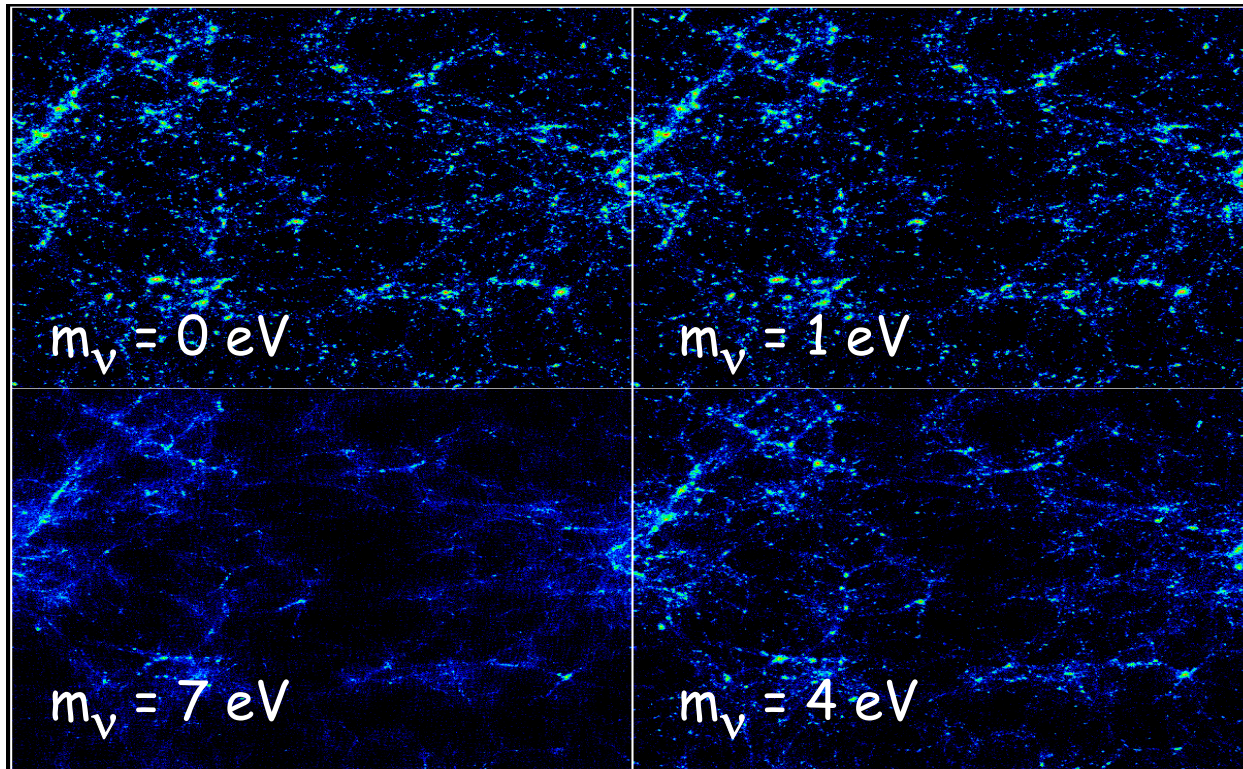
NUOVO TIPO DI MATERIA

MATERIA OSCURA

materia non barionica

MATERIA CHE NON E' FATTA DI PROTONI E NEUTRONI

SE LA MATERIA OSCURA FOSSERO **NEUTRINI** CON MASSA L'UNIVERSO SAREBBE MOLTO DIVERSO DA QUELLO REALE



(E..g., Ma 1996)

Universo chiuso o aperto?

Pensate all'Universo come ad una bomba che esplode

*Se esplosione è **debole** → frammenti si allontanano e poi si riavvicinano per la forza di gravità*

*Universo chiuso → si espande fino ad una dimensione massima per poi ricollassare con un processo opposto al big bang (**BIG CRUNCH**)*

contrazione

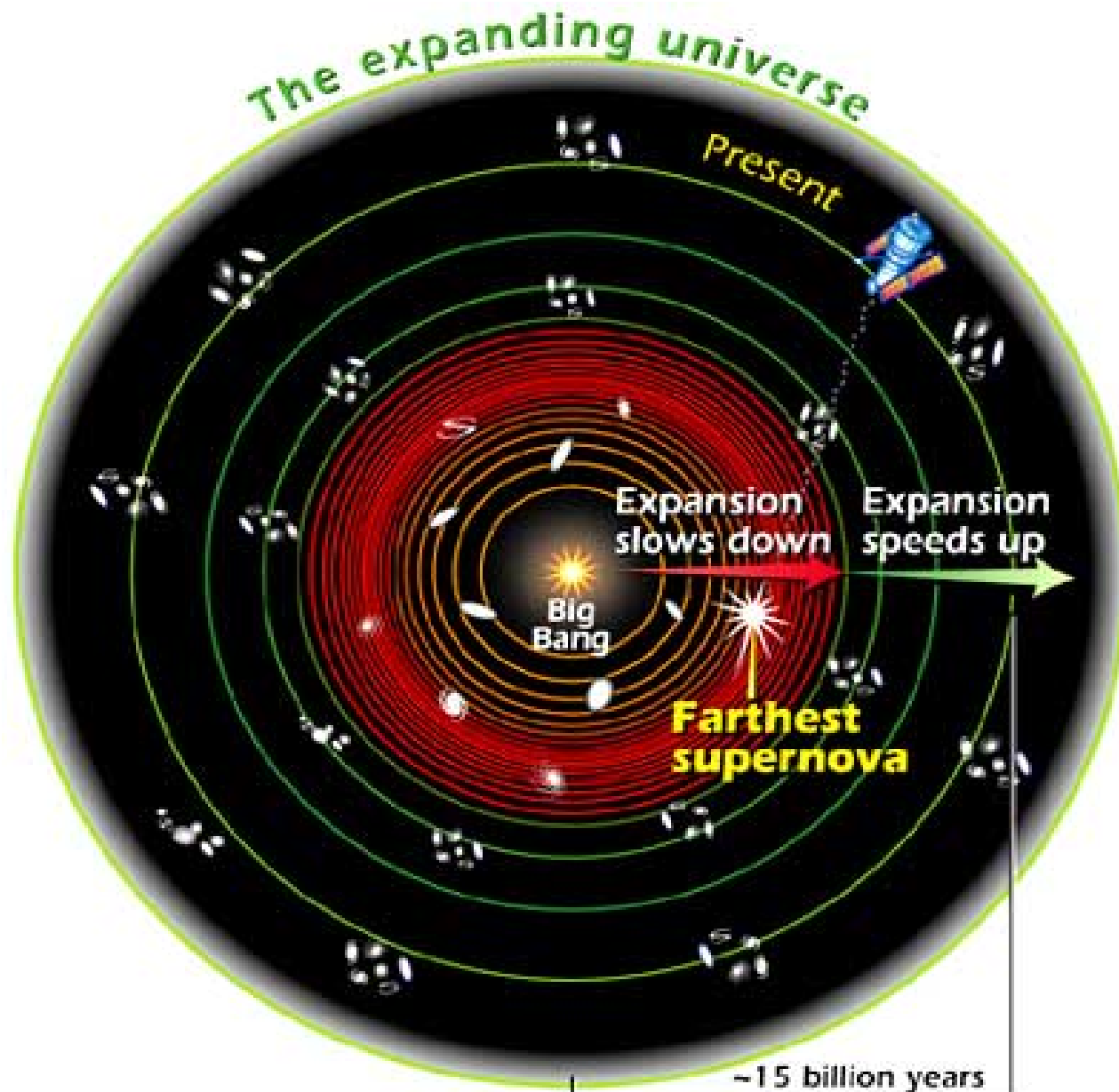
Big Crunch

*Se esplosione è **forte** → frammenti si allontanano indefinitamente*

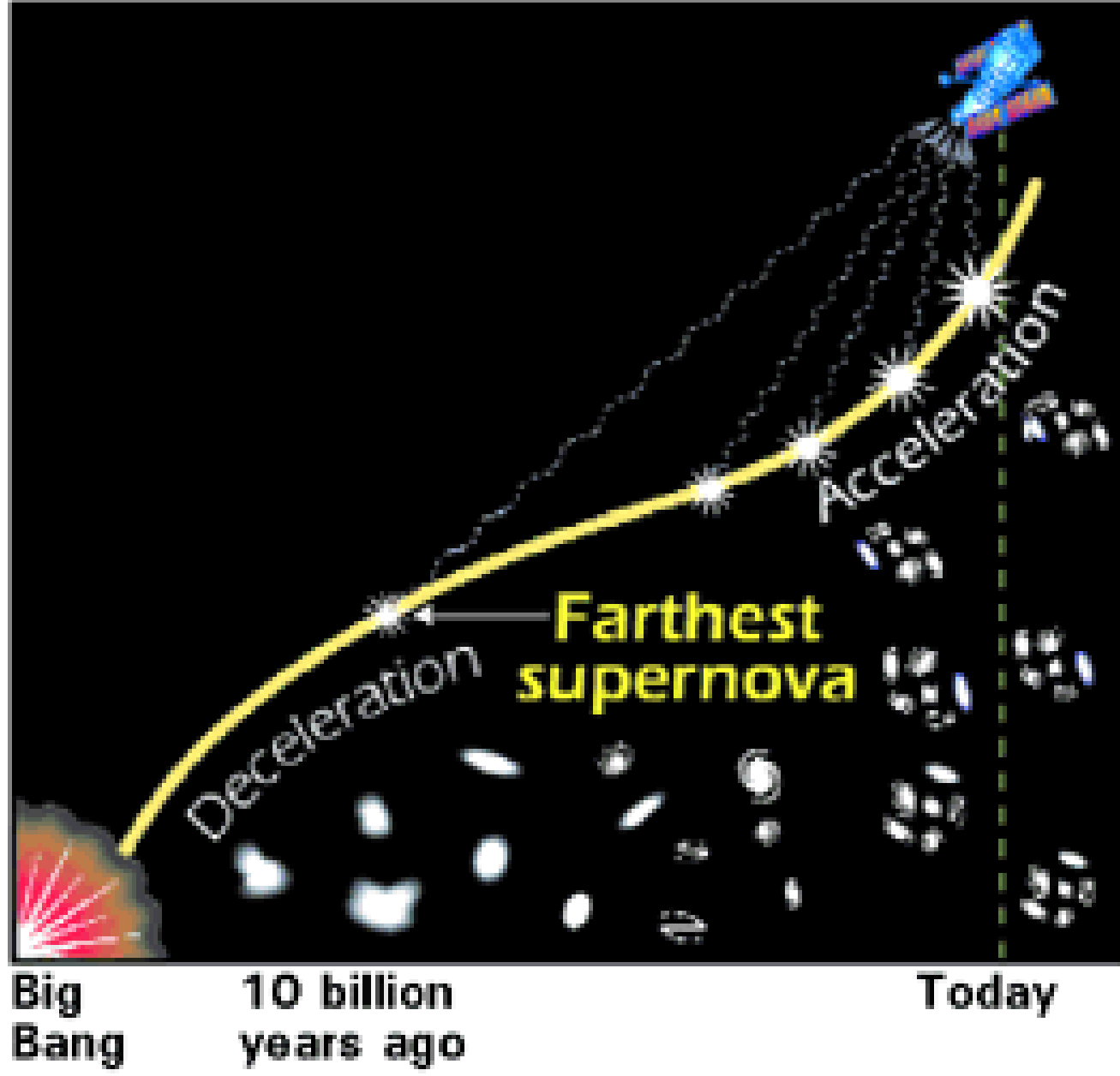
Universo aperto → si espande per sempre

**MA IN OGNI CASO CI ASPETTIAMO CHE
L'ESPANSIONE DELL'UNIVERSO NON POSSA
ACCELERARE!**

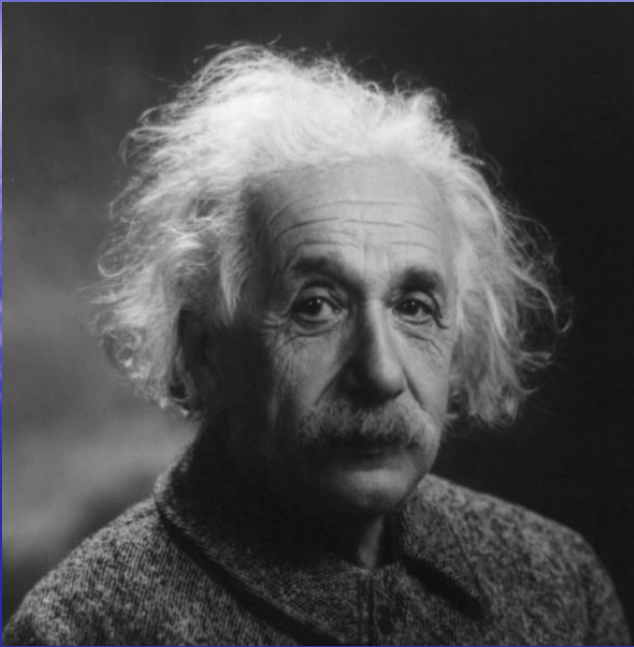
...E INVECE ...



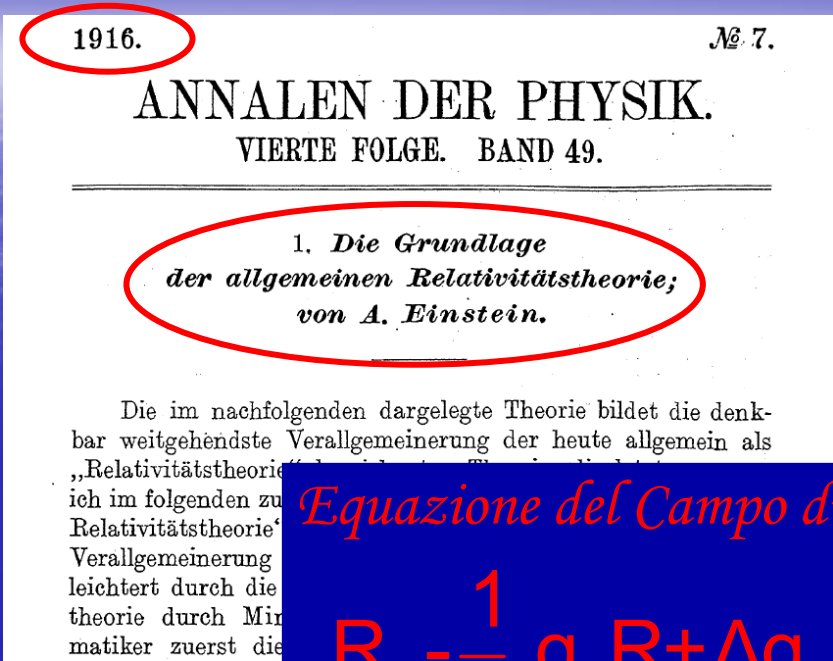
EXPANSION OF THE UNIVERSE



Graphic courtesy of Beyond Einstein (NASA)



Albert Einstein (1879-1955)



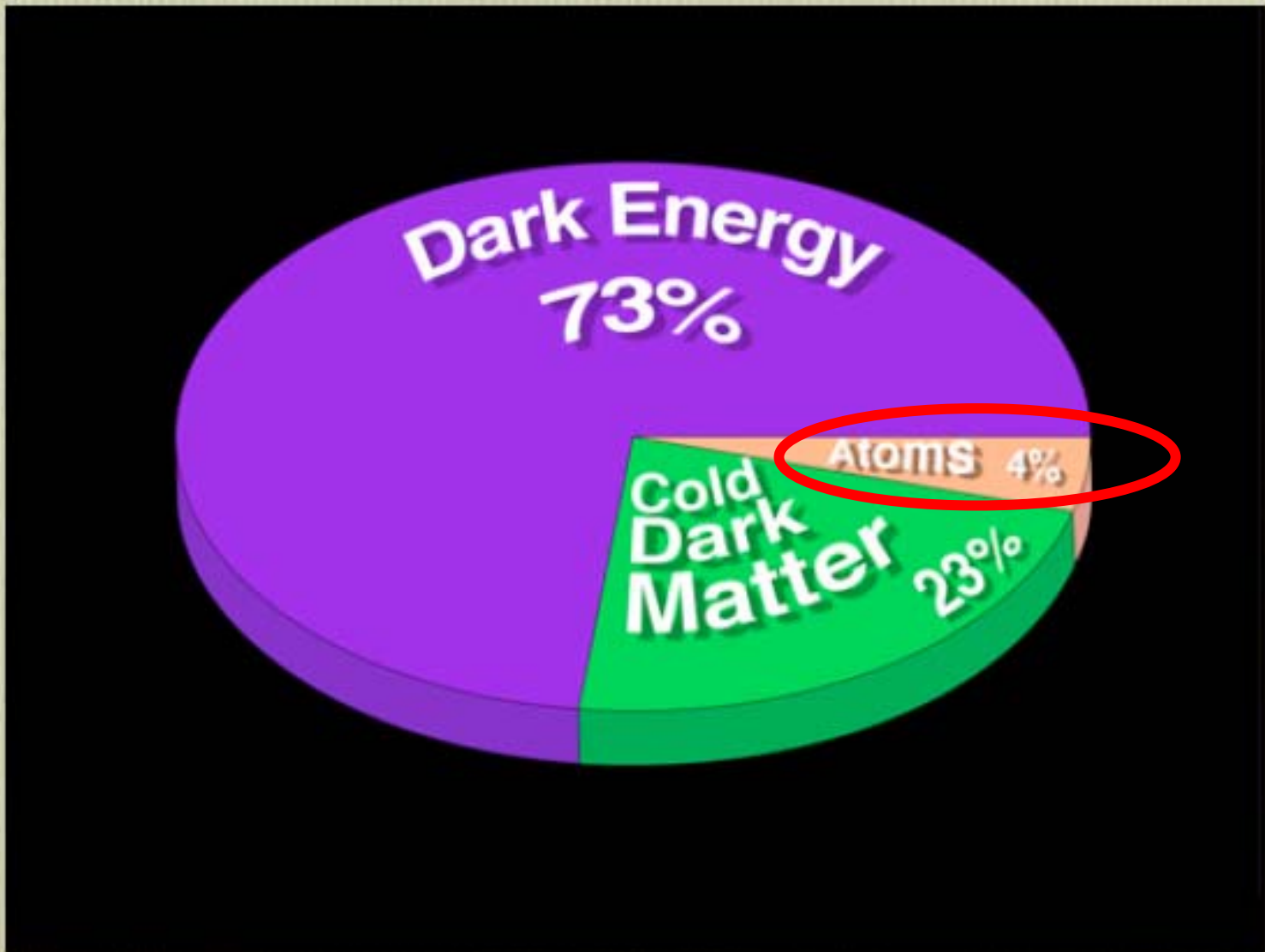
Equazione del Campo di Gravitazione

$$R_{ik} - \frac{1}{2} g_{ij} R + \Lambda g_{jk} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{jk}$$

Costante Cosmologica



LA COSTANTE COSMOLOGICA SORGENTE DELL'ENERGIA OSCURA DELL'UNIVERSO E CAUSA DELLA SUA ESPANSIONE ACCELERATA?



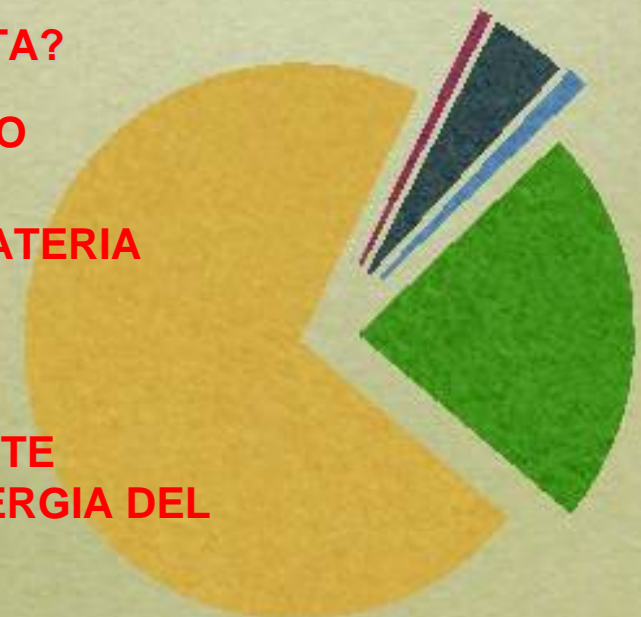
La conoscenza che abbiamo riguarda solo il 4% dell'Universo il resto è ancora ignoto !!

MACROCOSMO: il nostro strano UNIVERSO

- Stars and galaxies are only $\sim 0.5\%$
- Neutrinos are $\sim 0.1-1.5\%$
- Rest of ordinary matter
(electrons, protons & neutrons) are 4.4%



- Dark Matter 23% **DI CHE COSA E' FATTA?**
- Dark Energy 73% **ENERGIA DEL VUOTO QUANTISTICO?**
- Anti-Matter 0% **DOVE E' FINITA L'ANTIMATERIA PRIMORDIALE?**
- Higgs Bose-Einstein condensate
 $\sim 10^{62}\%??$ **PROBLEMA DELLA COSTANTE COSMOLOGICA O DELL'ENERGIA DEL VUOTO QUANTISTICO?**



NUOVA FISICA A LHC?

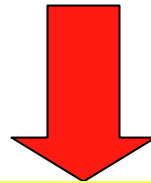
- **SUPERSIMMETRIA**: OGNI PARTICELLA “ORDINARIA” E’ ACCOMPAGNATA DA UNA PARTICELLA PARTNER SUPERSIMMETRICA.
- **TEORIE CON NUOVE DIMENSIONI SPAZIALI**: OLTRE ALLE USUALI 3 DIMENSIONI SPAZIALI , NE ESISTONO ALTRE . IN QUESTO CASO OGNI PARTICELLA ORDINARIA E’ ACCOMPAGNATA DA UNA “TORRE” DI PARTICELLE PARTNER, STATI DI KALUZA-KLEIN, KK, CON LE STESSA CARATTERISTICHE TRANNE CHE AVERE MASSA PIU’ GRANDE.

DI CHE COSA E' FATTA LA MATERIA OSCURA?

- Se il mondo e' ***SUPERSIMMETRICO*** → la particella supersimmetrica piu' leggera (il ***NEUTRALINO***?) e' un buon candidato di materia oscura
- Se il mondo ha ***NUOVE DIMENSIONI*** spazio-temporali → la ***particella di Kaluza-Klein*** piu' leggera potrebbe costituire la materia oscura

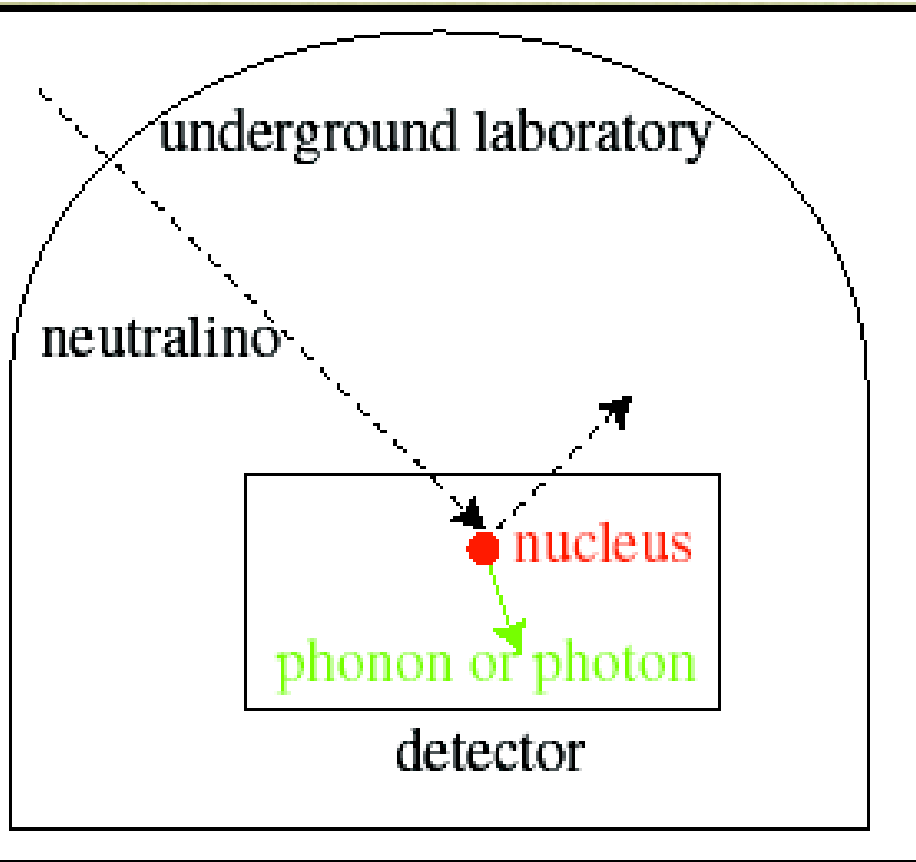
MATERIA OSCURA: fossile di 14 miliardi di anni
fa dall'acceleratore cosmico dell'**UNIVERSO
PRIMORDIALE**; oggi, proviamo a ri-crearla
nei nostri acceleratori

L'IPOTESI "**WIMPS**" (weakly interacting massive particles)
MATERIA OSCURA COSTITUITA DA PARTICELLE "NUOVE" CON MASSA
TRA 10 E 1000 GEV CHE INTERAGISCONO SOLO DEBOLMENTE

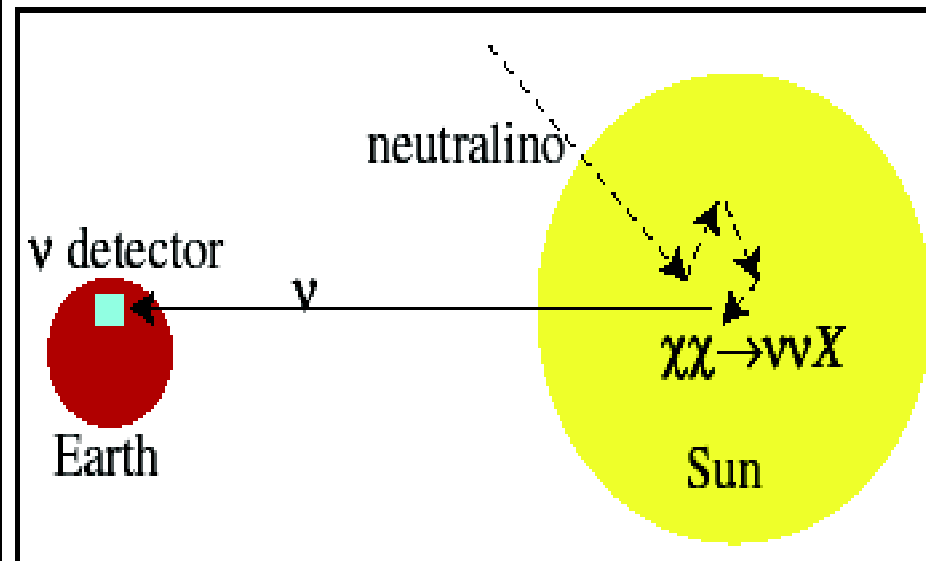


DALLA MISURA DI **MATERIA OSCURA** → POSSO
RISALIRE A QUANTO GLI WIMPS INTERAGISCONO CON
LA MATERIA ORDINARIA E QUINDI **PREDIRE LA
QUANTITA' DI WIMPS CHE PRODURRO' AGLI
ACCELERATORI**

A Caccia di Materia Oscura



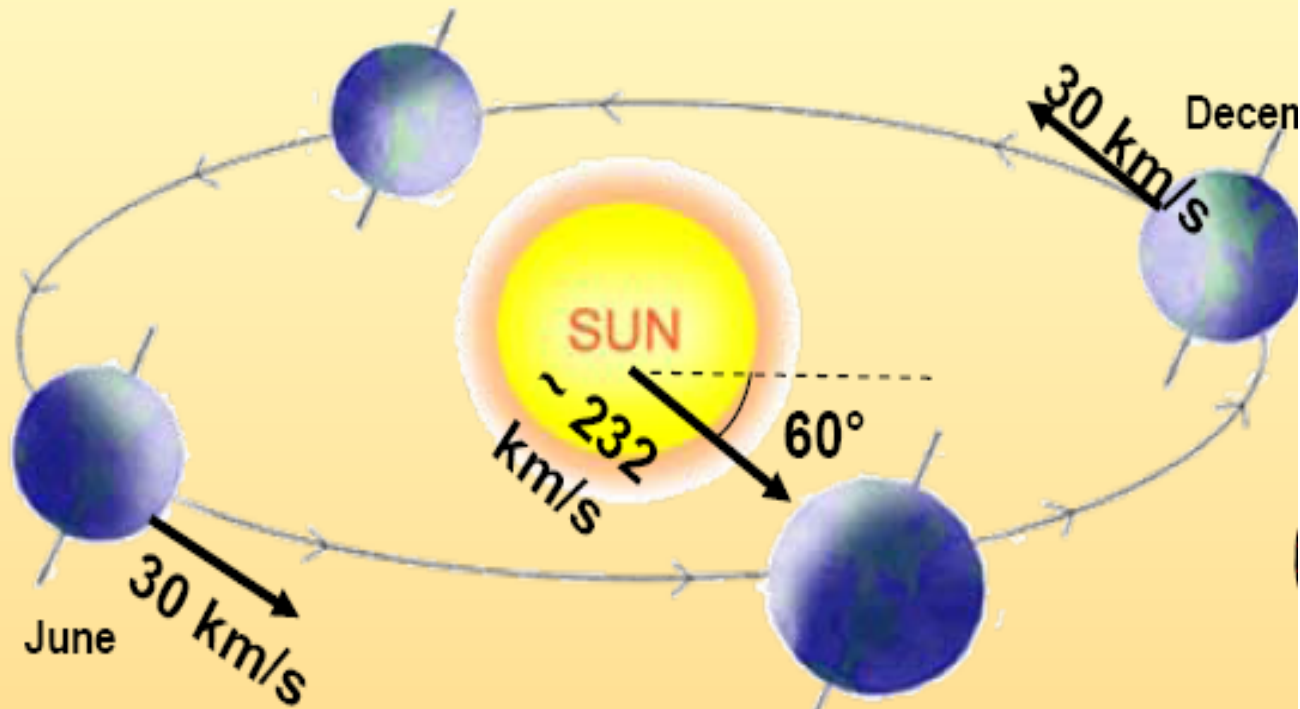
RICERCA DIRETTA DI DM



RICERCA INDIRETTA DI DM

MODULAZIONE DEL SEGNALE DI INTERAZIONE TRA MATERIA OSCURA E NUCLEI-BERSAGLIO

Drukier, Freese, Spergel PRD86
Freese et al. PRD88



“VENTO DI
MATERIA
OSCURA “
VARIA A
SECONDA
DELLA
VELOCITA’
DELLA
TERRA

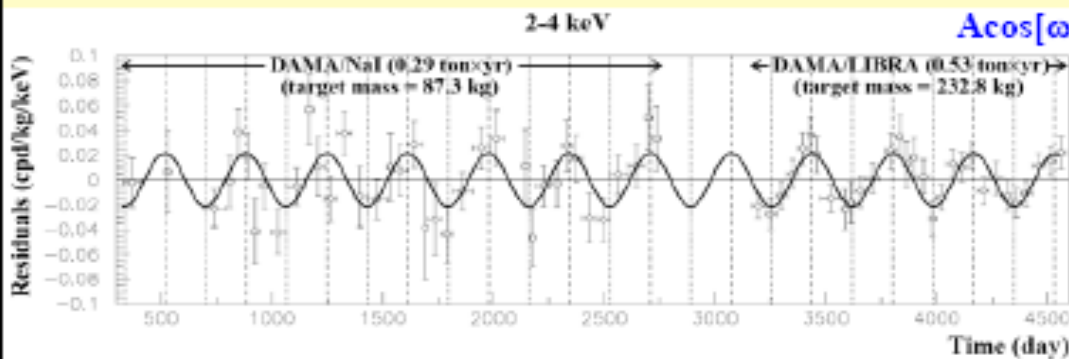
Model Independent Annual Modulation Result

DAMA/NaI (7 years) + DAMA/LIBRA (4 years) Total exposure: 300555 kg×day = 0.82 ton×yr

EPJC56(2008)333

experimental single-hit residuals rate vs time and energy

$\text{Acos}[\omega(t-t_0)]$; continuous lines: $t_0 = 152.5$ d, $T = 1.00$ y



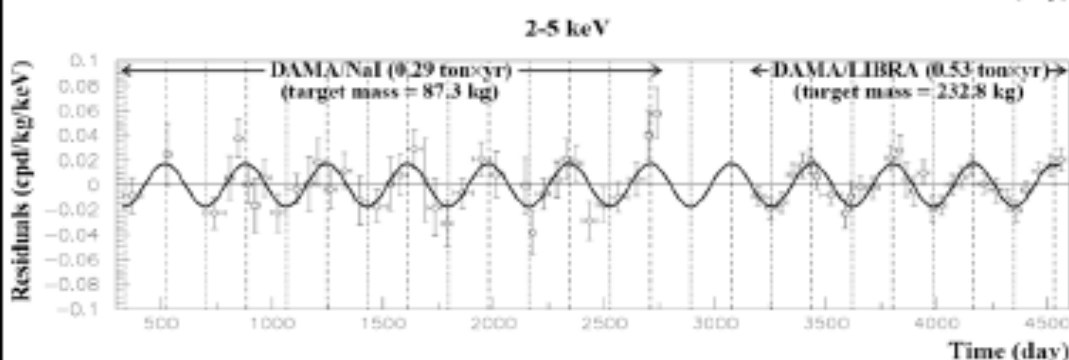
2-4 keV

$A = (0.0215 \pm 0.0026)$ cpd/kg/keV

$\chi^2/\text{dof} = 51.9/66$ **8.3 σ C.L.**

Absence of modulation? No

$\chi^2/\text{dof} = 117.7/67 \Rightarrow P(A=0) = 1.3 \times 10^{-4}$



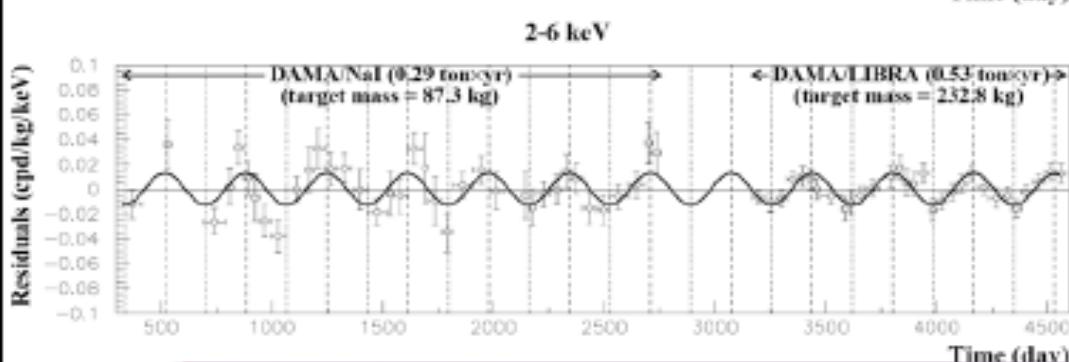
2-5 keV

$A = (0.0176 \pm 0.0020)$ cpd/kg/keV

$\chi^2/\text{dof} = 39.6/66$ **8.8 σ C.L.**

Absence of modulation? No

$\chi^2/\text{dof} = 116.1/67 \Rightarrow P(A=0) = 1.9 \times 10^{-4}$



2-6 keV

$A = (0.0129 \pm 0.0016)$ cpd/kg/keV

$\chi^2/\text{dof} = 54.3/66$ **8.2 σ C.L.**

Absence of modulation? No

$\chi^2/\text{dof} = 116.4/67 \Rightarrow P(A=0) = 1.8 \times 10^{-4}$

The data favor the presence of a modulated behavior with proper features at 8.2 σ C.L.

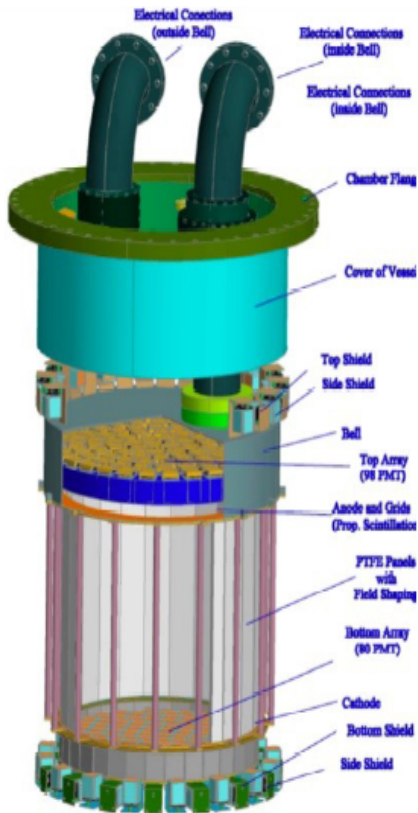
MA SIAMO SICURI CHE LA **MATERIA OSCURA** SIA LEGATA **SOLAMENTE** A NUOVA FISICA OLTRE IL **MODELLO STANDARD PARTICELLARE?**

- LA PIU' LONTANA INFORMAZIONE (AFFIDABILE) CHE ABBIAMO SULLE PRIME FASI DELL'UNIVERSO E' LA **NUCLEOSINTESI** ($t > 1$ sec. dopo il Big Bang)
- **PRIMA** DELLA NUCLEOSINTESI L'EVOLUZIONE (ad es. la velocita' di espansione) DELL'UNIVERSO POTEVA **DIFFERIRE SIGNIFICATIVAMENTE DAL QUADRO DELLA COSMOLOGIA STANDARD DEL BIG BANG CALDO CON PROFONDE IMPLICAZIONI SULL'ABBONDANZA E NATURA DELLA MATERIA OSCURA**

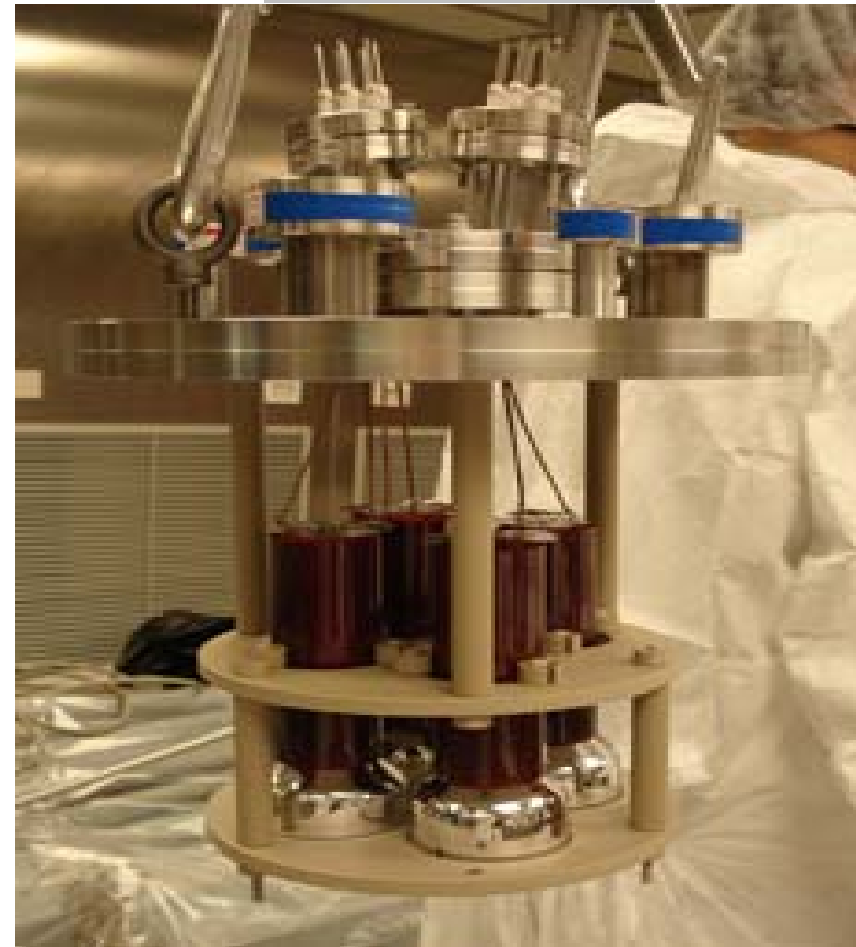
ALTRE RICERCHE DIRETTE DI MATERIA OSCURA – WIMPS- NEL LABORATORIO DEL GRAN SASSO

XENON

XENON100 TPC

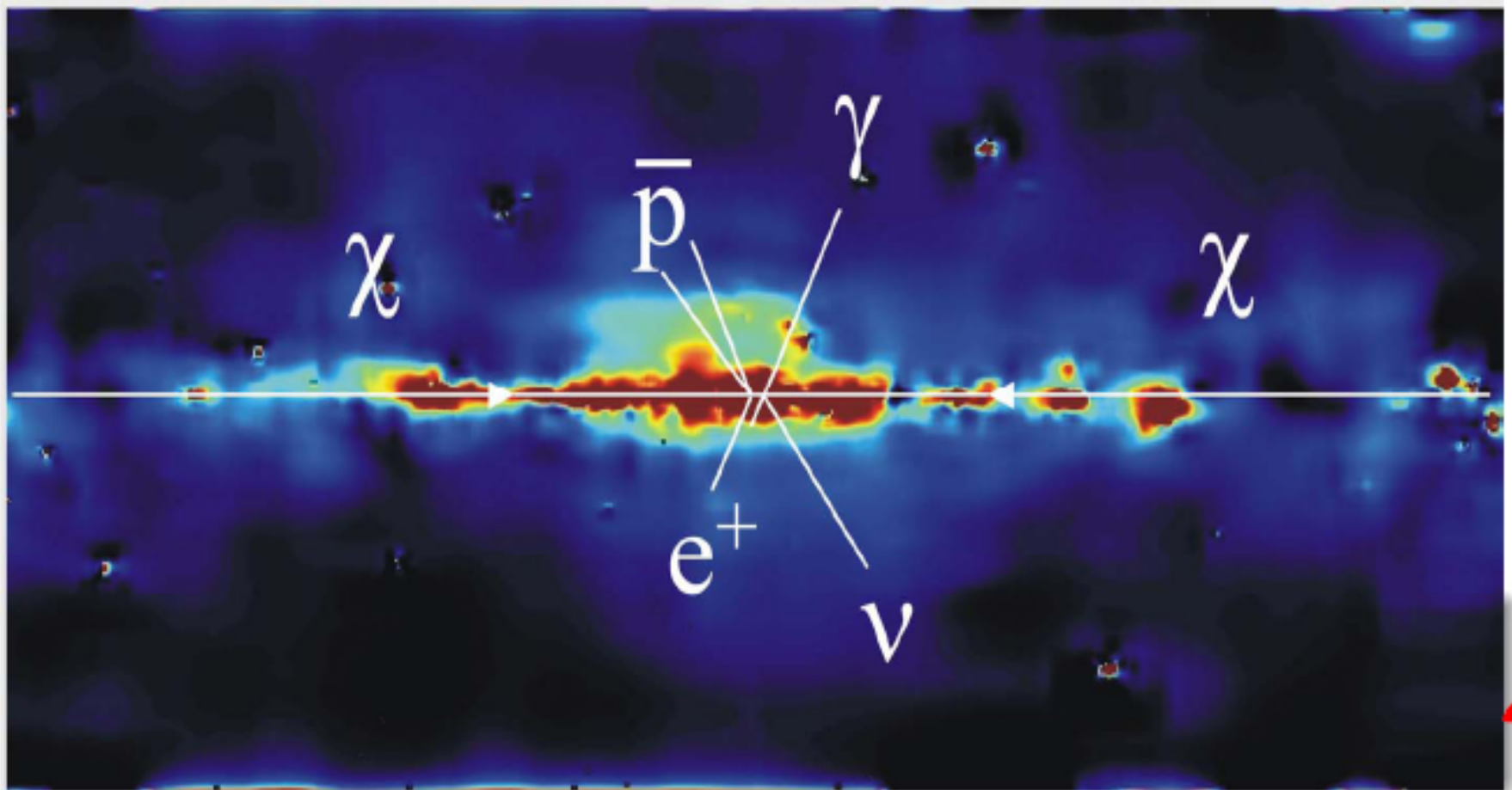


WARP



DM INDIRECT DETECTION

■ WIMP-WIMP annihilation in the galactic halos may be detected through production of γ , neutrinos, anti-matter.



RICERCA INDIRECTA DI MATERIA OSCURA

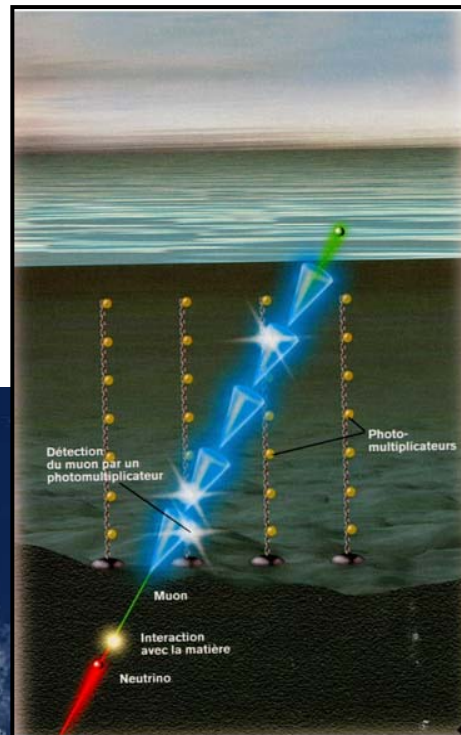
- **ANNICILIAZIONE WIMP-ANTIWIMP**
- **RILEVANTI PRODOTTI DELL'ANNICILIAZIONE :**
 - I) FOTONI AD ALTA ENERGIA**
 - II) NEUTRINI AD ALTA ENERGIA**
 - III) ANTIMATERIA**
- I) ASTRONOMIA GAMMA: telescopi a terra (es. MAGIC alle Canarie) o nello spazio (es. AGILE e FERMI\GLAST)**
- II) TELESCOPI DI NEUTRINI: sotto il ghiaccio del polo (AMANDA), o sotto il mare (ANTARES, Marsiglia, in futuro NEMO, Capo Passero, Sicilia)**
- III) ANTIMATERIA: ricerche di eccessi di antiprotoni o positroni in esperimenti spaziali (PAMELA su razzo russo, AMS raggiungera' la ISS portato da uno shuttle il mese prossimo)**

TELESCOPI IN ORBITA, LABORATORI SOTTERRANEI E SOTTOMARINI

Telescopio HUBBLE



ANTARES



Lab. INFN: Gran Sasso

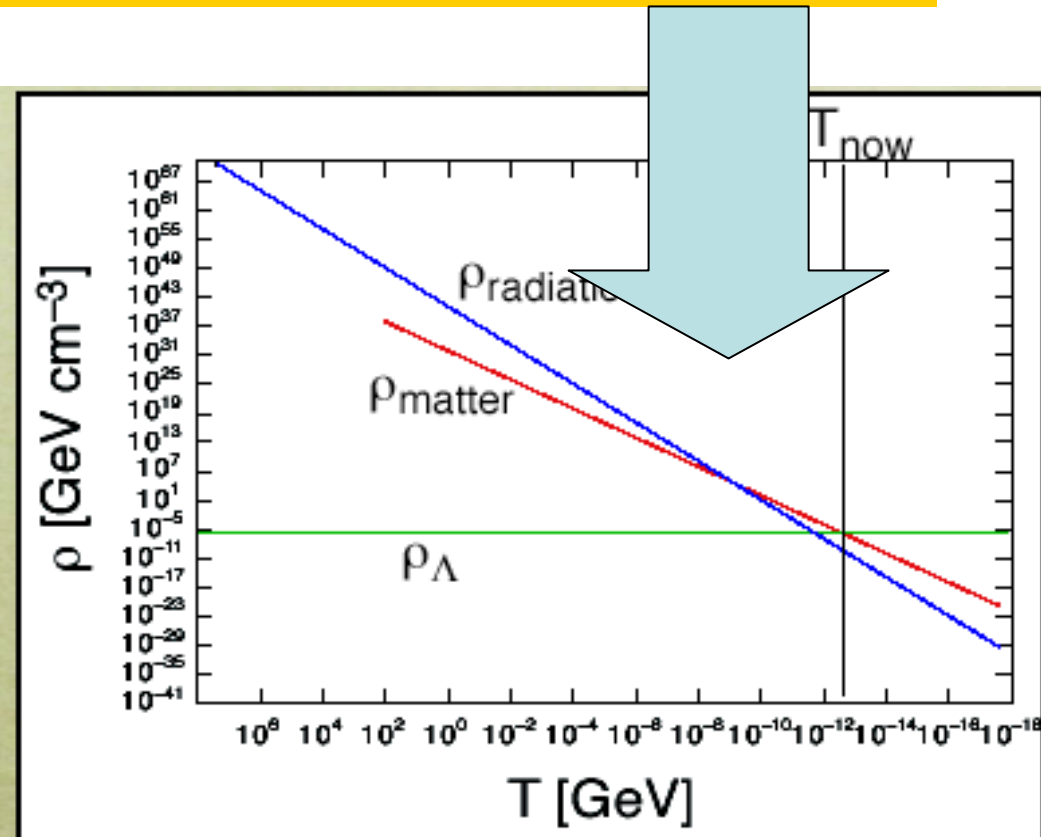




***FERMI
GAMMA-RAY
TELESCOPE***

IL “SORPASSO” TRA ENERGIA OSCURA E MATERIA E’ AVVENUTO PROPRIO “ORA” SU SCALA COSMICA

- Why do we see matter and cosmological constant almost equal in amount?
- “Why Now” problem
- Actually a *triple coincidence problem* including the radiation
- If there is a deep reason for $\rho_\Lambda \sim ((\text{TeV})^2/M_{Pl})^4$, coincidence natural



Arkani-Hamed, Hall,
Kolda, HM

UNI -- VERSO

O

MULTI -- VERSO

- Tutta l'evoluzione dell'Universo (asimmetria tra materia ed antimateria, nucleosintesi, formazione delle galassie, ammassi, etc., sistema solare, vita sulla Terra etc.) dipende in maniera molto stretta dal preciso valore assunto da alcuni parametri fondamentali (tra questi quello della costante cosmologica): e' possibile che quello in cui noi siamo sia solo uno dei moltissimi -versi (**MULTI – VERSO**) ?

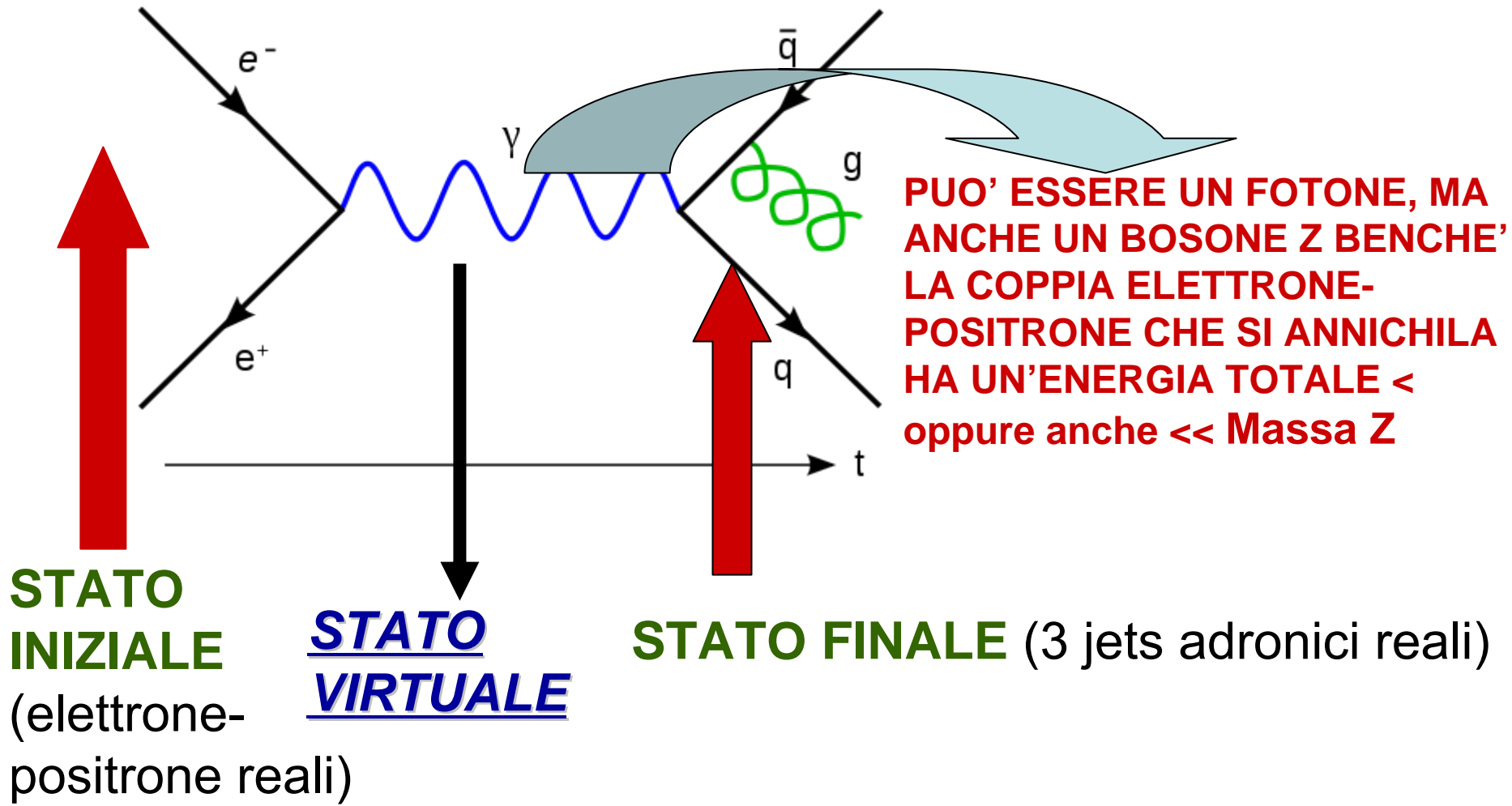
LA VIA VIRTUALE ALLA

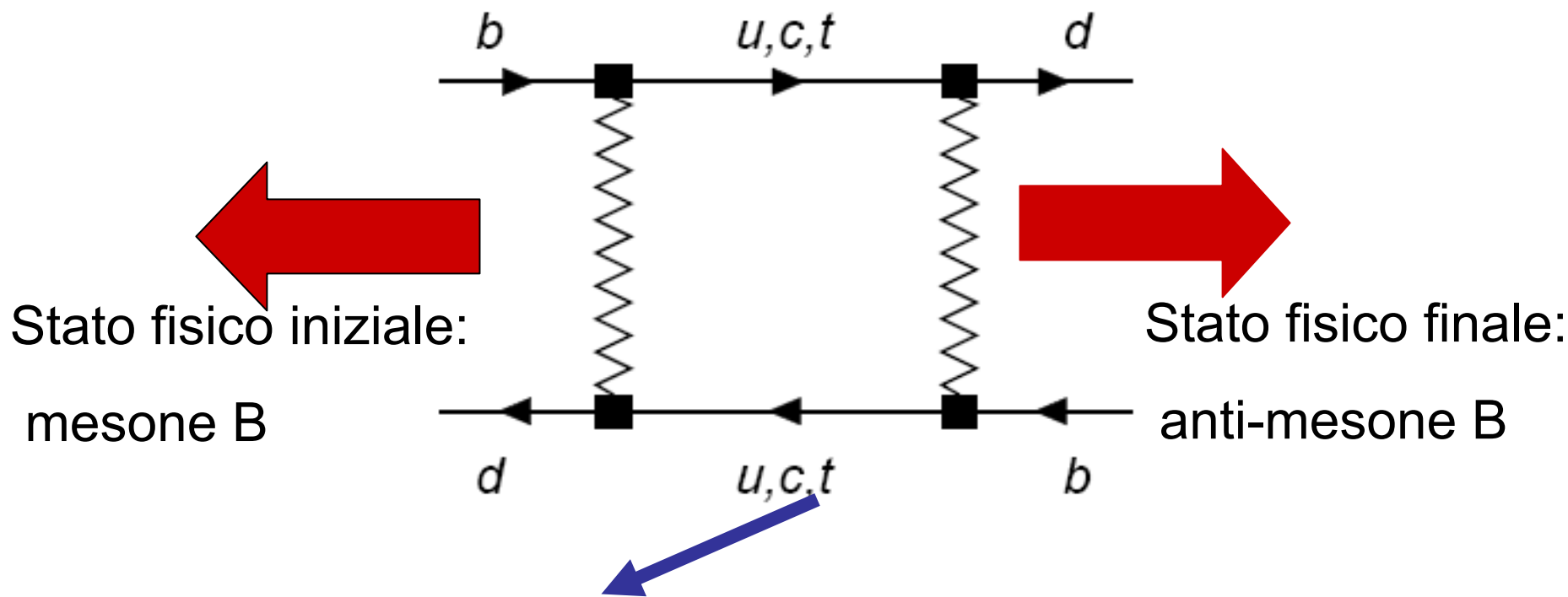
NUOVA FISICA :

**DOVE LA MECCANICA
QUANTISTICA SCONVOLGE
COMPLETAMENTE LE NOSTRE
CATEGORIE MENTALI DI**

“REALE “ E “VIRTUALE”

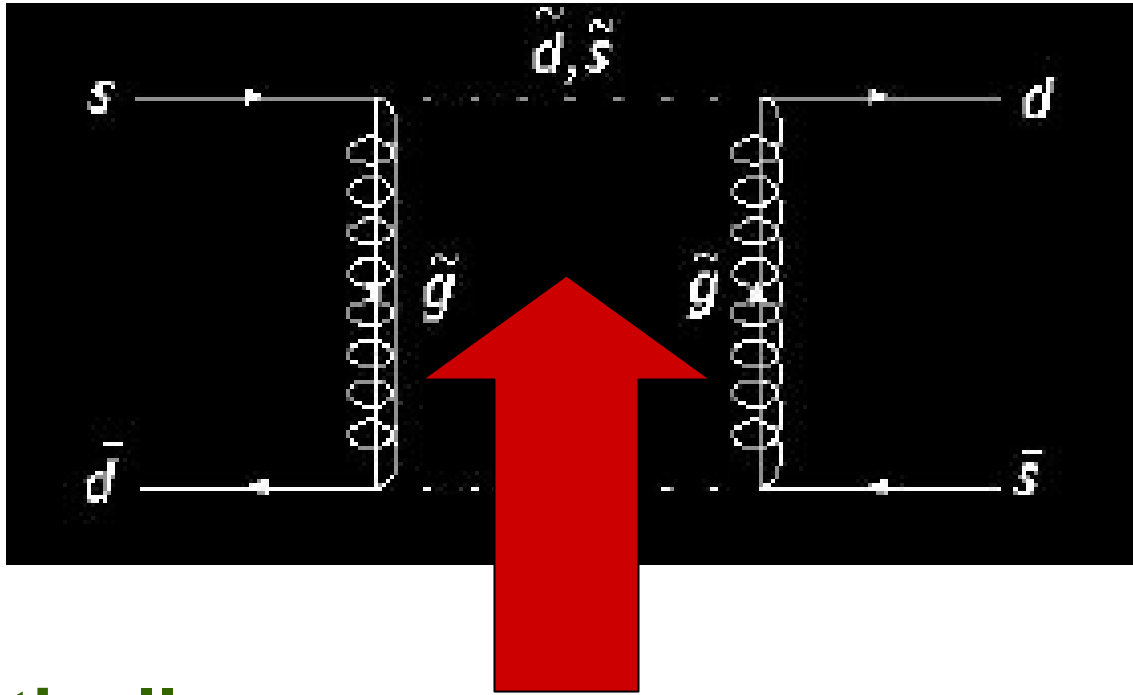
LA REALTA' FISICA NELLA MECCANICA QUANTISTICA: PARTICELLE REALI E VIRTUALI





Il quark top ha una **massa molto maggiore** di quella dei mesoni B, eppure esiste “**virtualmente**” per un intervallo di tempo molto breve durante il quale il mesone B oscilla nel suo antimessone: secondo la meccanica quantistica se uno stato “vive” per un **tempo Δt molto breve la sua energia ha un’incertezza ΔE che puo’ essere molto grande** $\longrightarrow \Delta E \Delta t > h$ (costante di Planck)

SCOPRIRE NUOVE PARTICELLE (pesanti) OSSERVANDONE LA LORO ESISTENZA **VIRTUALE**



Nuove particelle SUSY con massa migliaia di volte piu' grandi di quella dei mesoni fisici che oscillano: possibile scorgerne la loro presenza se si misura il fenomeno con **altissima precisione**
→ necessario avere un'altissima produzione dei mesoni che oscillano → **macchine ad altissima intensita' o luminosita'**



Il Governo Italiano finanzia l'acceleratore SuperB

Venerdì 24 Dicembre 2010

**PROGETTO DI UNA NUOVA MACCHINA
ACCELERATRICE CON LA PIU' ALTA
PRODUZIONE DI MESONI B AL MONDO**

SuperB vuole aumentare così di **100 volte rispetto al limite attuale il numero di reazioni prodotte nella stessa unità di tempo in laboratorio**. Il balzo in avanti di SuperB si basa su **idee sviluppate in Italia e sperimentate dalla divisione acceleratori dei Laboratori Nazionali di Frascati dell'INFN**, con la macchina Dafne.

TEVATRON → LHC → ILC

ALTA ENERGIA: LA FISICA AGLI ACCELERATORI

NUOVA FISICA
AL TEV

FISICA
ASTROPARTICELLARE

ALTA INTENSITA': LA
FISICA DEL "VIRTUALE"

DARK MATTER
DARK ENERGY

"LOW ENERGY"

PRECISION PHYSICS

ASIMMETRIA COSMICA
MATERIA-ANTIMATERIA

VIOLAZIONE DI CP

FISICA del B e del K

ONDE GRAV. INFLAZIONE

FISICA DEL NEUTRINO

...qui sono stati rivelati,
riguardo a questa nuova ed
eccellente scienza, di cui il
mio lavoro e' solo l'inizio,
strade e strumenti dei quali
altre menti, piu' acute della
mia, esploreranno gli angoli
piu' remoti.

GALILEO GALILEI