

VIAGGIO NEL CUORE DELLA MATERIA: I MATTONI FONDAMENTALI DELL'UNIVERSO

Antonio Masiero
Universita' di Padova
e

Istituto Nazionale di Fisica Nucleare,
Sezione di Padova

DOMANDE “FONDAMENTALI” SULLA MATERIA: ESISTE UN’UNITA’ DI FONDO?

- Di che cosa e’ fatta la materia dell’Universo ?
- Scomponendola in parti sempre piu’ piccole, e’ possibile arrivare ai “mattoni fondamentali” della materia (particelle di materia che non sono divisibili e che non hanno struttura)?
- Quali sono le forze (“interazioni”) che agiscono sulla materia?
- Esiste una UNIFICAZIONE delle forze per cui la varieta’ delle interazioni discende da un’unica interazione fondamentale?

L'ATOMO DI DEMOCRITO




- Democrito di Abdera (Tracia) 25 secoli fa risponde così:
- Spezzettando la materia in frammenti sempre più piccoli si arriva ad una particella fondamentale, indistruttibile (ATOMOS: indivisibile in greco antico)
- Gli atomi sono eterni e immutabili, esistono in varie forme e sono animati da un continuo movimento nello SPAZIO VUOTO
- L'Universo di Democrito è costituito da DUE entità opposte: **ATOMI** e **VUOTO**

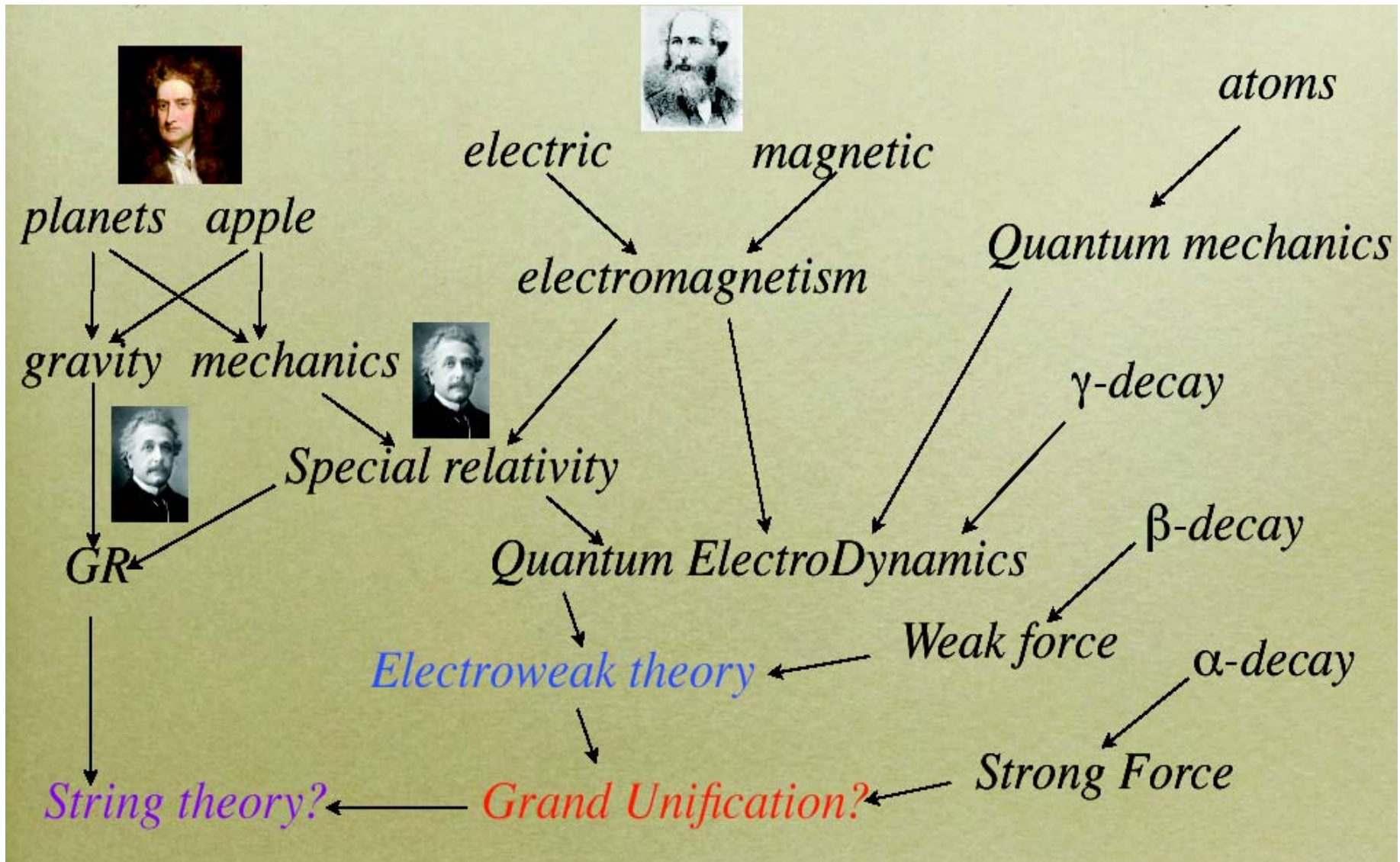
“Colui che ‘I mondo A CASO pone”

- Atomi eterni che generano la materia attraverso combinazioni CASUALI
→ vince Aristotele con il “motore del mondo” che da’ forma e energia a tutto l’universo combinando “terra, acqua, aria e fuoco”
- Esistenza del VUOTO → vince la tesi che “la natura aborre il vuoto” e il vuoto in quanto “nulla” non esiste

PROVANDO E RIPROVANDO

- 1500 anni dopo i filosofi della natura greci che prediligevano il pensiero e la deduzione logica  **Bacone, Galileo,...** fondano la scienza moderna basata sull'**ESPERIMENTO**: formulo una teoria e verifico la sua validita' mediante degli esperimenti
- **SCIENTIA EXPERIMENTALIS** contro l'autoritarismo culturale (e infatti Bacone, Giordano Bruno, Galileo pagano lo scotto per questo nuovo modo di cercare la verita')
- “**TELE-SCOPIO**” e “**MICRO-SCOPIO**” :
 oggetti lontani  oggetti vicini (piccoli)

UNIFICAZIONE DELLE INTERAZIONI FONDAMENTALI



FERMIONI & BOSONI

Caratterizzazione delle proprietà di trasformazione delle particelle sotto rotazioni spaziali → Spin

Quantità determinata che rappresenta (in unità di \hbar) il momento angolare intrinseco della particella

(Idea intuitiva di spin: particella ruotante intorno ad un asse → falsa: oggetto puntiforme non può ruotare su stesso)

Campi suddivisi in 2 grandi categorie

Fermioni: spin semintero

Bosoni: spin intero

MATERIA & RADIAZIONE

Campi sono di 2 tipi

**Campi
Materiali**

Fermioni a
spin $1/2$

Leptoni

Quarks

**Mediatori delle
Interazioni**

Bosoni

Interazioni

<u>Interazione</u>	<u>Carica</u>	<u>R</u> (cm)	<u>Forza</u>	<u>Azione</u>
Gravitazionale	energia	∞	$\approx 10^{-43}$	Q , L
E. M.	elettrica	∞	$\approx 10^{-2}$	Q , L
Debole	debole	10^{-15}	$\approx 10^{-5}$	Q , L
Forte (Colore)	colore	10^{-13}	1	Q

4 interazioni per spiegare tutto l'Universo

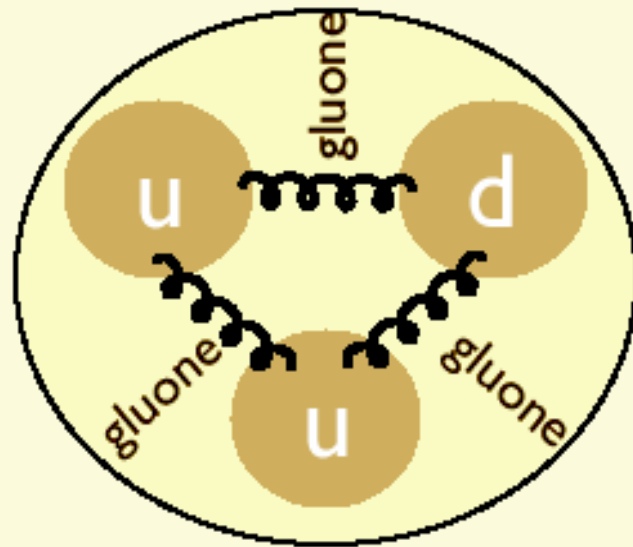
- Debole* : responsabile della radioattività β
(decadimento del neutrone $n \rightarrow p + e^- + \nu_e$)

Interazioni

<u>Interazione</u>	<u>Mediatore</u>	<u>Spin</u>	<u>m (GeV)</u>
Gravitazionale	Gravitone (G)	2	0
Elettromagnetica	Fotone (γ)	1	0
Debole	3 Bosoni (W^\pm, Z^0)	1	80.4, 91.2
Forte (Colore)	8 Gluoni (g_i)	1	0

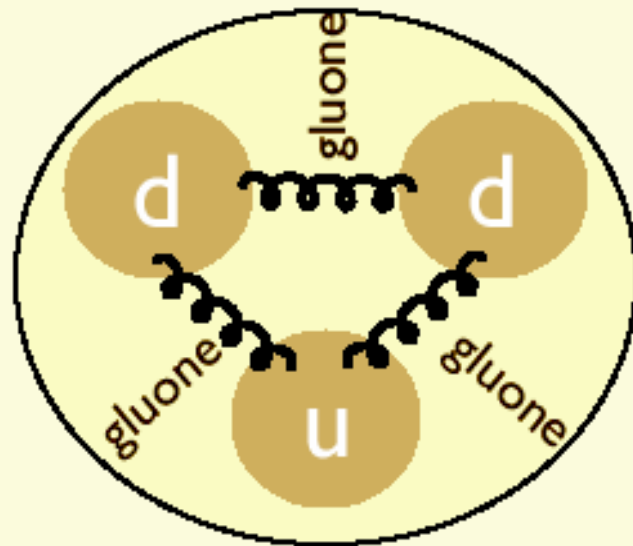
COLLA NUCLEARE

Protone



$$Q = 2/3 e + 2/3 e - 1/3 e \\ = e$$

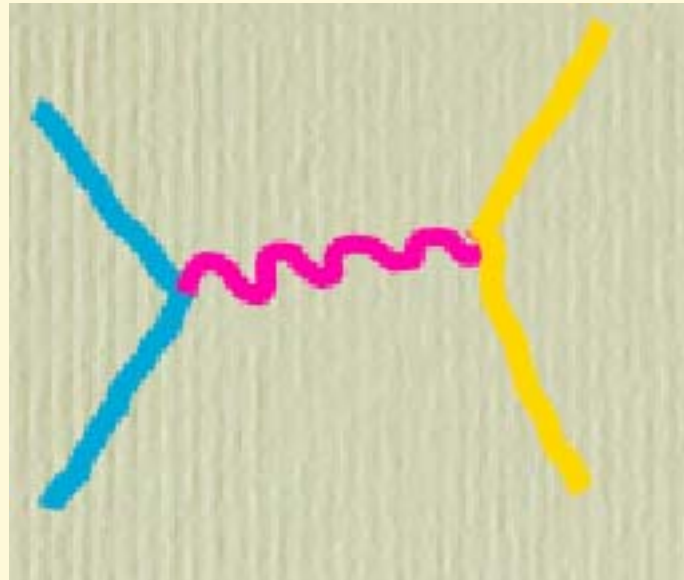
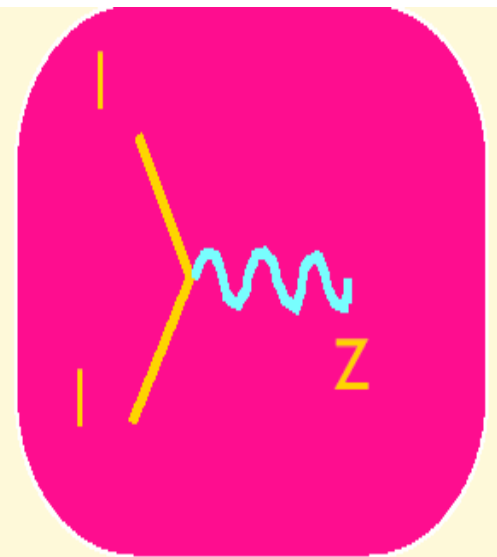
Neutrone



$$Q = 2/3 e - 1/3 e - 1/3 e \\ = 0$$



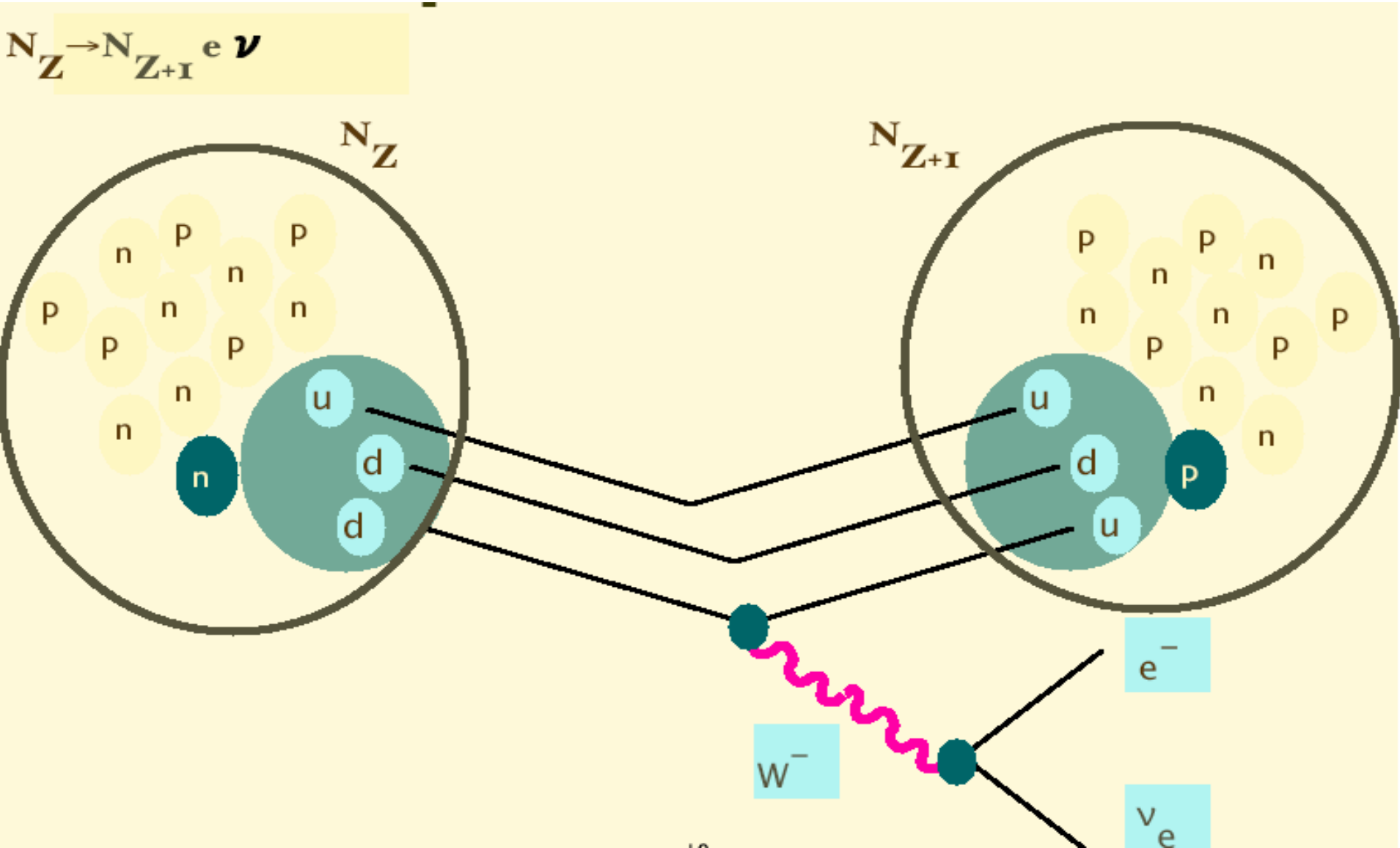
$\propto -e = \text{electric charge}$



$\propto g_W = \text{weak charge}$



DECADIMENTO RADIOATTIVO β DI UN NUCLEO A LIVELLO DELL'INTERAZIONE DEBOLE TRAI SUOI QUARK COSTITUENTI

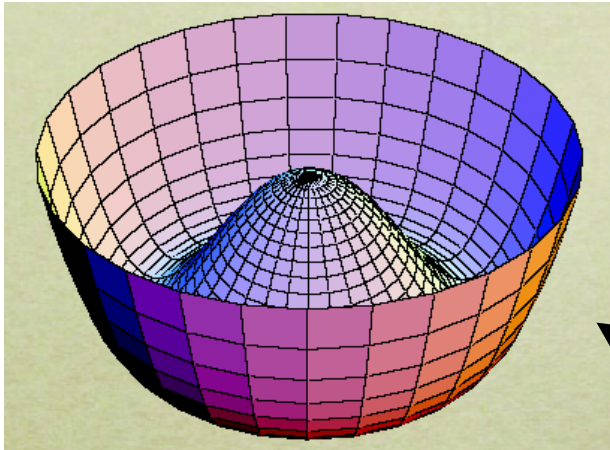


The HIGGS BOSON CONDENSATE

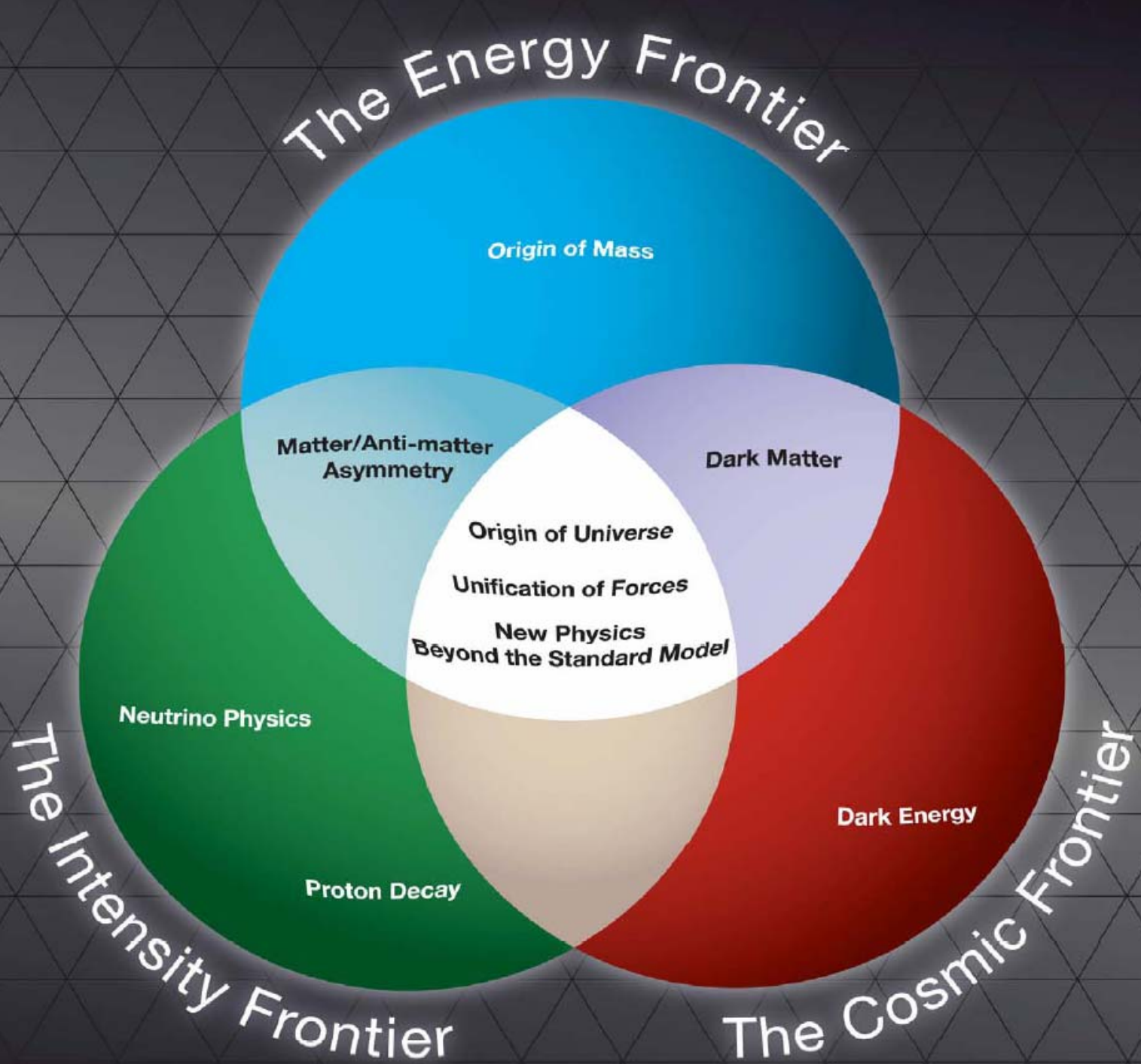
gravity 

electric force 

weak force



- “SOMETHING” fills the Universe: it “disturbs” Weak interactions making them SHORT-RANGED, while it does NOT affect gravity or electromagnetism.
- WHAT IS IT?
- Analogy with SUPERCONDUCTIVITY: in a superconductor the magnetic field gets repelled (Meissner effect) and penetrates only over the “penetration length”, i.e. the magnetic field is short-ranged → source which disturbs are the boson condensates, Cooper pairs.
- We are “swimming” in Higgs Boson Condensates → its value at the minimum of its potential determines the masses of all particles!



The Energy Frontier

Origin of Mass

Matter/Anti-matter
Asymmetry

Dark Matter

Origin of Universe

Unification of Forces

New Physics
Beyond the Standard Model

Neutrino Physics

Dark Energy

Proton Decay

The Intensity Frontier

The Cosmic Frontier

ACCELERATORI LINEARI E CIRCOLARI



Colliders at Fermi Scale



LEP



HERA



TEVATRON



FERMILAB

-> e+e- collider(2000)
 $E_{cm} = 90-209$ GeV
 Lumi = 900 pb⁻¹/exp.(phys)
 ALEPH, DELPHI
 L3, OPAL

SLC: polarized e⁺e⁻
 at Z peak



DESY

-> e[±]p collider
 $E_{cm} = 320$ GeV
 H1, ZEUS
 HERA I 120 pb⁻¹/expt(phys.)
 HERA II 2007 -> 700 pb⁻¹(delivered, e[±], ±P_e)

-> p⁺p⁻ collider: CDF, D0

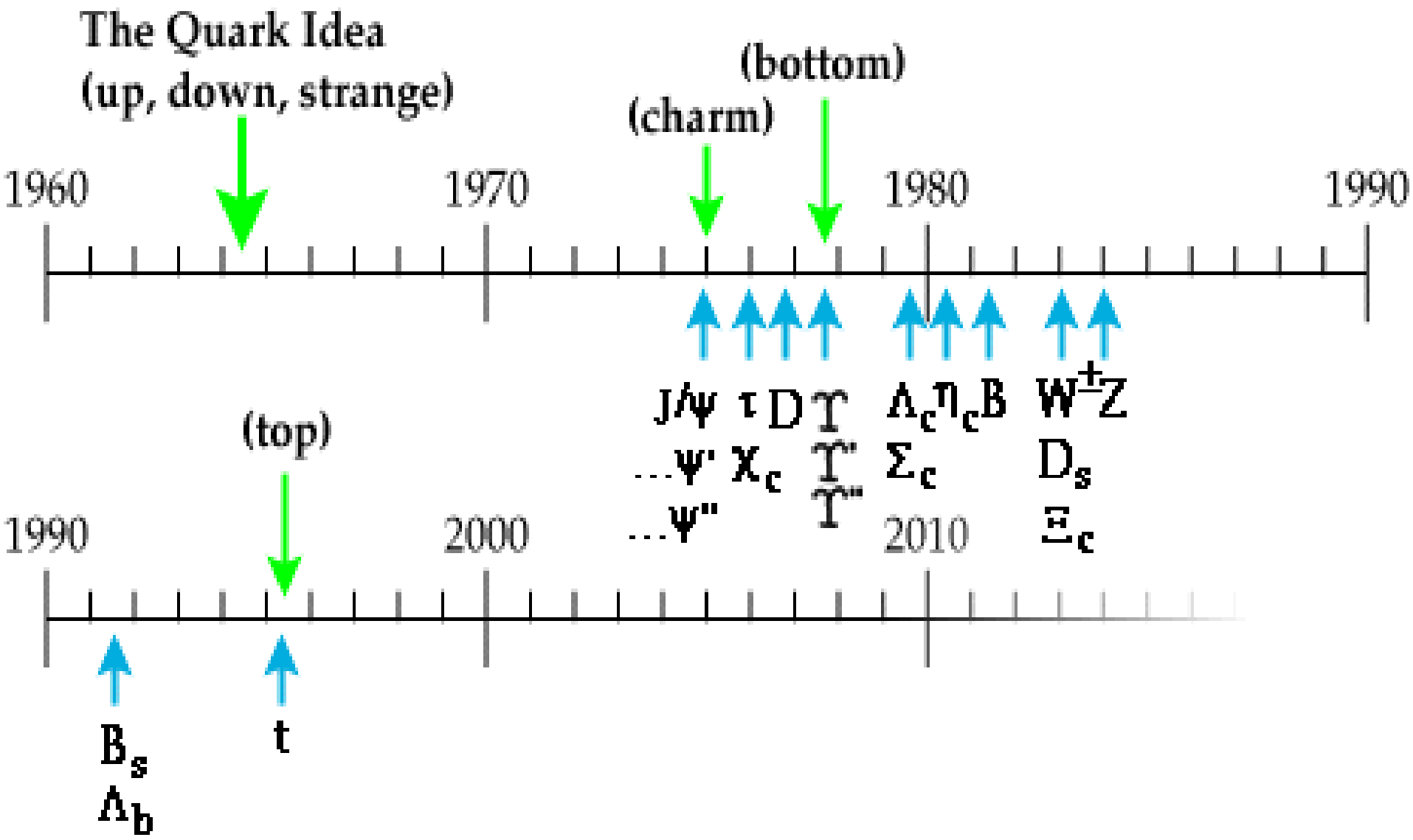
Run I $E_{cm} = 1.8$ TeV
 130 pb⁻¹/exp.(phys.)

Run II $E_{cm} = 1.96$ TeV
 1fb⁻¹ delivered

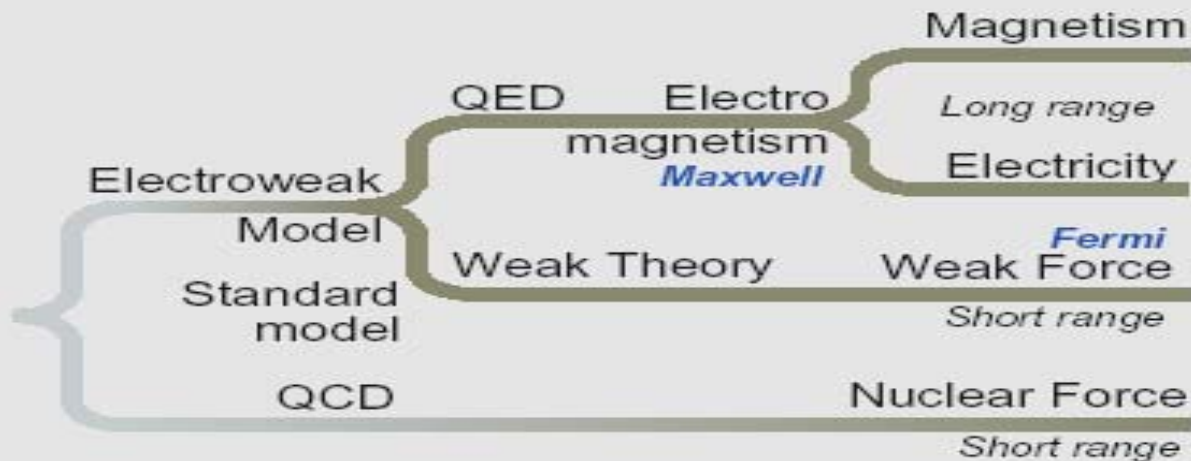
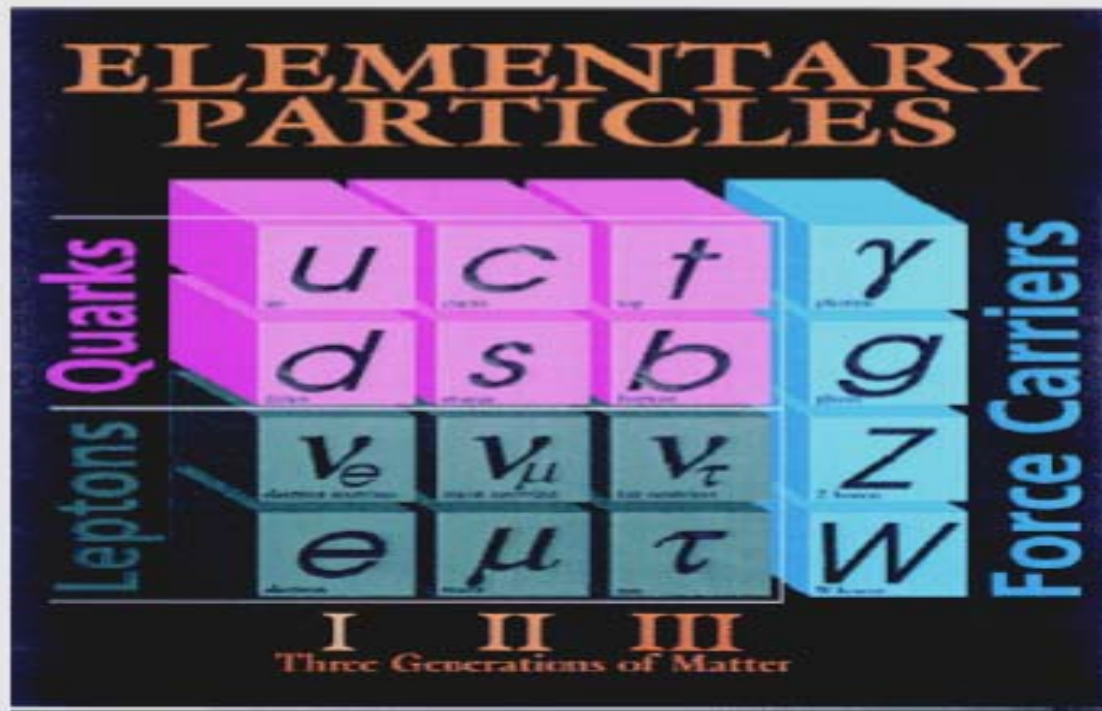
2009 -> 4-8 fb⁻¹

Many other interesting results from lower energy facilities

A CACCIA DI QUARKS



THE G-W-S STANDARD MODEL



Gravity
?

The Standard Model



I II III
Three Generations of Matter

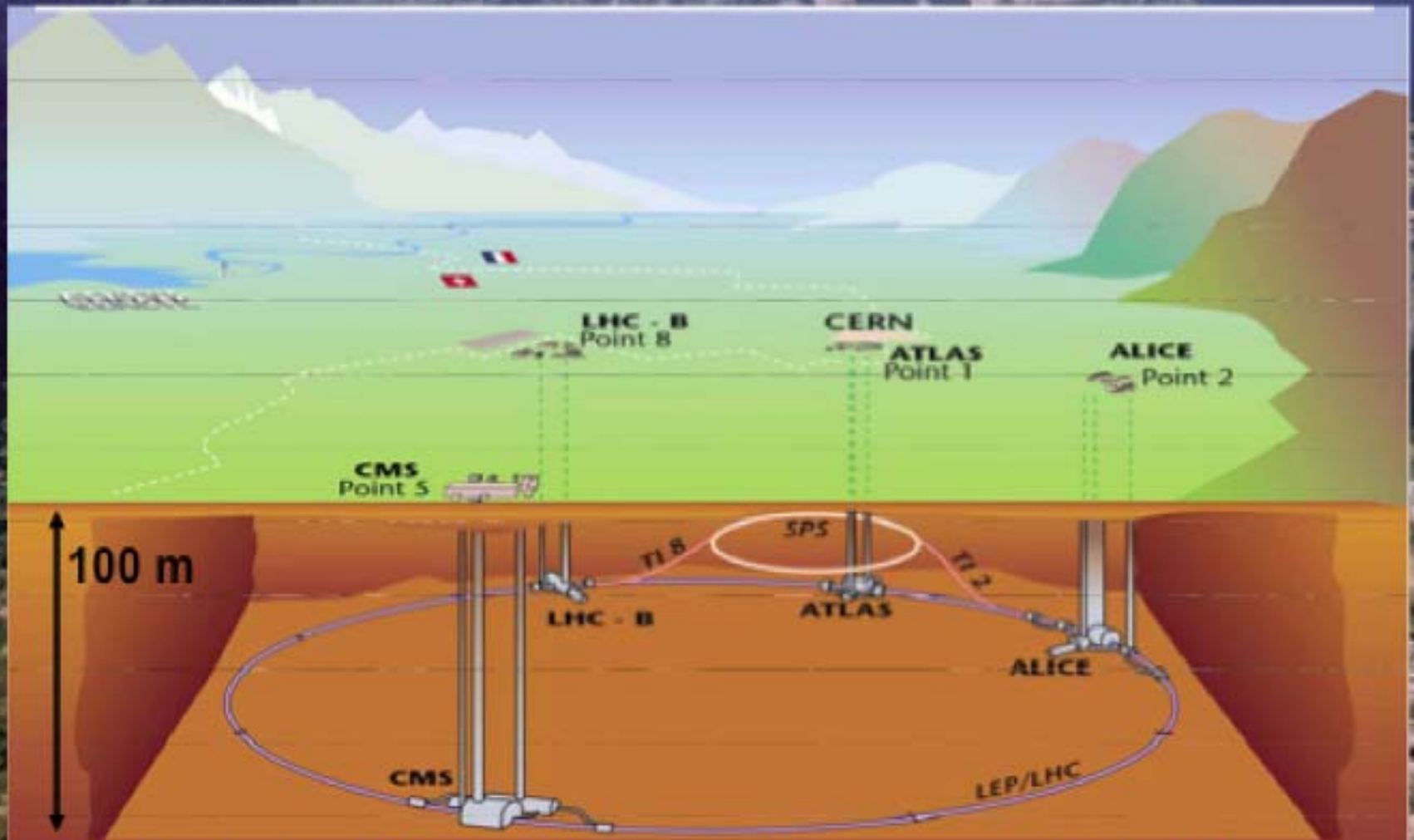
H
Higgs boson

?

Large Hadron Collider (LHC) at CERN

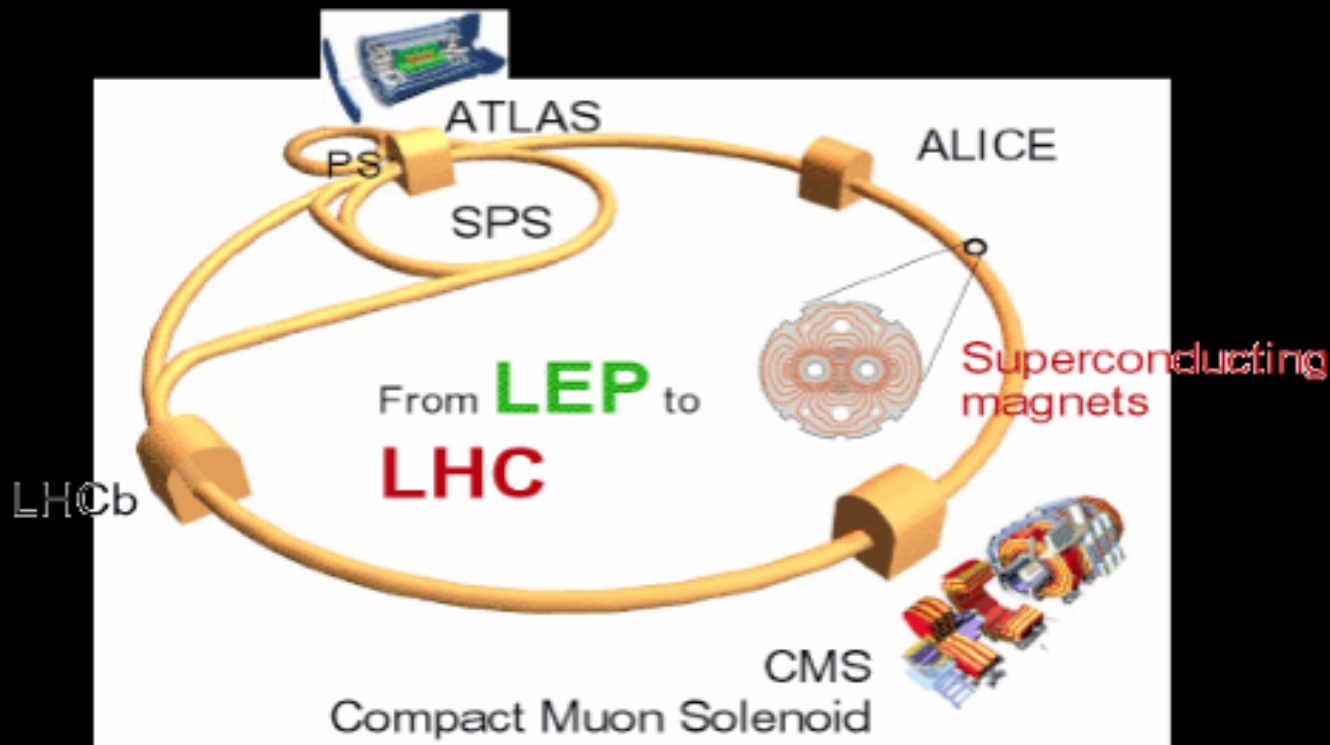


LHC at CERN



Collisioni a 14 TeV (milioni di milioni di eV)

LHC: THE DISCOVERY MACHINE FOR THE NEW PHYSICS AT THE TEV SCALE



	Beams	Energy GeV	Luminosity
LEP	e+ e-	200	$10^{32} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$
LHC	p p Pb Pb	14000 1,312,000	10^{34} 10^{27}

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



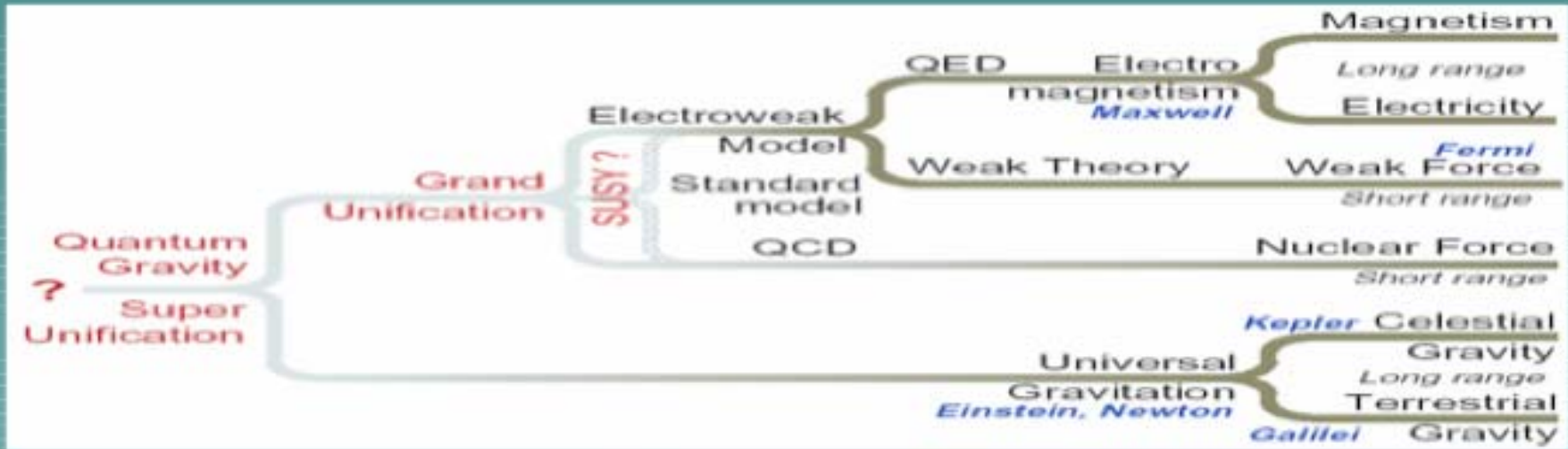
10^{-43} sec	10^{-32} sec	10^{-10} sec	10^{-4} sec	100 sec	300KY → 15GY
10^{-35} m	10^{-32} m	10^{-18} m	10^{-16} m	10^{-15} m	10^{-10} m
10^{19} GeV	10^{16} GeV	10^2 GeV	1 GeV	1 MeV	10 eV

???

LHC

LEP

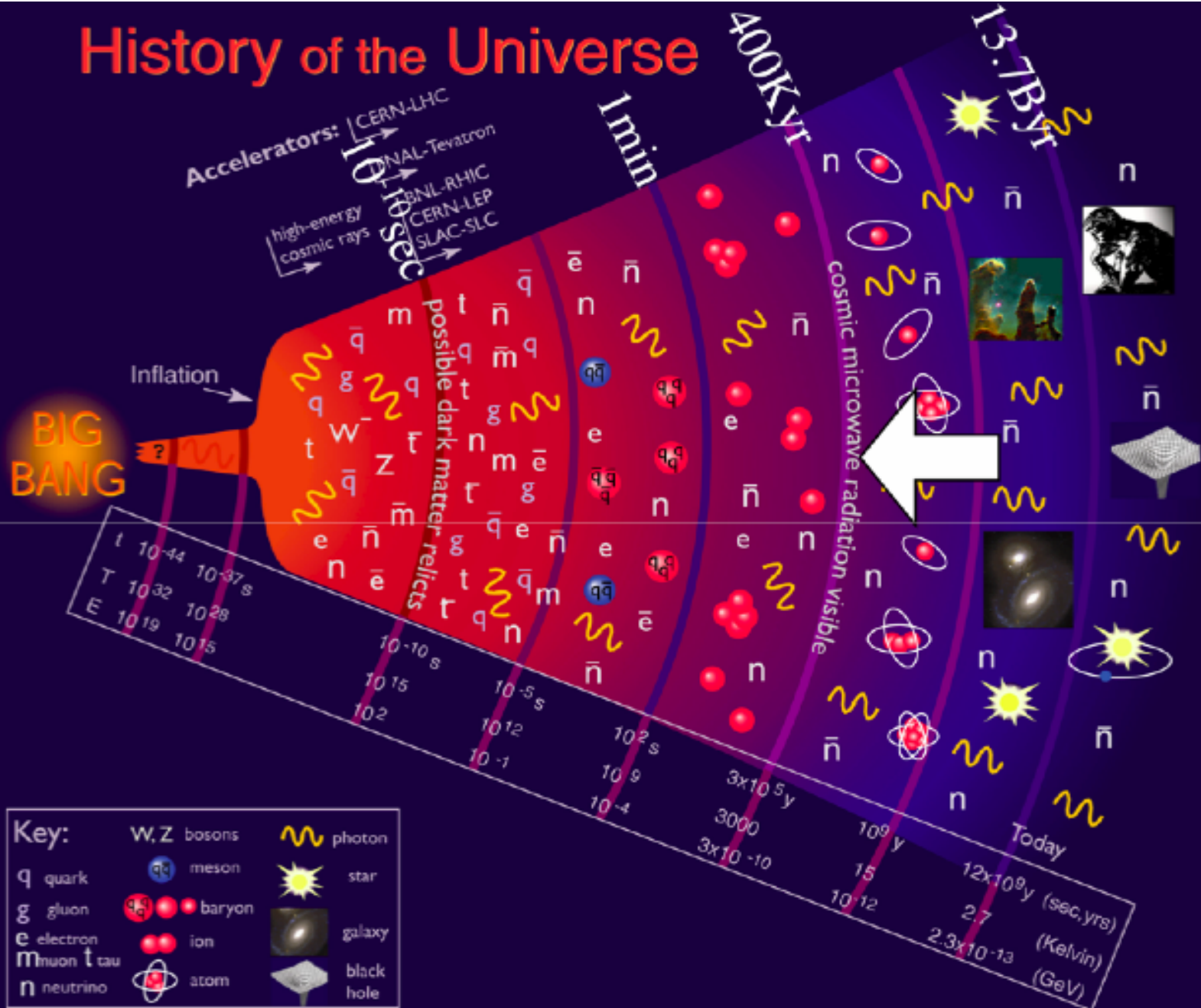
Astronomia →



Theories:

STRINGS? RELATIVISTIC/QUANTUM CLASSICAL

History of the Universe

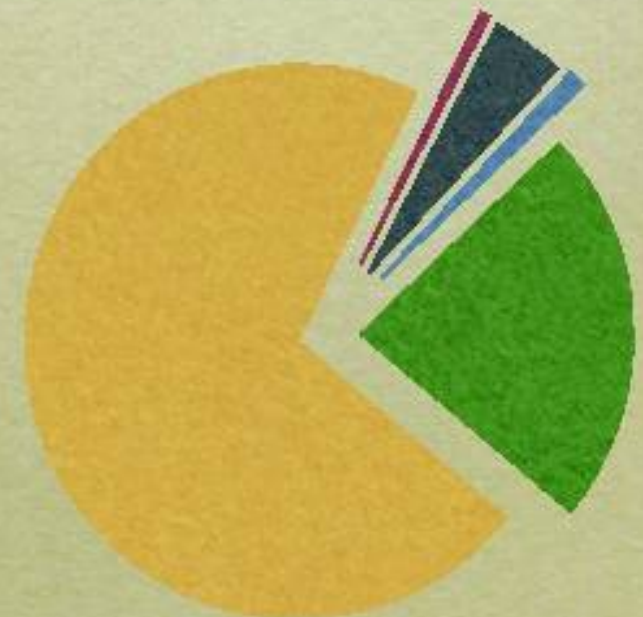


INDICAZIONI DI NUOVA FISICA AL DI LA' DEL MODELLO STANDARD

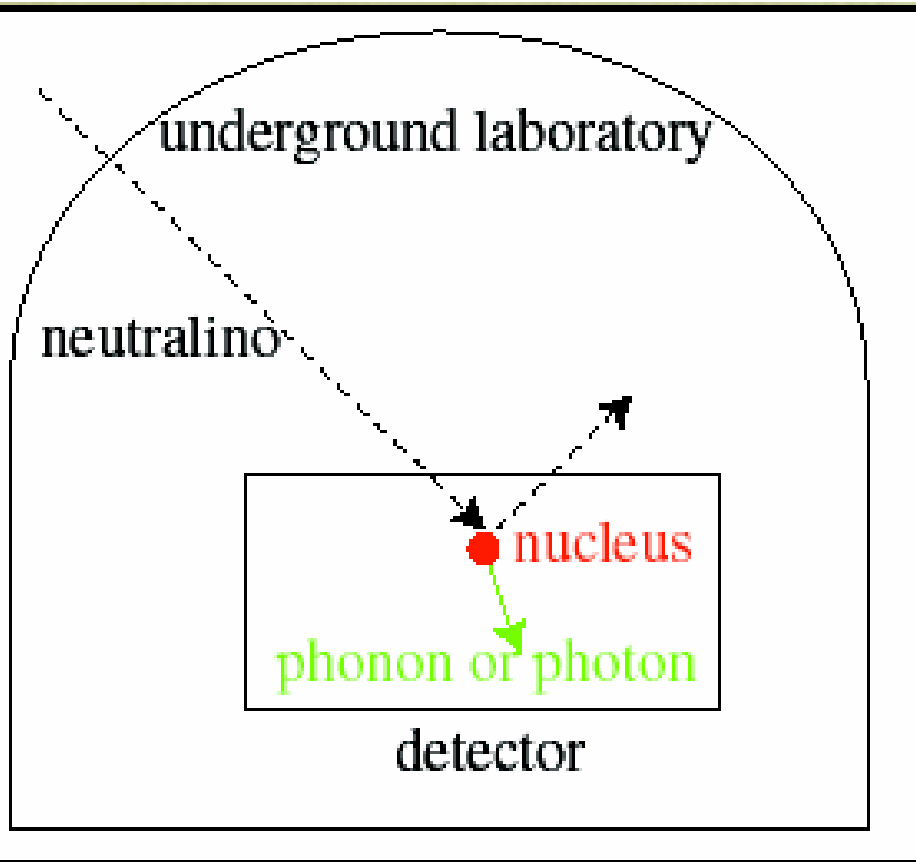
- **MASSA DEI NEUTRINI**
- ESISTENZA DI **MATERIA OSCURA** NON COSTITUITA DALLA “SOLITA” MATERIA (protoni, neutroni)
- **ASIMMETRIA COSMICA TRA MATERIA E ANTIMATERIA**: ESISTENZA DI UNA NUOVA SORGENTE DI **VIOLAZIONE DI CP** OLTRE A QUELLA PREVISTA DAL MODELLO STANDARD
- DOMANDE “**FONDAMENTALI**” A 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)**”

Bilancio energetico dell'Universo

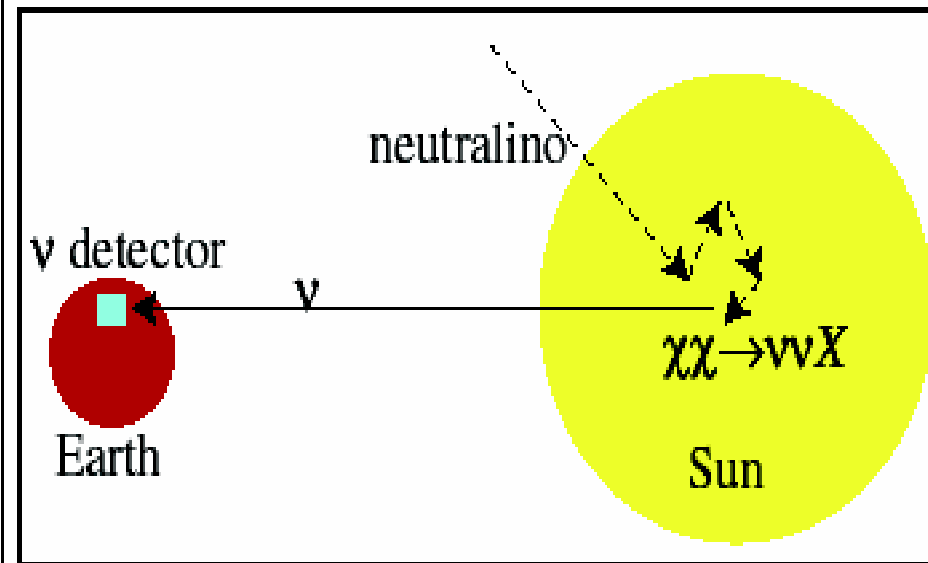
- *Stars and galaxies are only $\sim 0.5\%$*
- *Neutrinos are $\sim 0.1-1.5\%$*
- *Rest of ordinary matter
(electrons, protons & neutrons) are 4.4%*
- *Dark Matter 23%*
- *Dark Energy 73%*
- *Anti-Matter 0%*
- *Higgs Bose-Einstein condensate
 $\sim 10^{62}\%??$*



A Caccia di Materia Oscura



RICERCA DIRETTA DI DM



RICERCA INDIRETTA DI DM

RICERCA INDIRECTA DI MATERIA OSCURA

- ANNICHILAZIONE WIMP-ANTIWIMP
- RILEVANTI PRODOTTI DELL'ANNICHILAZIONE :
 - 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 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 sulla ISS)

WIMPs: proviamo a “fabbricarli” anche noi !

L'IPOTESI “WIMPS”

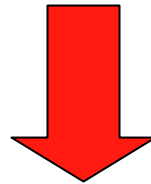
MATERIA OSCURA
COSTITUITA DA
PARTICELLE “NUOVE” CON
MASSA TRA 100 E 1000 GEV
CHE INTERAGISCONO
SOLO DEBOLMENTE

LHC, ILC (LINEAR COLLIDER)
POSSONO **PRODURRE WIMPS**

WIMPS scappano dal rivelatore

“FIRMA” DELL'HIGGS:

ENERGIA MANCANTE

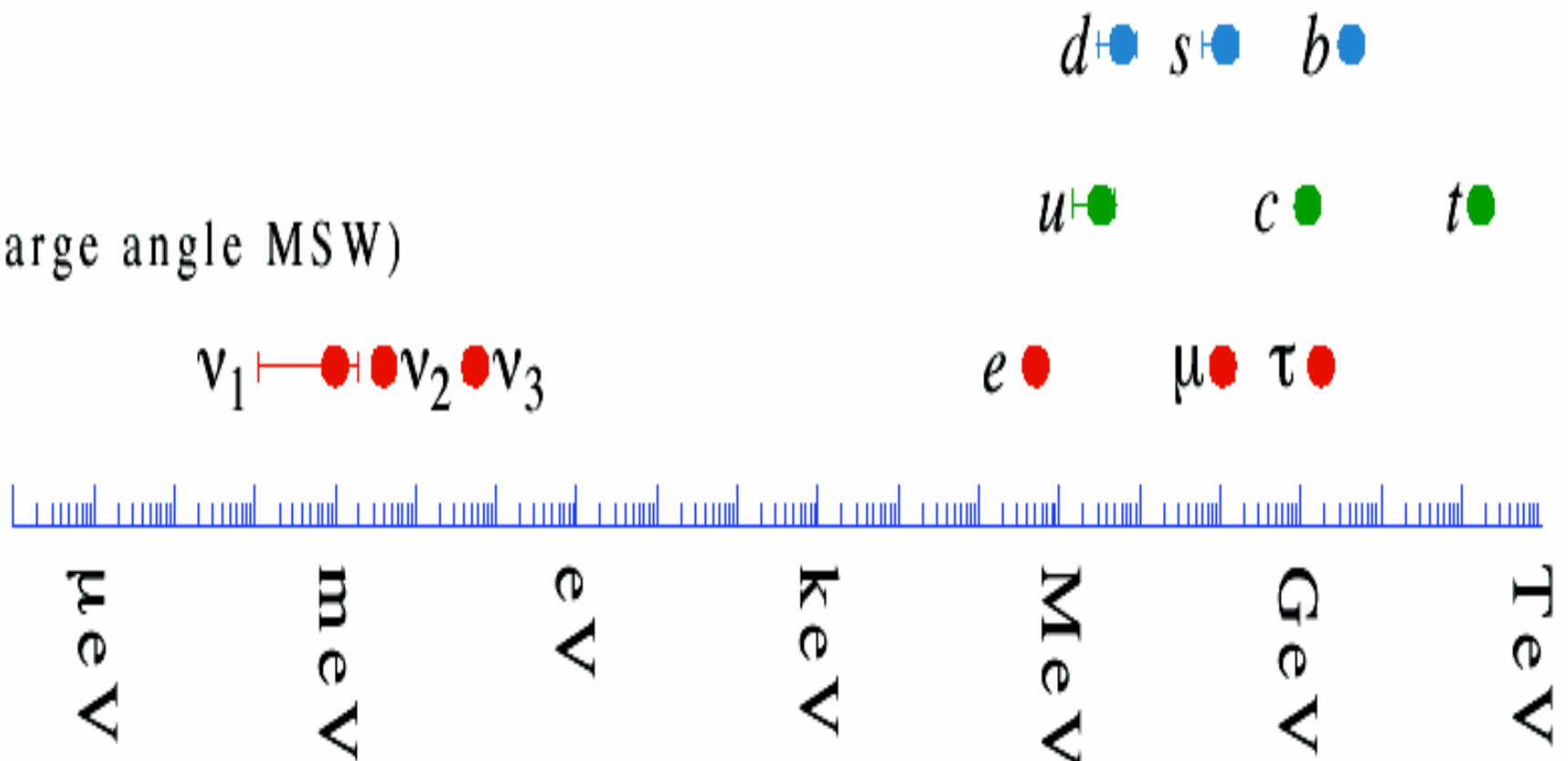


DALLA MISURA DI **MATERIA OSCURA** → POSSO
RISALIRE A QUANTO GLI WIMPS INTERAGISCONO CON
LA MATERIA ORDINARIA E QUINDI PREDIRE LA
QUANTITA' DI WIMPS CHE PRODURRO' A LHC O A ILC

THE FERMION MASS PUZZLE

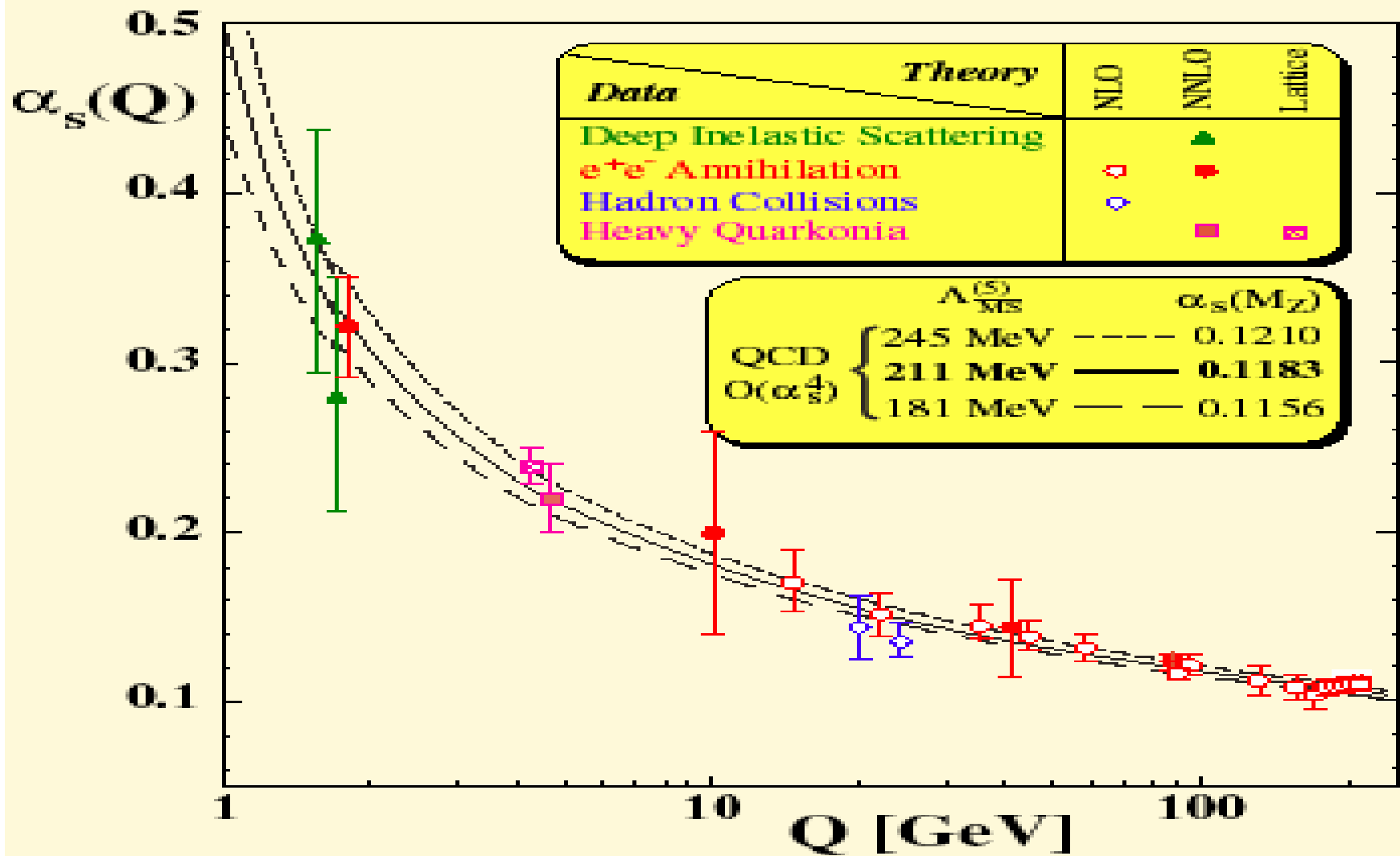
fermion masses

(large angle MSW)

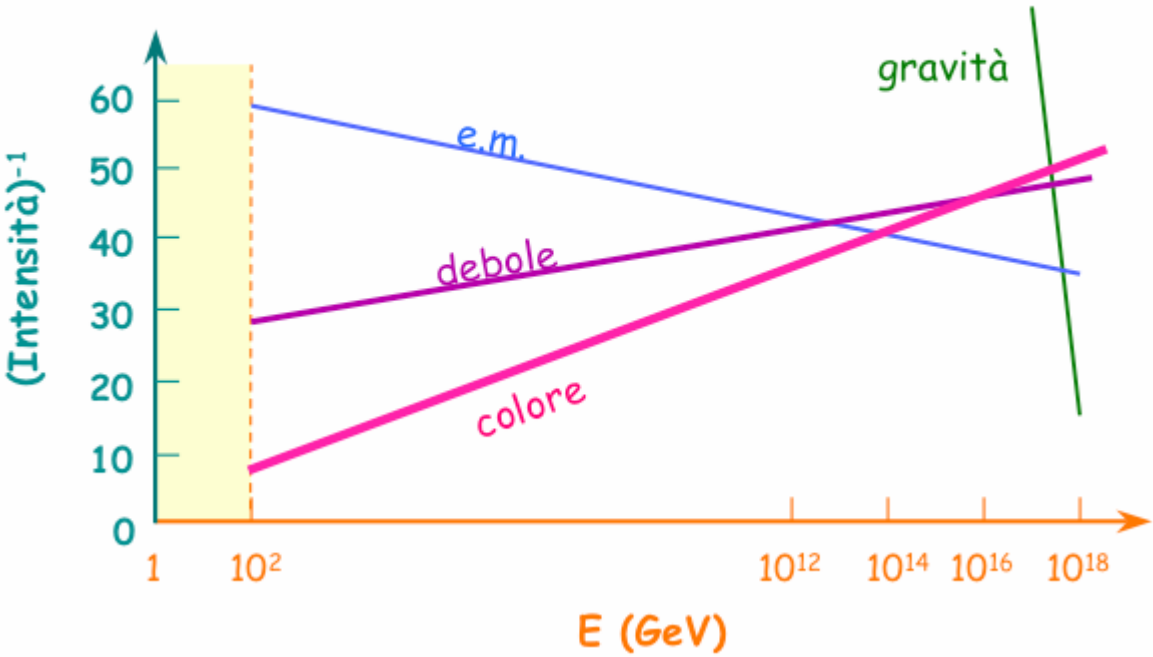


LE “COSTANTI” DI ACCOPPIAMENTO FONDAMENTALI

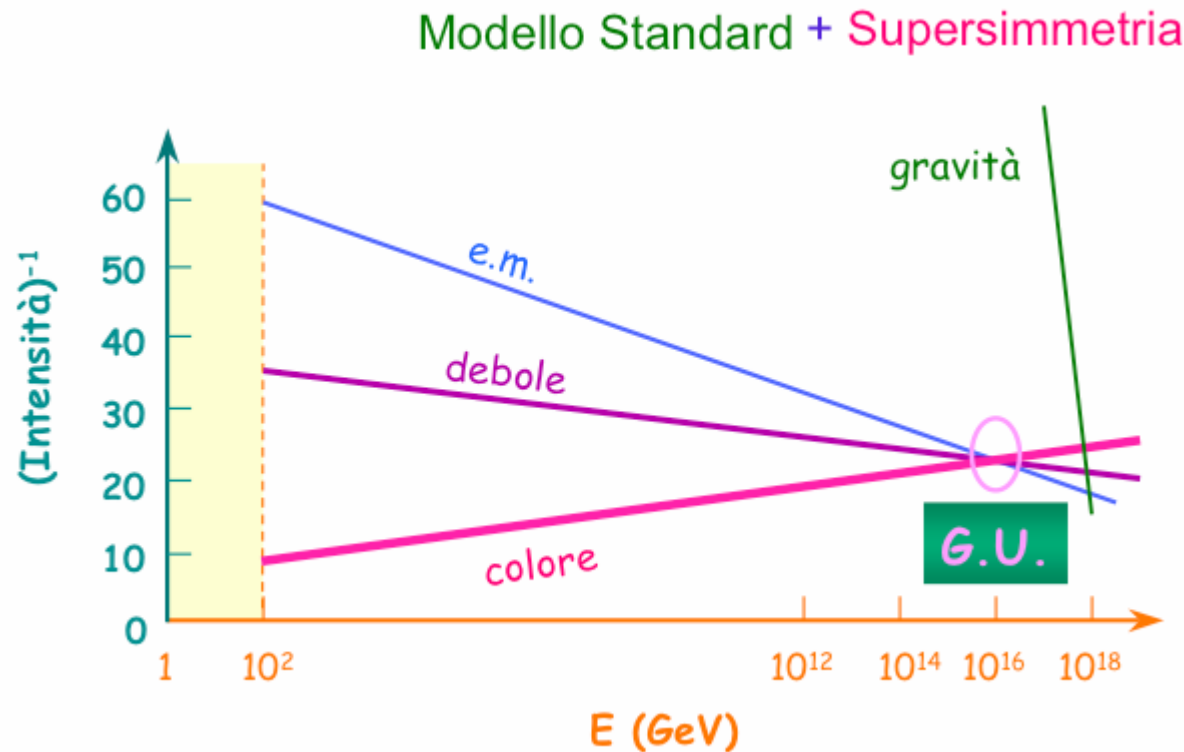
NON SONO COSTANTI



Modello Standard



DA G.U.T. A SUSY G.U.T.



Aggiunta di nuove particelle SUSY partner di quelle ordinarie del Modello Standard ad una scala di massa tra 100 e 1000 GeV

STRADE PER ANDARE AL DI LA' DEL MODELLO STANDARD

1) **NON ESISTE NESSUNA SCALA DI ENERGIA OLTRE QUELLA DEL MS**: la gravita' e' una forza molto debole perche' esistono **NUOVE DIMENSIONI** oltre alle 3+1 spazio-temporali "nostre"

➔ **VISIBILITA' A LHC**: ESISTONO STATI ECCITATI (DI **KALUZA-KLEIN**) ED ALCUNI SONO A SCALA ACCESSIBILE A LHC (**il piu' leggero KK puo' essere una particella stabile e costituire la materia oscura**)

STRADE OLTRE SM (II)

- **2) NON ESISTE IL PROBLEMA DI “TRATTENERE” LA MASSA DEL BOSONE DI HIGGS A 100 GEV PERCHE’ L’HIGGS E’ UN OGGETTO COMPOSTO**

→ **VISIBILITA’ A LHC:** NUOVE INTERAZIONI CHE PRODUCONO IL CONDENSATO DI FERMIONI CHE CHIAMIAMO HIGGS (nuove risonanze, nuovi stati legati, una nuova QCD a 1 TeV)

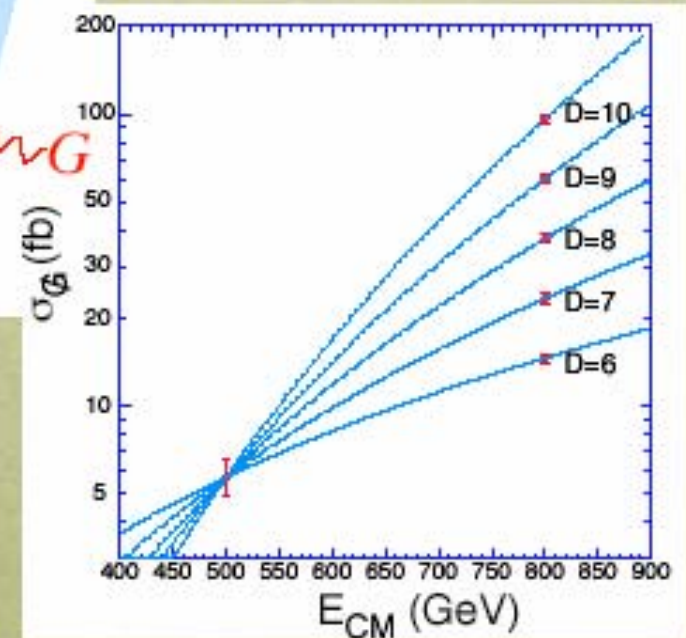
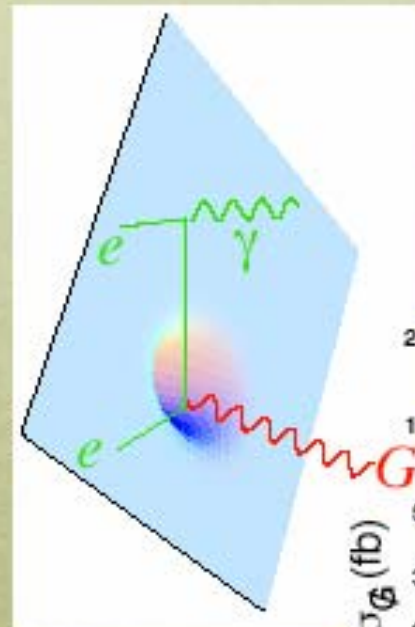
STRADE OLTRE SM (III)

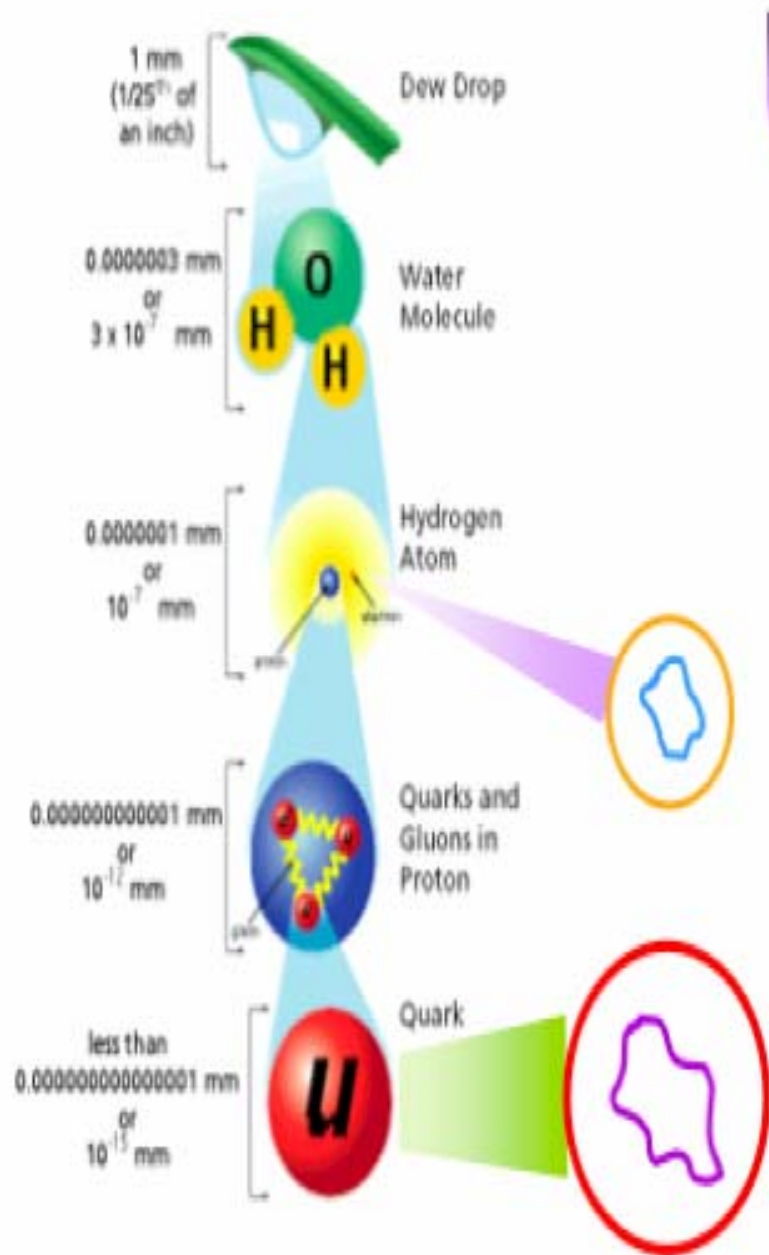
- 3) LA MASSA DELL'HIGGS E' "PROTETTA" A 100 – 1000 GEV PERCHE' ESISTE UNA NUOVA SIMMETRIA, LA **SUPERSIMMETRIA**
→ **VISIBILITA' A LHC**: VEDREMO LE PARTICELLE SUPERSIMMETRICHE E LE LORO INTERAZIONI. LA PIU' LEGGERA PARTICELLA SUSY PUO' ESSERE STABILE E COSTITUIRE LA MATERIA OSCURA. AL TEMPO STESSO POTREMMO **SCOPRIRE SUSY E LA SORGENTE DEL 90% DELLA MATERIA PRESENTE NELL'UNIVERSO**

Hidden Dimensions

- *Hidden dimensions*
- *Can emit graviton into the bulk*
- *Events with apparent energy imbalance*

How many extra dimensions are there?





Teoria delle Stringhe

ulteriore livello
 microscopico: particelle
 non sono puntiformi, ma
 piccoli (10^{-33} cm) anelli
 oscillanti

diversi stati di
 oscillazione della stringa
 → particelle diverse

**RICERCA DIRETTA DI
NUOVA FISICA: PRODUCI
E OSSERVA NUOVE
PARTICELLE ED INTERAZIONI**

LHC

**NUOVA FISICA
AL DI LA' DEL
MS**

DARK MATTER

$m_\chi, n_\chi, \sigma_\chi \dots$

**LEGAME TRA FISICA DELLE
PARTICELLE, COSMOLOGIA E
ASTROFISICA**

"LOW ENERGY"

PRECISION PHYSICS

**FCNC, CP \neq , (g-2), $(\beta\beta)_{0\nu\nu} \dots$
FISICA "RARA" : PROCESSI
SOPPRESSI NEL MS A CUI PUO'
CONTRIBUIRE LA NUOVA FISICA**