

Problemi attuali di fisica delle particelle

Incontri di Fisica 2007
LNF, Frascati, 1/3 Ottobre 2007

Riccardo Barbieri
SNS Pisa

Le particelle elementari in una pagina

$$\mathcal{L}_{\sim SM} = -\frac{1}{4}F_{\mu\nu}^a F^{a\mu\nu} + i\bar{\Psi} \not{D}\Psi$$

Il settore di gauge (1)

$$+ \Psi_i \lambda_{ij} \Psi_j h + h.c.$$

Le generazioni (2)

$$+ |D_\mu h|^2 - V(h)$$

La rottura della simmetria (3)

$$+ N_i M_{ij} N_j$$

*Le masse dei neutrini (4)
(se di **Majorana**)*

“il quadrante della natura le cui leggi si lasciano scrivere in 4 righe con precisione assoluta e la massima evidenza empirica”

(non una gerarchia)

Un secolo per svilupparne la teoria, da Maxwell in poi

(Pagina 1)

Le radici e la storia principale

1860's Maxwell formula la teoria dell'elettromagnetismo

1896 Becquerel e i coniugi Curie scoprono la radioattività'
(le interazioni deboli)

1934 Fermi formula la teoria dei decadimenti radioattivi

1940's Feynman, Schwinger e Tomonaga formulano
l'elettrodinamica quantistica

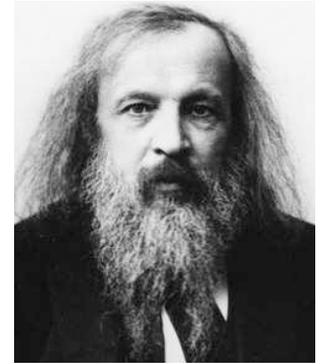
1960's Glashow, Weinberg e Salam formulano il "Modello Standard"

1960/70 Si scoprono i quark e nasce la Cromodinamica, cioè la
teoria delle interazioni forti

1983 Rubbia e Van der Meer scoprono i bosoni intermedi

1990's Si scopre che i neutrini hanno massa

Tavola di Mendeleev moderna



(A) *fermioni*

$\Psi =$

	<i>quark</i>		<i>leptoni</i>	
	u	d	e 1897	ν_e 1956
	c 1974	s	μ 1937	ν_μ 1962
	t 1994	b 1977	τ 1975	ν_τ 2000

3 generazioni

(B) *bosoni di gauge*: fotone γ , gluone g , bosoni deboli W, Z

(C) *bosone di Higgs* h (?)

$$H = (pe)$$

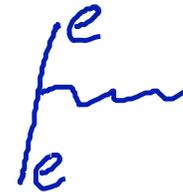
$$p = (uud)$$

$$n = (udd)$$

Accuratezza della teoria (esempio)

Momento magnetico dell'elettrone: $\mu = \frac{e\hbar}{2mc}g$

$g = 2$ senza l'effetto delle particelle virtuali:

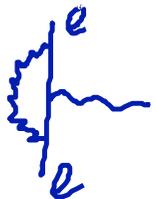


Predizione teorica:

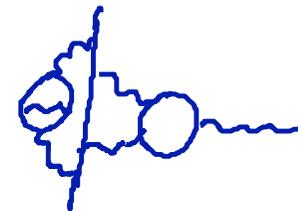
$$g - 2 = \frac{\alpha}{\pi} + 2.0765\alpha^2 + 48.2\alpha^3 + 252\alpha^4 + 1860\alpha^5 + \dots ; \quad \alpha = \frac{e^2}{4\pi\hbar c} \sim \frac{1}{137}$$



Schwinger 1948



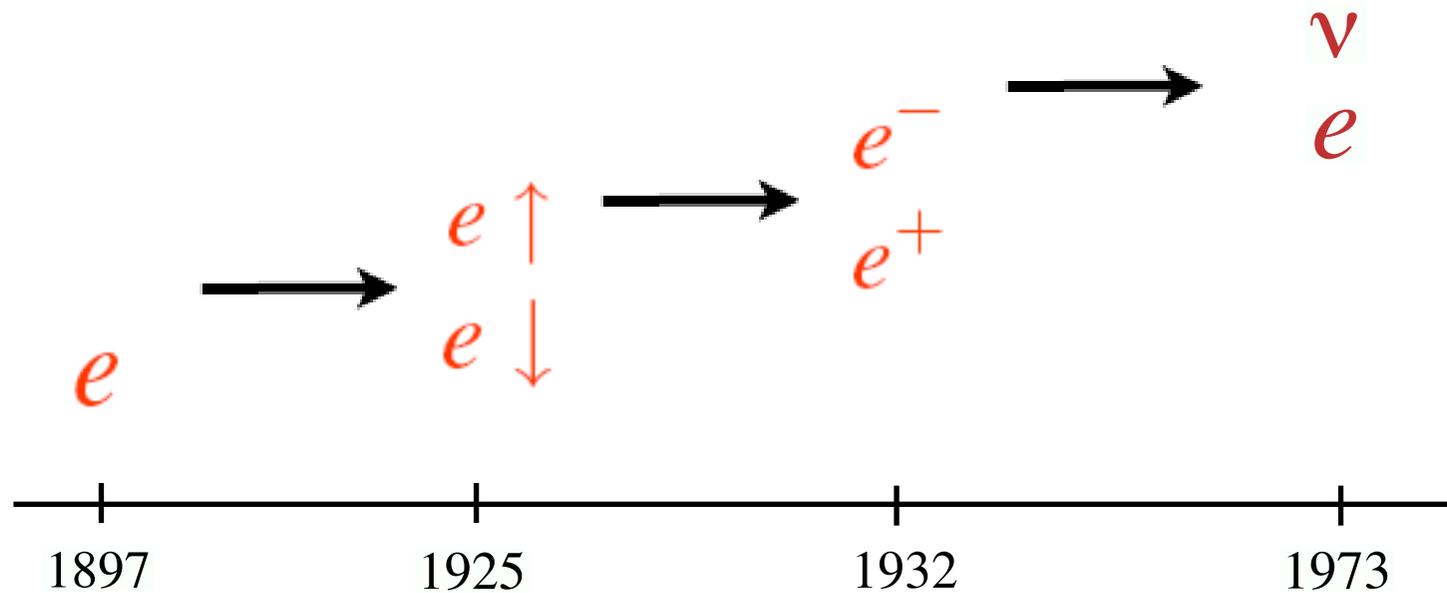
correzione dell'ordine 10^{-8} ,
circa 10.000 diagrammi



Teoria: $g-2 = (23193043617 \pm 15) \times 10^{-13}$

Esperimento: $g-2 = (23193043646 \pm 170) \times 10^{-13}$

La chiave dell'economia di equazioni



1925: gli spettri atomici \Leftrightarrow lo spin dell'elettrone

1932: il positrone \Leftrightarrow la simmetria di Lorentz

1973: le "correnti neutre" \Leftrightarrow la simmetria elettrodebole

Le simmetrie al centro della descrizione della teoria

Le due domande chiave della fisica delle particelle

1. Che ne è della simmetria elettrodebole?



2. Il ruolo delle simmetrie è esaurito?

L'uso *strumentale*:

Cosa implicano le simmetrie di una teoria data?

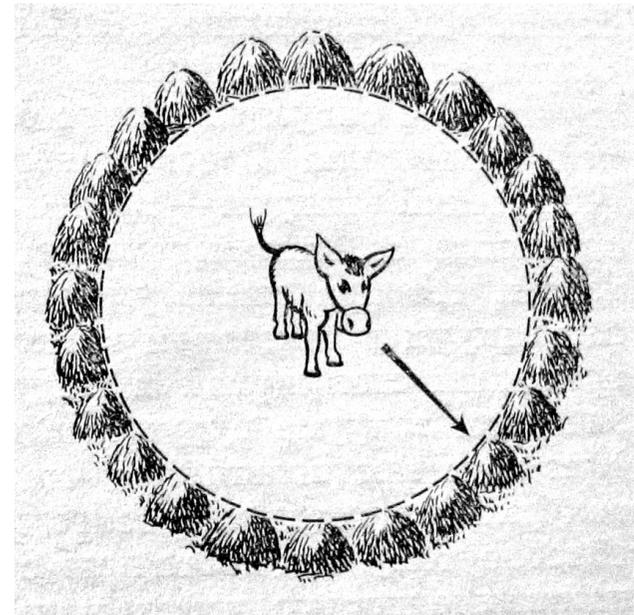
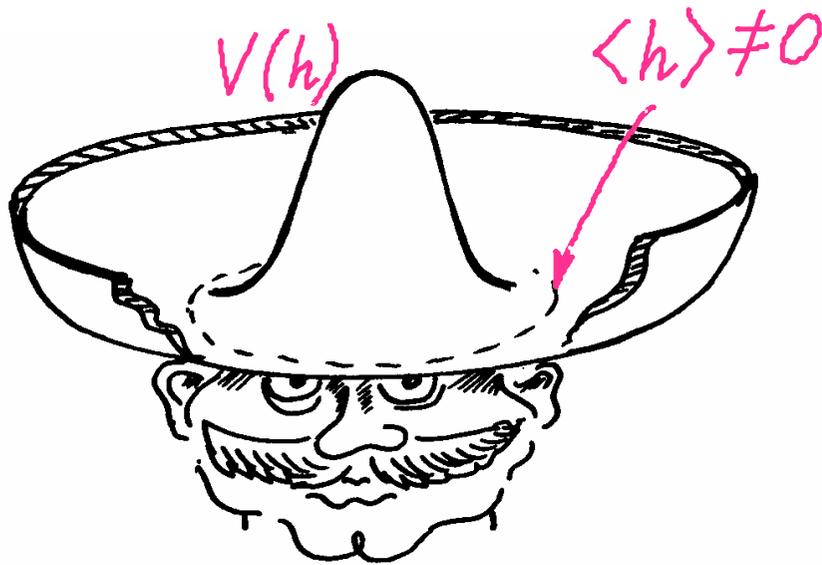
L'uso *di invenzione*:

Quali le possibili simmetrie e le teorie possibili?

La simmetria elettrodebole e' rotta *spontaneamente*

$$L = |D_\mu h|^2 - V(h) \quad (\text{settore di Higgs})$$

Il potenziale di Higgs è del tipo 'a cappello messicano':
Higgs prende un valore medio nella buca di potenziale



Rottura della simmetria elettrodebole

Interpretazione fisica di $\langle h \rangle \neq 0$:

Condensazione di Bose-Einstein degli scalari con impulso $p=0$

Conseguenze fisiche:

⇒ carica elettrica definita (distinzione tra e e ν)

⇒ viaggiando nel condensato,
i bosoni deboli W , Z e anche i fermioni prendono massa

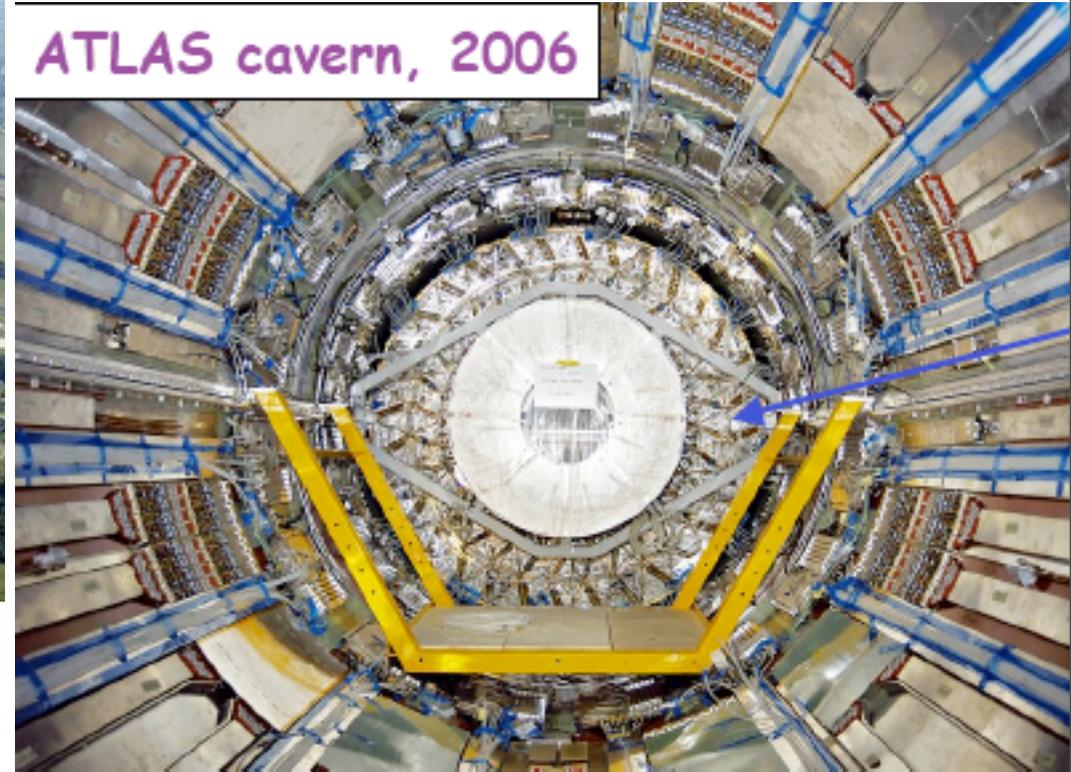
⇒ le oscillazioni del condensato $\langle h \rangle$ corrispondono a una
particella scalare, il bosone di Higgs,
accoppiato a bosoni deboli e fermioni *una nuova interazione!*

È vera questa pagina?

Il Large Hadron Collider del CERN



ATLAS cavern, 2006



CMS cavern, 2006

⇒ Atteso operare fra un anno

⇒ La prima esplorazione sistematica delle energie *alla scala di Fermi*

Il ruolo delle simmetrie e' esaurito?

3 direzioni possibili:

1. L'unificazione:

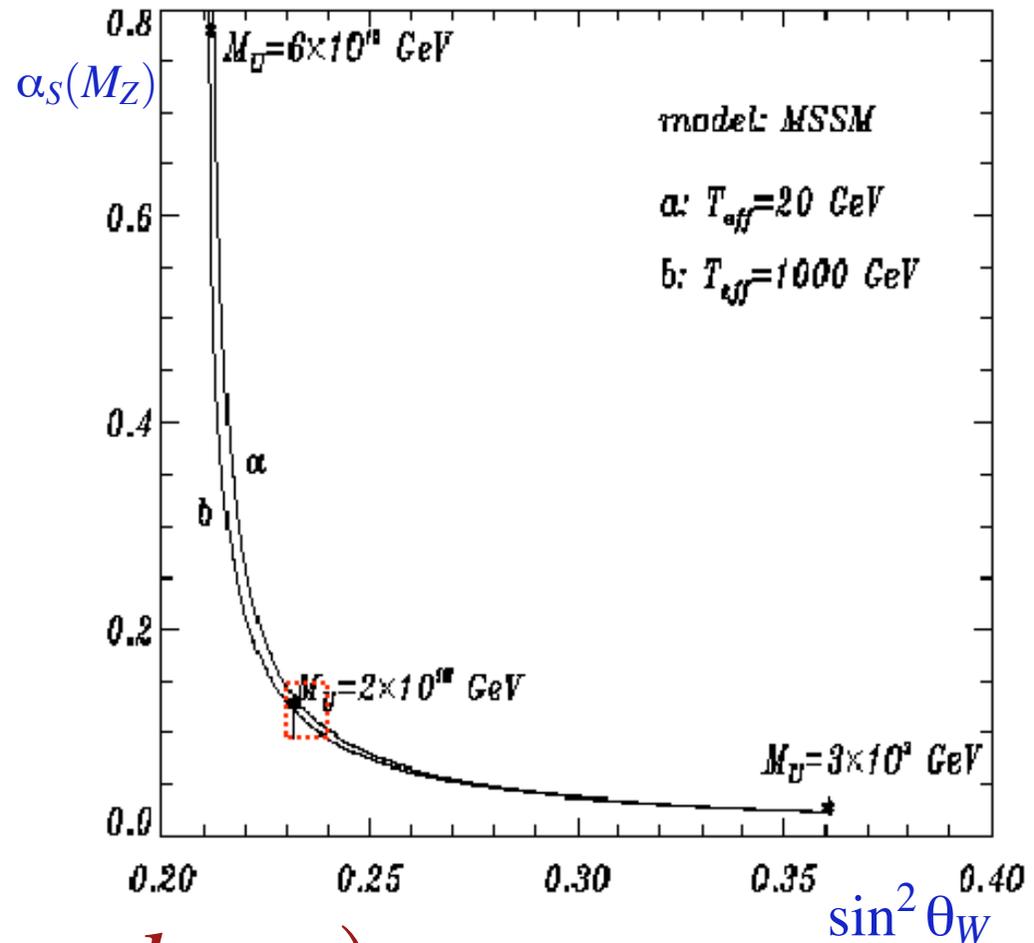
$e \quad \nu \quad u \quad d$

2. La supersimmetria:

$e \quad \tilde{e}$

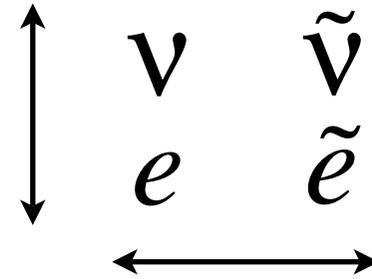
3. Le corde:

$X(\sigma, \tau) \subset (e, \nu, u, d, \dots)$



non mutuamente escludentesi

La supersimmetria

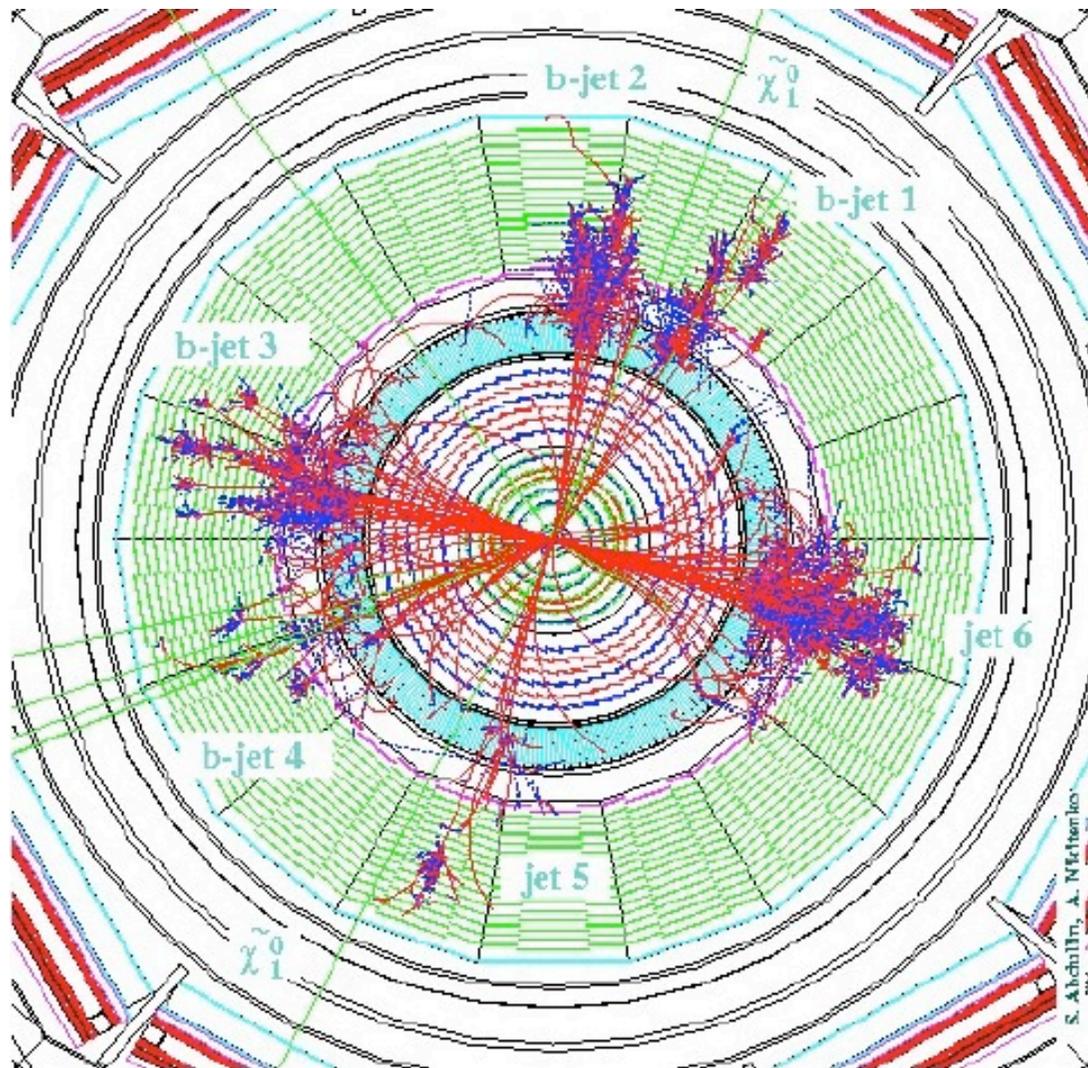


$$\mathcal{L} = i\bar{\psi} \not{D}\psi - (m\psi\psi + h.c.) + |D_\mu\phi|^2 - m^2|\phi|^2$$

La Lagrangiana libera di uno scalare complesso e di un fermione di **Majorana** e' simmetrica per un opportuno scambio del bosone col fermione

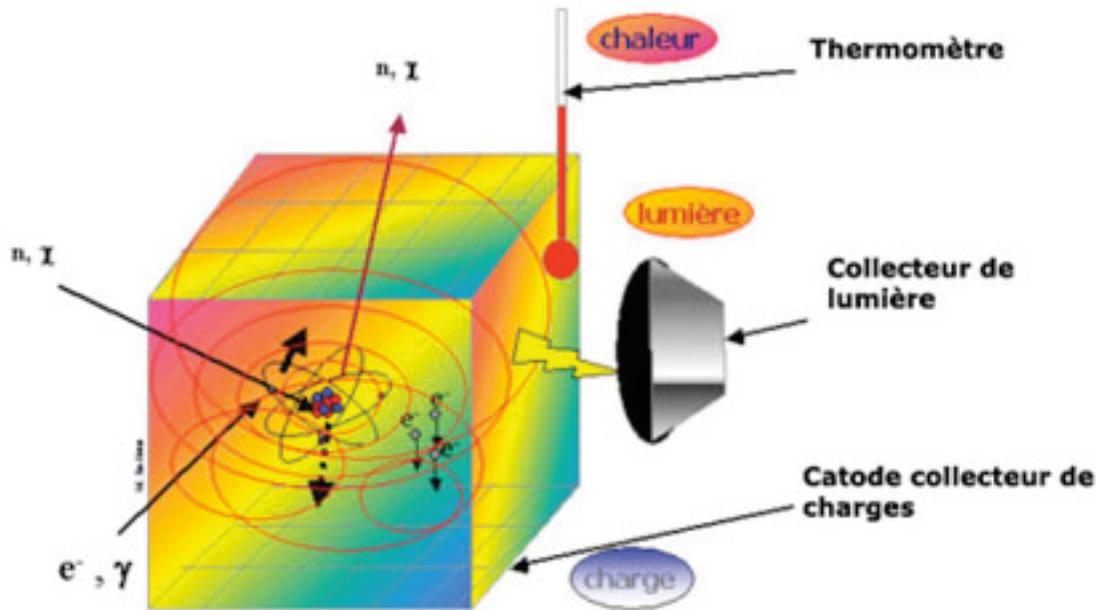
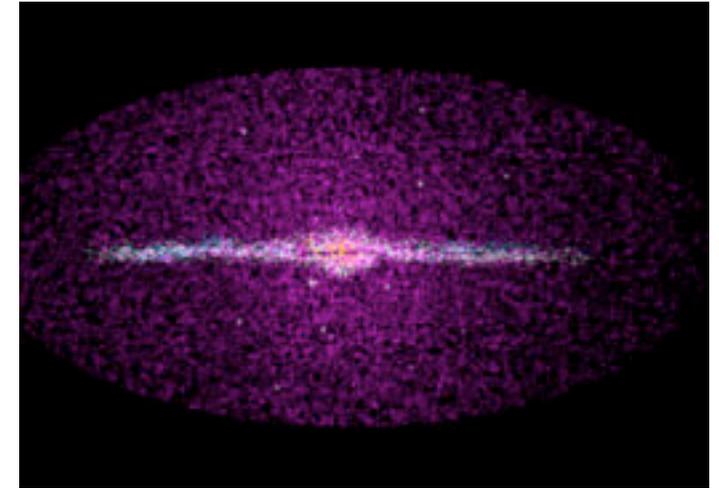
Tale Lagrangiana e' estendibile ad includere interazioni mantenendo la supersimmetria

Se le particelle supersimmetriche esistono, saranno scoperte al Large Hadron Collider



- $m_{\tilde{g}} = 1266 \text{ GeV}$
 - $m_{\tilde{u}_L} = 1450 \text{ GeV}$
 - $m_{\tilde{t}_1} = 1026 \text{ GeV}$
 - $m_{\tilde{\chi}_2^0} = 410 \text{ GeV}$
 - $m_{\tilde{\chi}_1^0} = 214 \text{ GeV}$
 - $m_h = 119 \text{ GeV}$
- fermioni di Majorana*

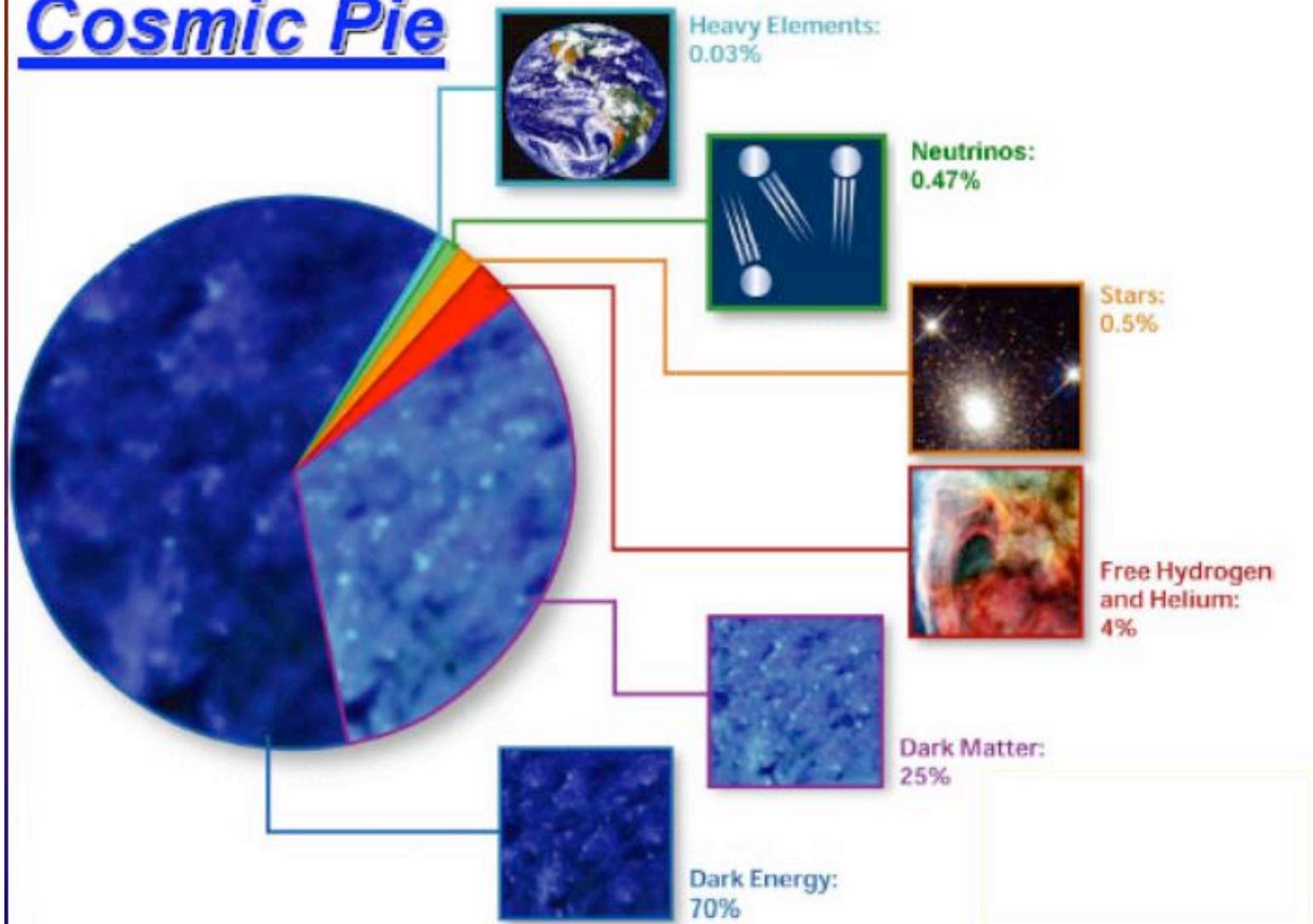
La particella supersimmetrica piu' leggera e' probabilmente un fermione stabile di Majorana. Come tale puo' costituire la materia oscura osservata nell'universo



$$Z_{\mu} \bar{\Psi}_M \gamma_{\mu} \Psi_M = 0$$

$$Z_{\mu} \bar{\Psi}_M \gamma_{\mu} \gamma_5 \Psi_M \neq 0$$

Cosmic Pie



L'unificazione

Il problema principale di Pagina 1:
la carica elettrica non quantizzata

Perche' $q(\text{protone}) = q(\text{elettrone})$ a meno di 10^{-21} ?

e ν u d come un unico multipletto
di una teoria unificata: $SO(10)$?

\Rightarrow Q diventa uno dei generatori di una simmetria non
abeliana con autovalori quantizzati

\Rightarrow B ed L , come Q , da simmetrie globali a simmetrie di
gauge necessariamente rotte a piccolissime distanze

\Rightarrow I neutrini sono di **Majorana**

Provare che i neutrini sono di Majorana e' uno
dei pochi modi per verificare l'unificazione

La fisica “fondamentale” del 900

(in assenza di un nome migliore)

1. La meccanica quantistica
2. La relativita’
3. Il modello standard (pagina1)
4. Il modello cosmologico

E’ possibile che tutto
converga in un unico
quadro coerente?