

ALCUNI CONCETTI DI FISICA DELLE PARTICELLE ELEMENTARI

F. Tartarelli (INFN-Milano)

Benvenuti alle

International Masterclasses

Hands on particle physics

14th Masterclasses 2018

5^a edizione Milano (INFN+UNIMI)

12/03/2018 e 22/03/2018

Masterclasses

- ◎ 14th edizione: dal 15/02 al 28/03/2018
- ◎ Introdurre studenti liceali alla ricerca:
 - 2 seminari che vi daranno concetti di base sulle nostre ricerche e sui metodi sperimentali che usiamo
 - effettuare un'analisi di veri dati sperimentali
 - dati dell'esperimento ATLAS a LHC (CERN) nel nostro caso
 - partecipare in videoconferenza con altri gruppi di studenti ad una discussione e combinazione dei risultati ottenuti
- ◎ Progetto che coinvolge 13.000 studenti liceali in 52 nazioni nel mondo e 200 Università' o altre Istituzioni

Organizzazione

- Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN) – Sezione di Milano
 - Ente pubblico di ricerca
 - 20 Sezioni, 4 Laboratori Nazionali
- Dipartimento di Fisica dell'Università degli Studi di Milano
- FACEBOOK:
 - INFN: <https://www.facebook.com/IstitutoFisicaNucleare> (tag: @IstitutoFisicaNucleare)
 - Asimmetrie: <https://www.facebook.com/asimmetrieInfn>
 - International Masterclass:
<https://www.facebook.com/InternationalParticlePhysicsMasterclasses/>
- TWITTER:
 - INFN: <https://twitter.com/UffComINFN>
 - International Masterclass: <https://twitter.com/physicsIMC> (tag: @UffComINFN e @physicsIMC)
- INSTAGRAM:
 - https://www.instagram.com/infn_insights/ (tag: @infn_insights)

(*) delle particelle elementari e delle interazioni fondamentali

Programma della giornata

- ◉ Ore 9:15
 - Registrazione - Sala Consiglio
- ◉ Ore 9:45
 - Benvenuto del Direttore della Sezione INFN di Milano e del Dipartimento di Fisica di UniMi
- ◉ Ore 10:00
 - Dott. F. Tartarelli “Alcuni concetti di Fisica delle Particelle Elementari”
 - Prof. L. Carminati “Acceleratori, rivelatori e altro ancora”
- ◉ Ore 12:30
 - Pausa pranzo
- ◉ Ore 13:45
 - Analisi dati di Z^0 dell'esperimento ATLAS al CERN
- ◉ Ore 16:00
 - Videoconferenza con gli altri gruppi di lavoro partecipanti all'evento
 - Quiz!
 - Compilazione questionario sondaggio
- ◉ Ore 17:00
 - Fine Lavori
- ◉ Avete compilato il questionario online che vi abbiamo inviato?
- ◉ Vi invieremo nei prossimi giorni anche un questionario online da compilare al termine delle Masterclass

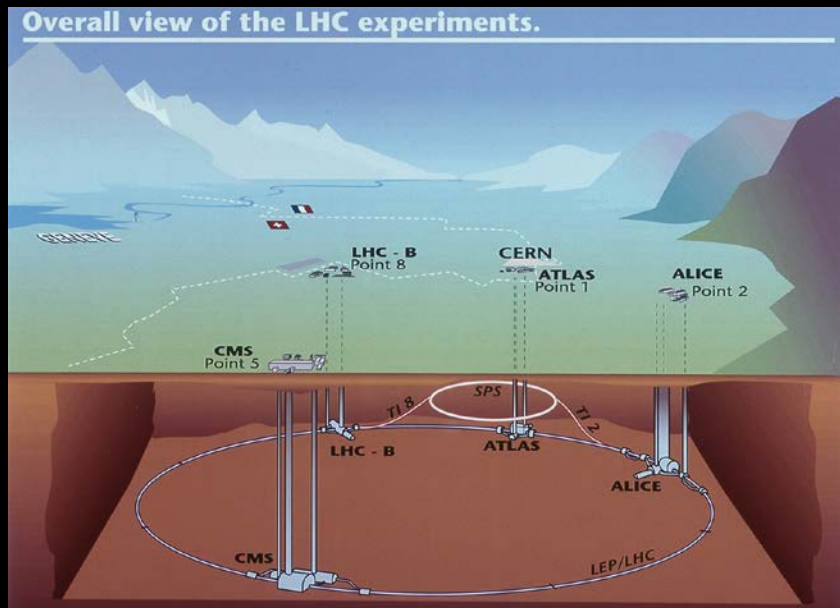
	Mon, Mar 12	Tue, Mar 13	Wed, Mar 14	Thu, Mar 15	Fri, Mar 16	Sat, Mar 17
topic	VC 1: ATLAS Z	VC 1: ATLAS Z	VC 1: ATLAS W	VC 1: ATLAS Z	VC 1: ATLAS W	VC 1: ATLAS Z
moderators	Oliver	Michaela	Adelina	Karolos	Stefanie	Alice
moderators	Steven	Ina	Michael	Marcus	Oliver	Muhammad
	Milan 	Geneva CERN 	Cosenza 	Annecy 	Dresden 	Lisbon IST 
	Brookhaven 	Rakovnik / Prague CU 	Rome Tor Vergata 	Riverside 	Krakow AGH 	Covilhã 
	Linz 	Würzburg 	Ponta Delgada 		São Paulo USP 	Coimbra 
	Wuppertal 	Ljubljana 	Genova 		Olomouc 	Lisbon FCUL 
	Bielsko Biala 				Copenhagen 	Bucharest 

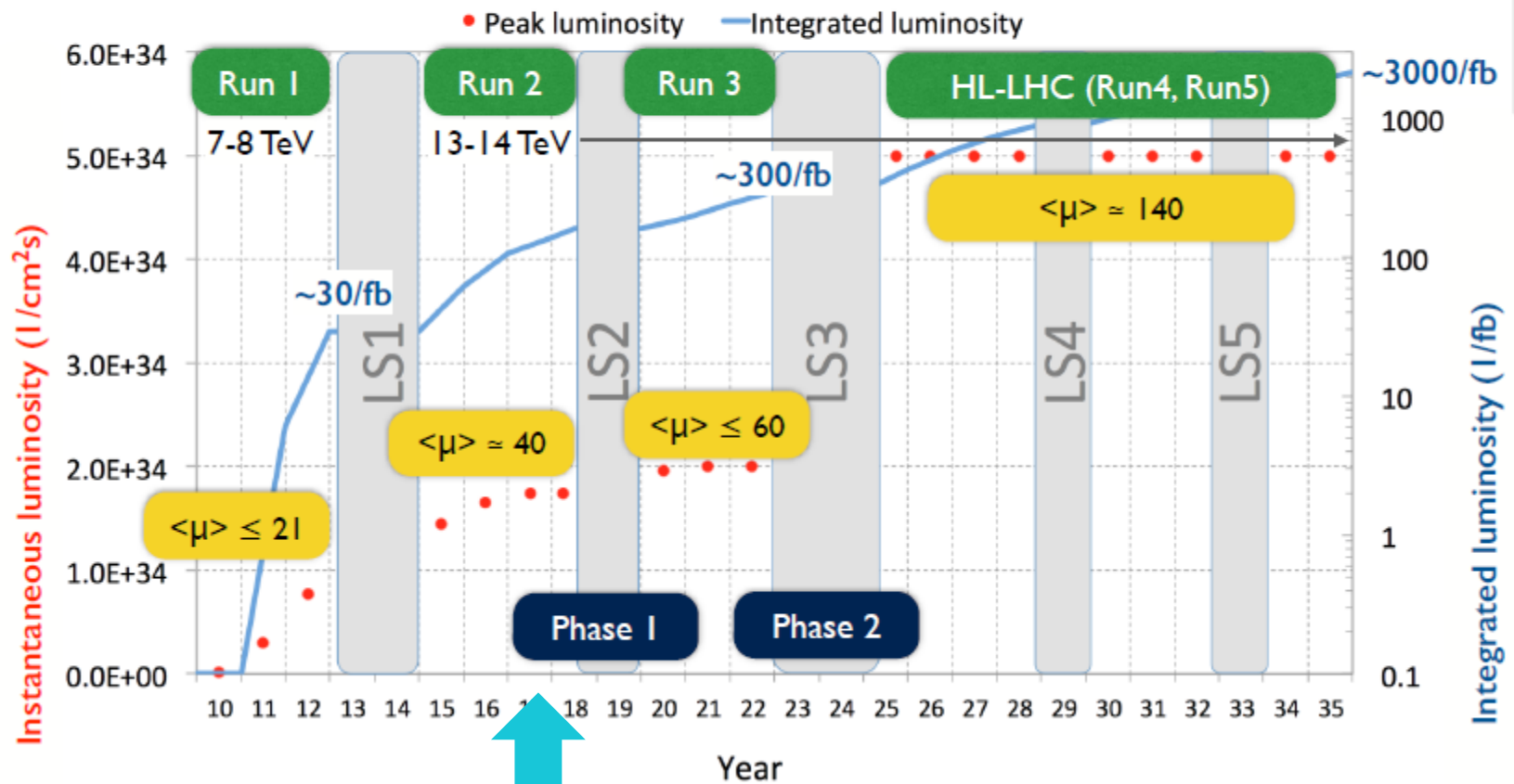
CERN

- ◉ Fondato nel 1954
- ◉ Scoperta dei bosoni W e Z nel 1983
 - Nobel per la Fisica a Carlo Rubbia e Simon van der Meer nel 1984
- ◉ Invenzione della camera a fili nel 1968
 - Georges Charpak, Nobel nel 1992
- ◉ Invenzione del World Wide Web
 - Tim Berends-Lee
- ◉ Altre invenzioni con sviluppi iniziali al CERN:
 - Touchscreen
 - Contributo agli sviluppi iniziali della PET e a un nuovo design degli scanner PET
- ◉ Scoperta del bosone di Higgs nel 2012
 - Nobel per la Fisica nel 2013 a **Peter Higgs & Francois Englert**

LHC al CERN

- ⦿ LHC = Large Hadron Collider
- ⦿ Grande collisionatore pp: ~27 km di circonferenza percorsa dai protoni a circa la velocità della luce
- ⦿ Posto in un tunnel circolare tra la Svizzera e la Francia, vicino Ginevra
- ⦿ 4 sale sperimentali sotterranee per altrettanti esperimenti
 - ALICE, ATLAS, CMS, LHCb



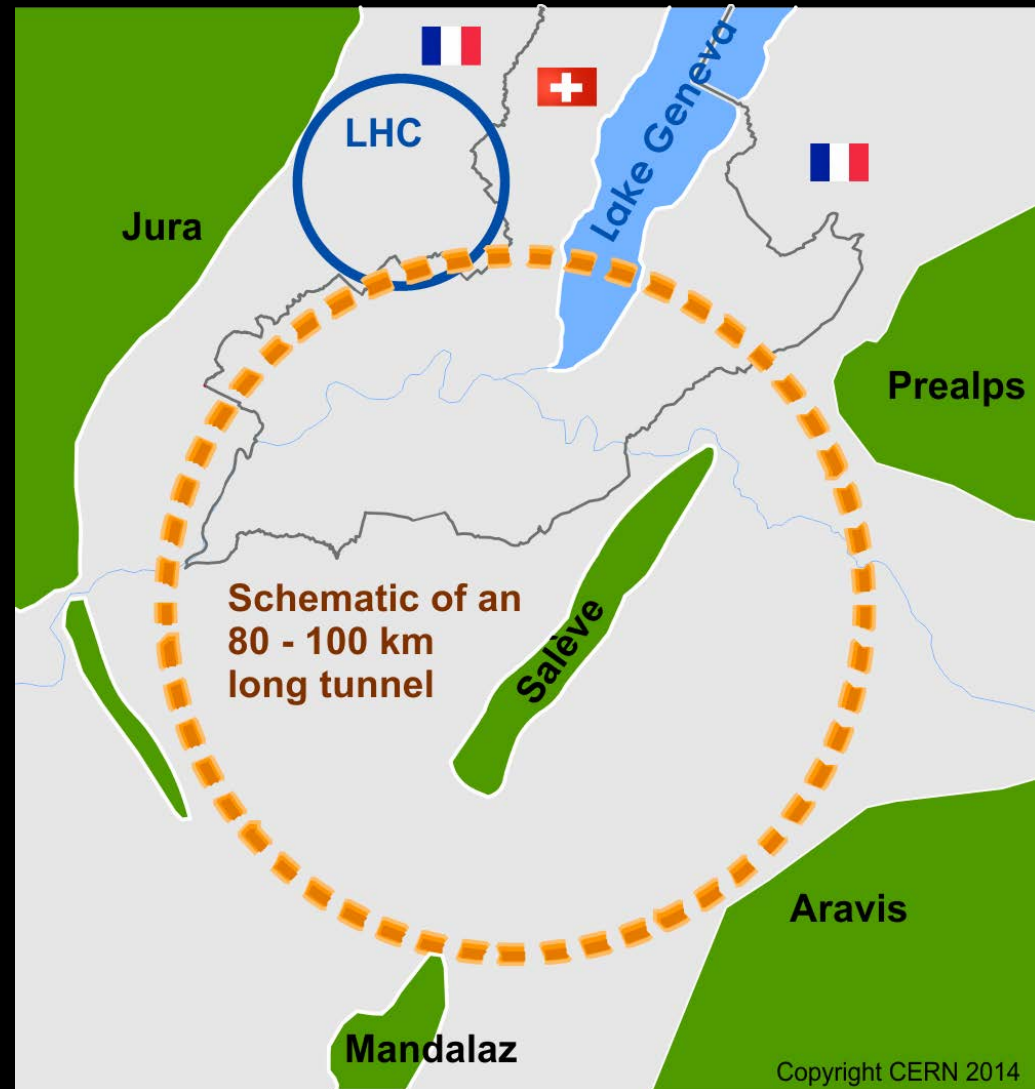


Future Circular Collider Study

Forming an international collaboration to study:

- pp -collider (*FCC-hh*)
→ defining infrastructure requirements
- e^+e^- collider (*FCC-ee*) as potential intermediate step
- p - e (*FCC-he*) option
- 80-100 km infrastructure in Geneva area

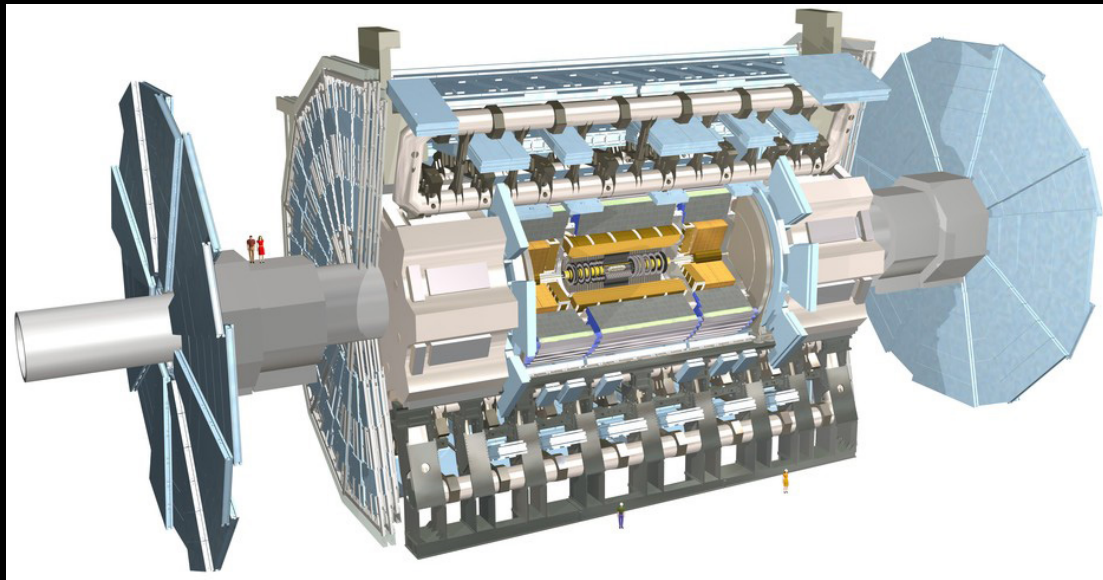
~16 T $\Rightarrow$ 100 TeV pp in 100 km
~20 T $\Rightarrow$ 100 TeV pp in 80 km

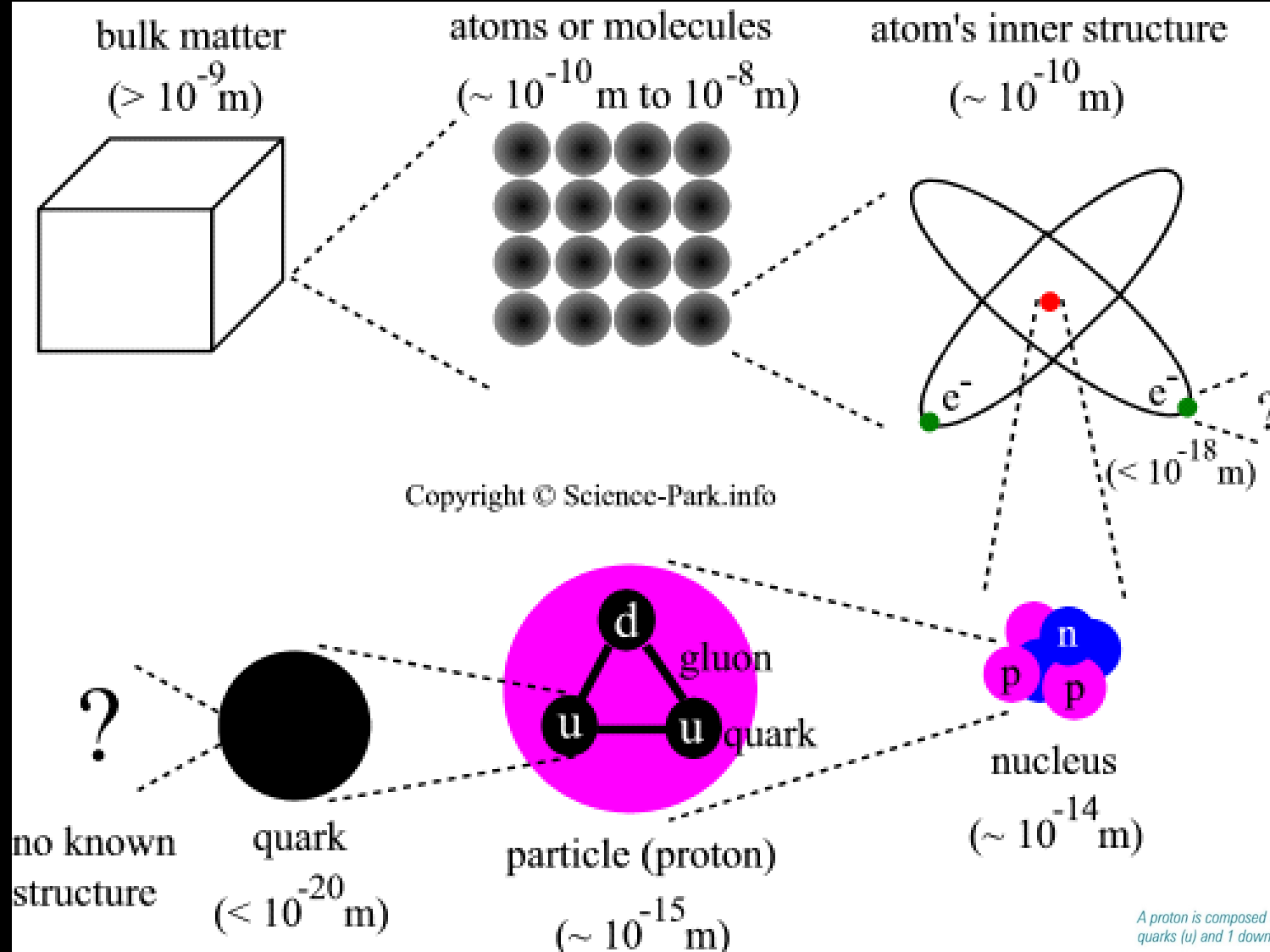


- ⊙ Joule (J) come unità di misura dell'energia ($\text{kg m}^2 \text{s}^{-2}$):
 - Una massa di 100 g ad 1 m da terra ha una energia potenziale di circa 1 J
- ⊙ In fisica delle particelle al suo posto si usa una unità più comoda chiamata elettronvolt (eV)
- ⊙ energia cinetica acquistata da un singolo elettrone quando attraversa una differenza di potenziale di 1 V.
 - $1 \text{ eV} = 1.602 \times 10^{-19} \text{ J}$
- ⊙ Multipli dell' elettronvolt, per cui è comodo introdurre la seguente terminologia:
- ⊙ $1 \text{ MeV} = 1.000.000 \text{ eV} = 10^6 \text{ eV}$ (un milione di eV)
- ⊙ $1 \text{ GeV} = 1.000.000.000 \text{ eV} = 10^9 \text{ eV}$ (un miliardo di eV)
- ⊙ $1 \text{ TeV} = 1.000.000.000.000 \text{ eV} = 10^{12} \text{ eV}$ (un bilione di eV)

ATLAS

- Rivelatore polivalente, con un vasto raggio di studi:
 - Higgs
 - Supersimmetria
 - Fisica oltre il Modello Standard
- Il piu' grosso dei 4 rivelatori





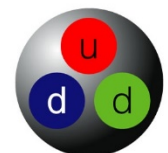
Protone e neutrone ->

A proton is composed of 2 up quarks (u) and 1 down quark (d).

A neutron is composed of 1 up quark (u) and 2 down quarks (d).

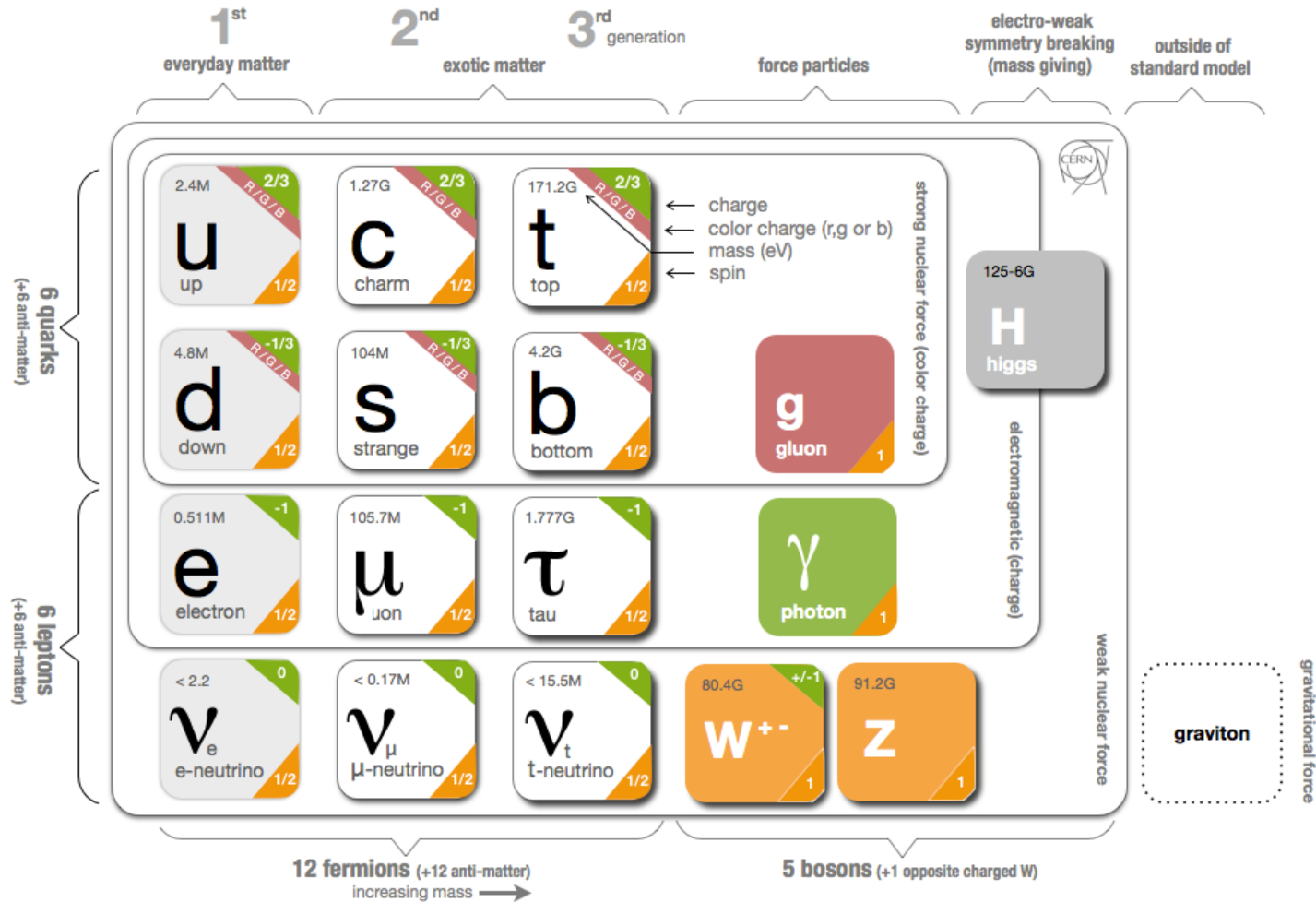


Total charge:
 $+2/3 + 2/3 - 1/3 = +1$



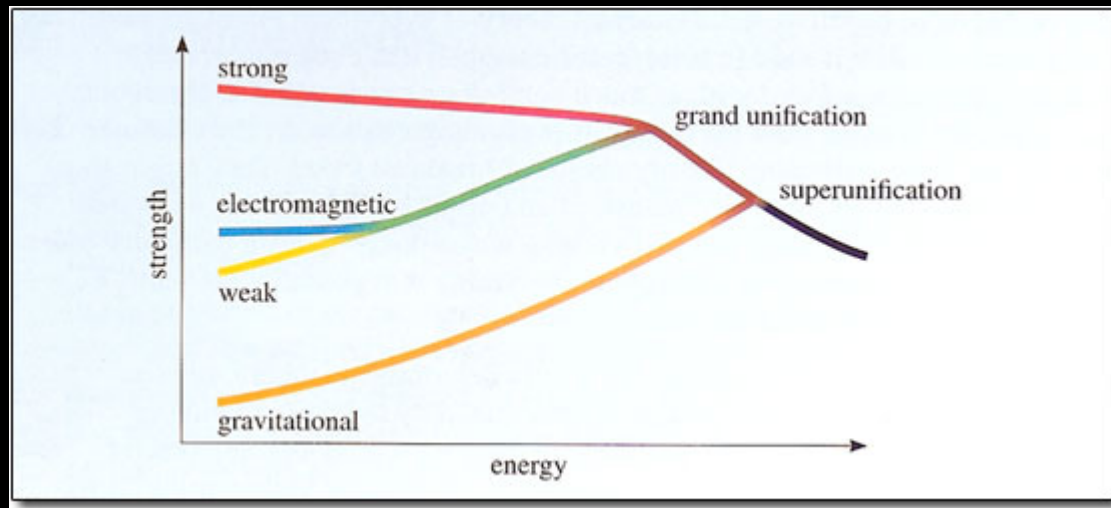
Total charge:
 $+2/3 - 1/3 - 1/3 = 0$

Il Modello Standard

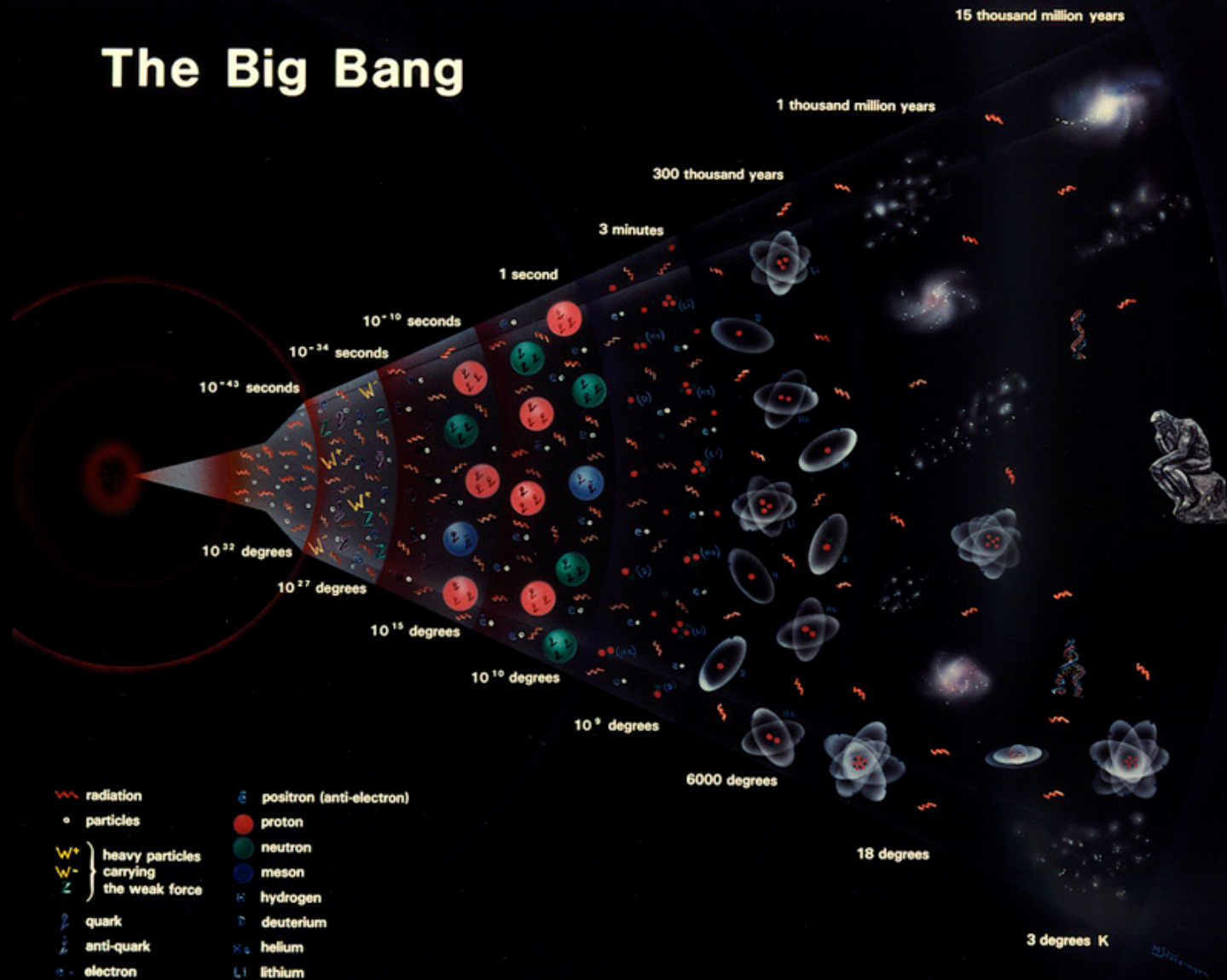


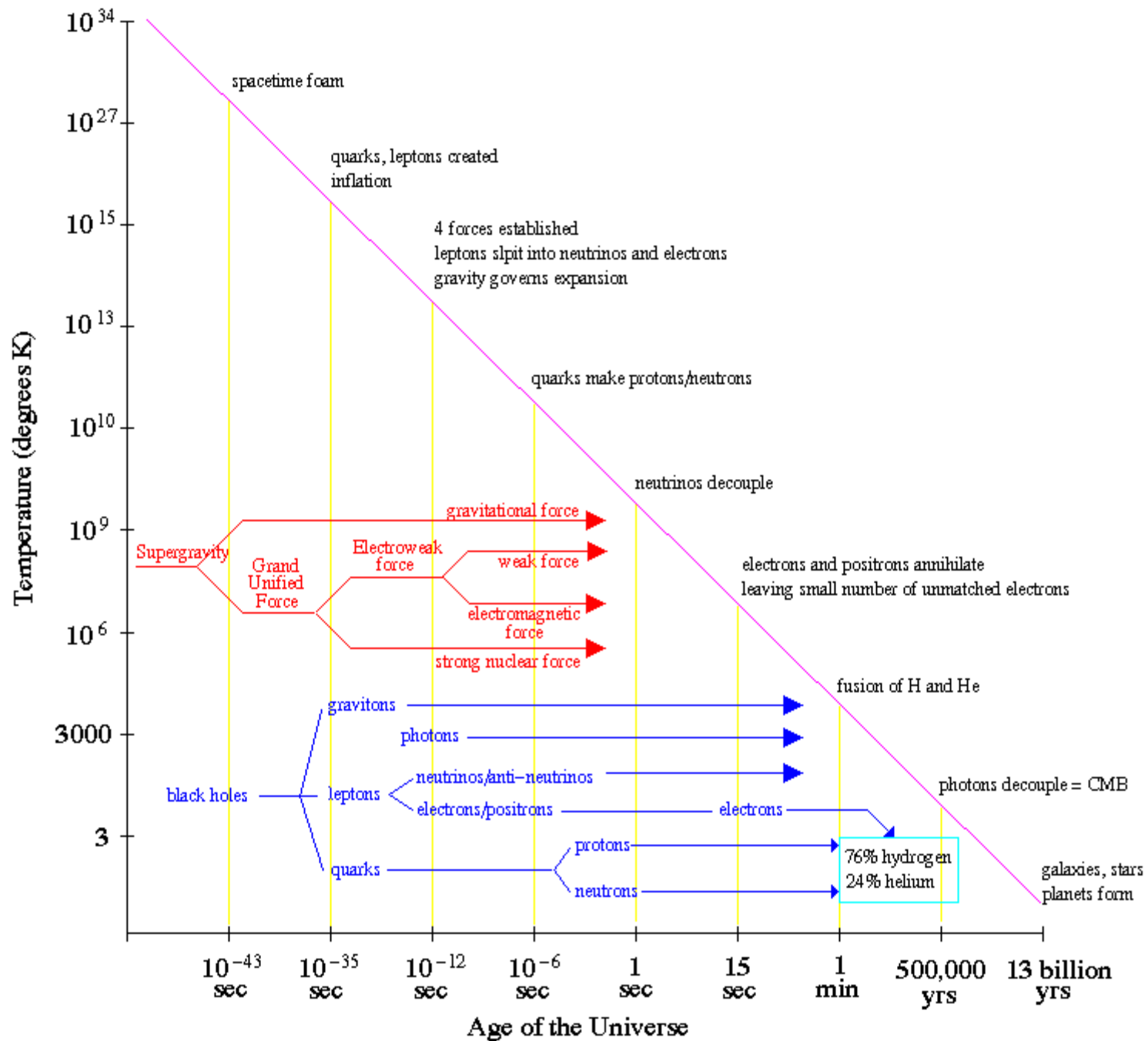
PROPERTIES OF THE INTERACTIONS

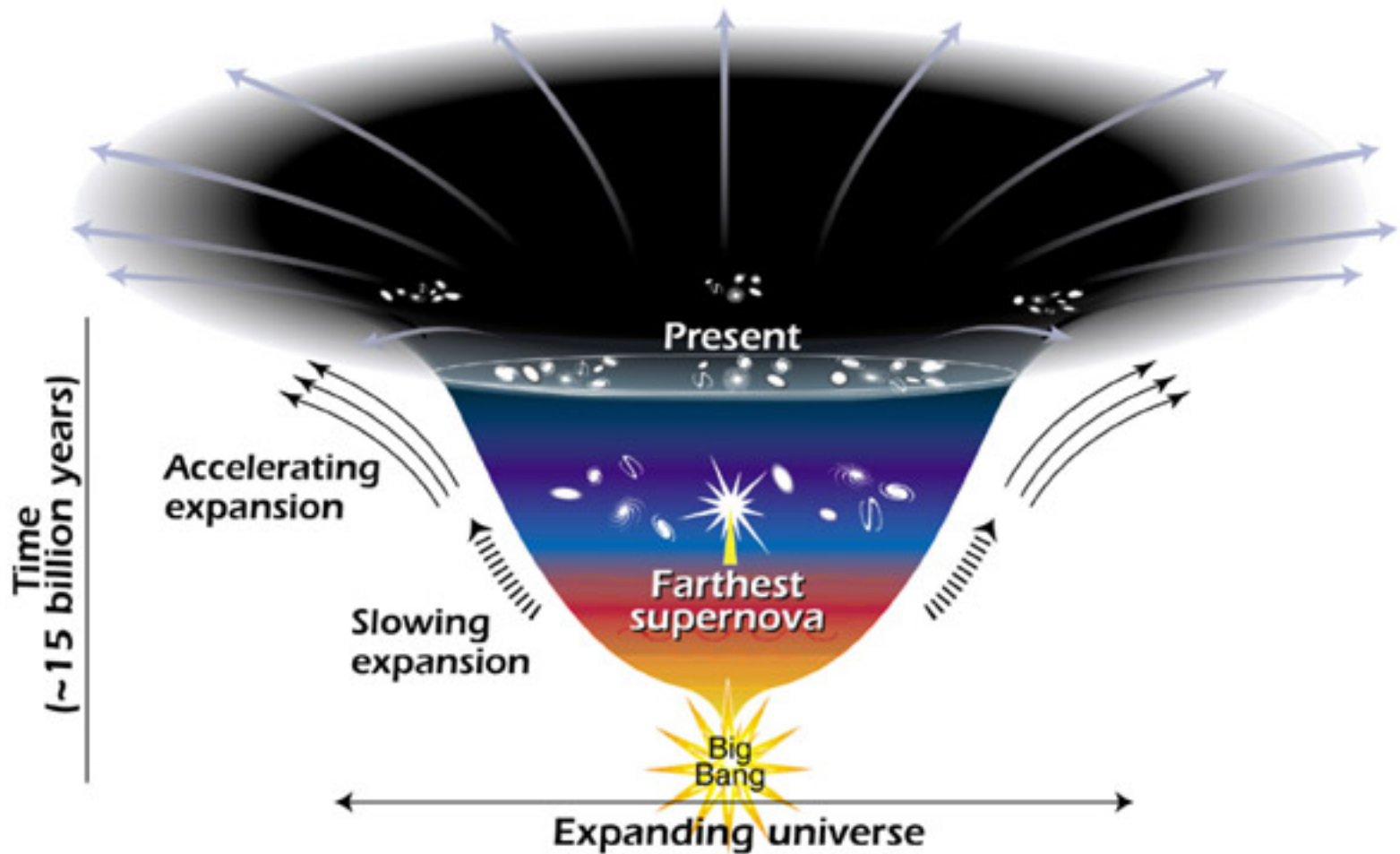
Property \ Interaction	Gravitational	Weak (Electroweak)	Electromagnetic	Strong	
				Fundamental	Residual
Acts on:	Mass – Energy	Flavor	Electric Charge	Color Charge	See Residual Strong Interaction Note
Particles experiencing:	All	Quarks, Leptons	Electrically charged	Quarks, Gluons	Hadrons
Particles mediating:	Graviton (not yet observed)	W^+ W^- Z^0	γ	Gluons	Mesons
Strength relative to electromag for two u quarks at:	10^{-41}	0.8	1	25	Not applicable
	10^{-41}	10^{-4}	1	60	to quarks
	10^{-36}	10^{-7}	1	Not applicable to hadrons	20



The Big Bang

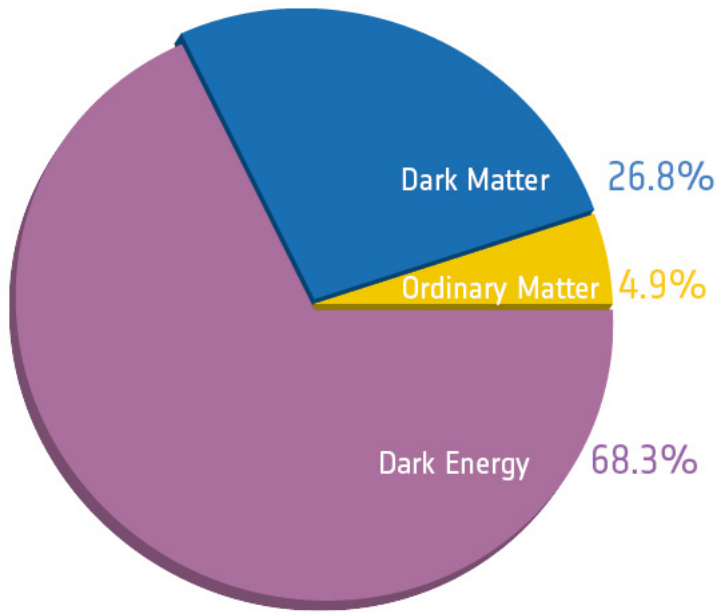






This diagram reveals changes in the rate of expansion since the universe's birth 15 billion years ago. The more shallow the curve, the faster the rate of expansion. The curve changes noticeably about 7.5 billion years ago, when objects in the universe began flying apart at a faster rate. Astronomers theorize that the faster expansion rate is due to a mysterious, dark force that is pushing galaxies apart.

Materia ed Energia oscura



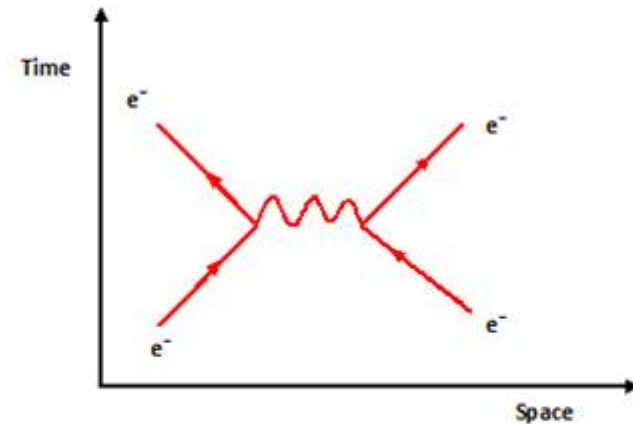
Nelle galassie c'è più materia (blu) di quella che vediamo (rossa):
Materia stimata dalla dinamica delle galassie o dal gravitational lensing

Forze e particelle

- ⊙ Le interazioni tra particelle avvengono per scambio di altre particelle di spin 1 o 2 (bosoni):
 - i mediatori della forza
- ⊙ Forza elettromagnetica:
 - Fotone
- ⊙ Forza debole:
 - W^+ , W^- , Z^0
- ⊙ Forza forte:
 - Gluoni (8 tipi)

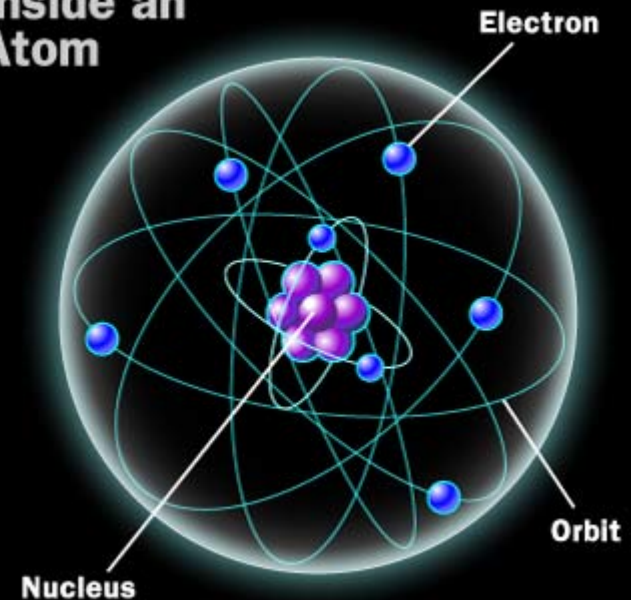
Forza e.m.

- ⦿ Due elettroni (stessa carica) che si respingono si scambiano fotoni
- ⦿ Anche in un atomo il nucleo (positivo) e gli elettroni si scambiano fotoni



Feynman diagram showing two electrons repelling each other by the exchange of photons.

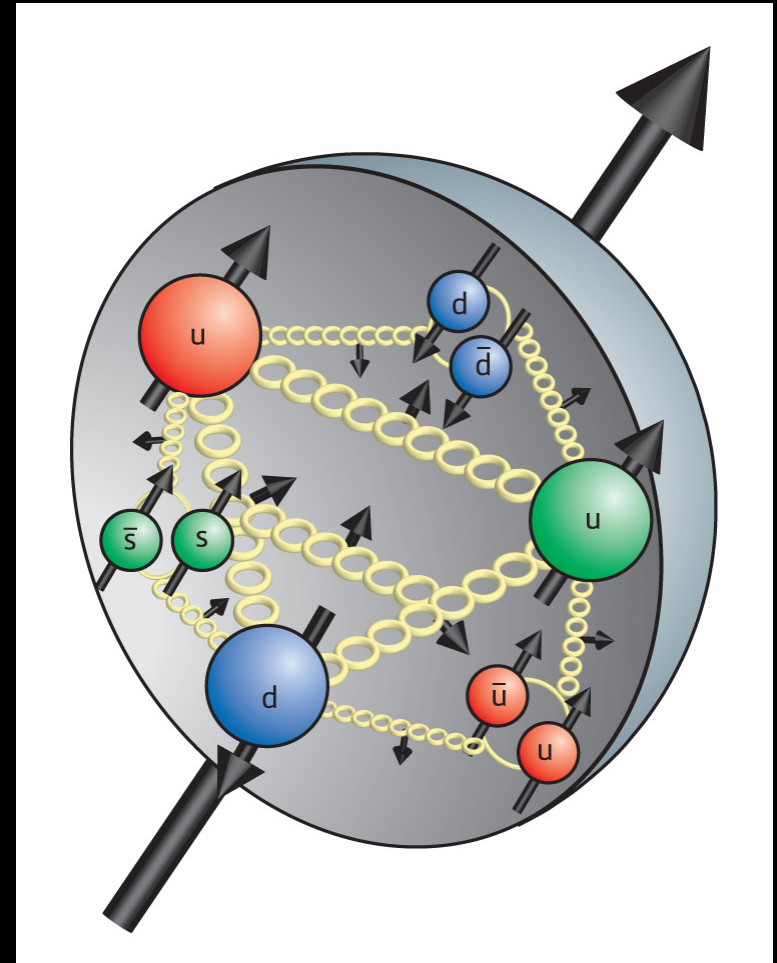
Inside an Atom



©2003 HowStuffWorks

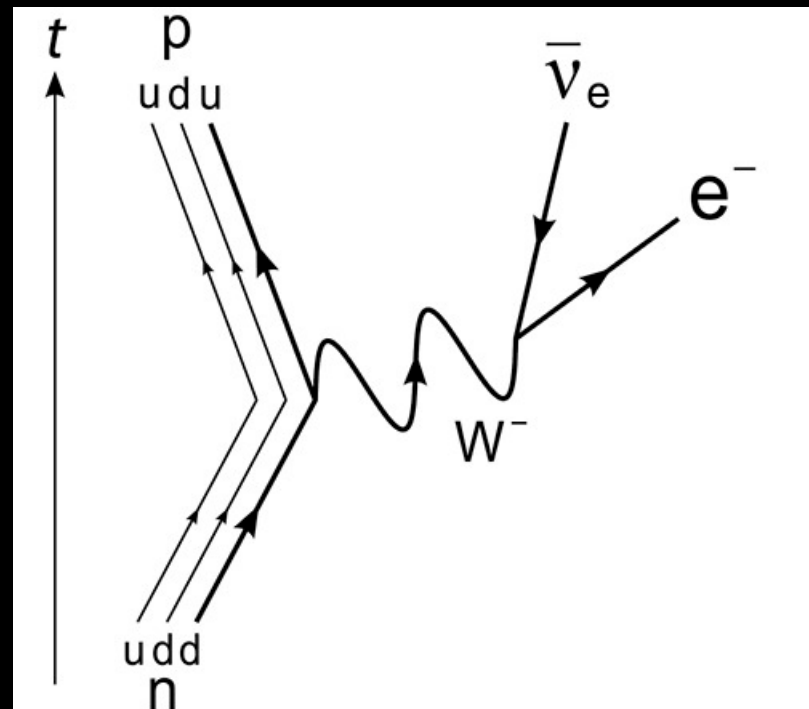
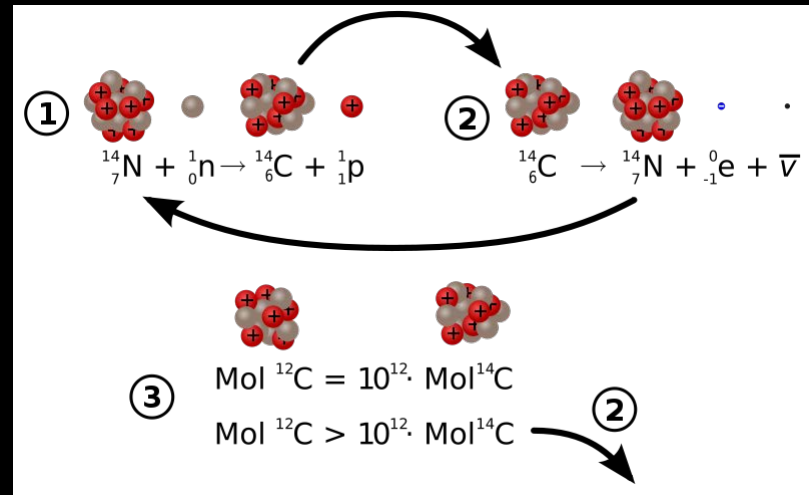
Forza forte

- ⦿ Per esempio, e' la forza che tiene insieme i quark in un protone:
 - p: uud
- ⦿ I quark si scambiano gluoni
- ⦿ I quark possono avere 3 cariche (colori): Red, Green, Blue
 - I 3 colori si sommano a dare il "bianco"
- ⦿ Solo combinazione bianche sono osservabili:
- ⦿ 3 quarks: protone
 - Red + Green + Blue
- ⦿ 2 quark: pione
 - Per esempio, Red + anti-Red
- ⦿ La carica di colore si conserva nell'interazione:
 - Servono 8 gluoni

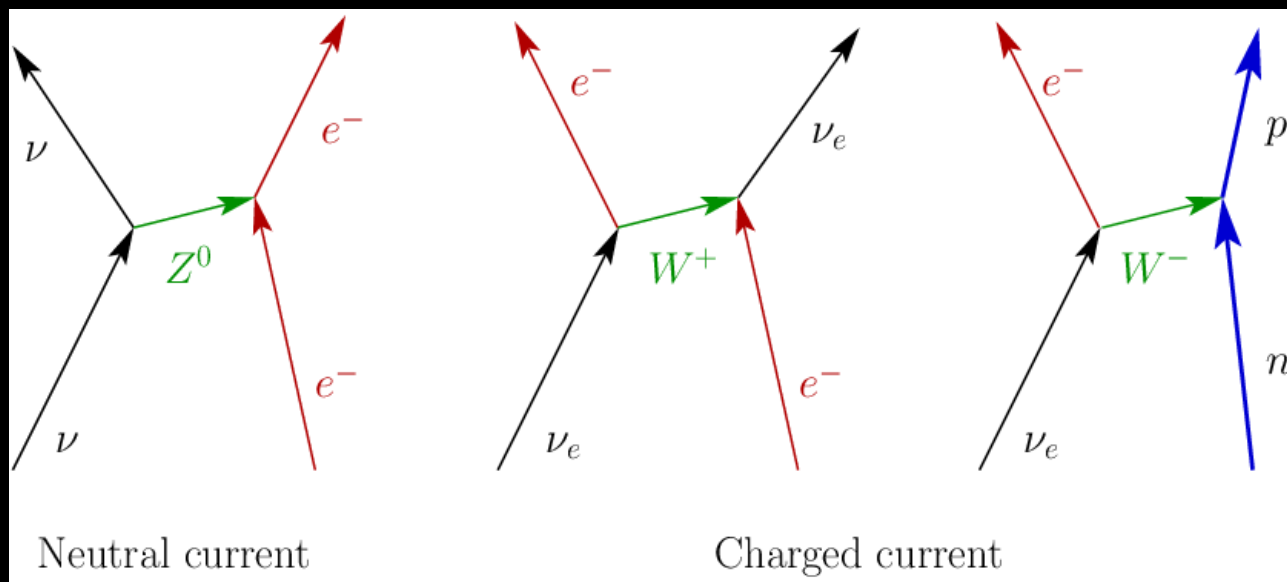


Forza Debole

- Un esempio e' il decadimento β^- del Carbonio-14 in Azoto-14:
- $^{14}_6\text{C} \rightarrow ^{14}_7\text{N} + e^- + \bar{\nu}_e$
- Processo mediato da un W^-
- Forza debole carica



Forza debole



● Corrente debole neutra

● Uno dei metodi di rivelazione dei neutrini:

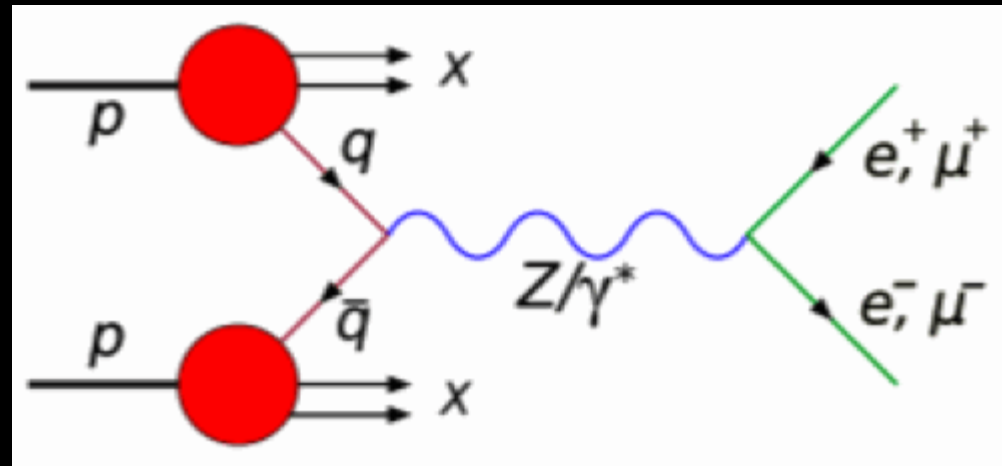
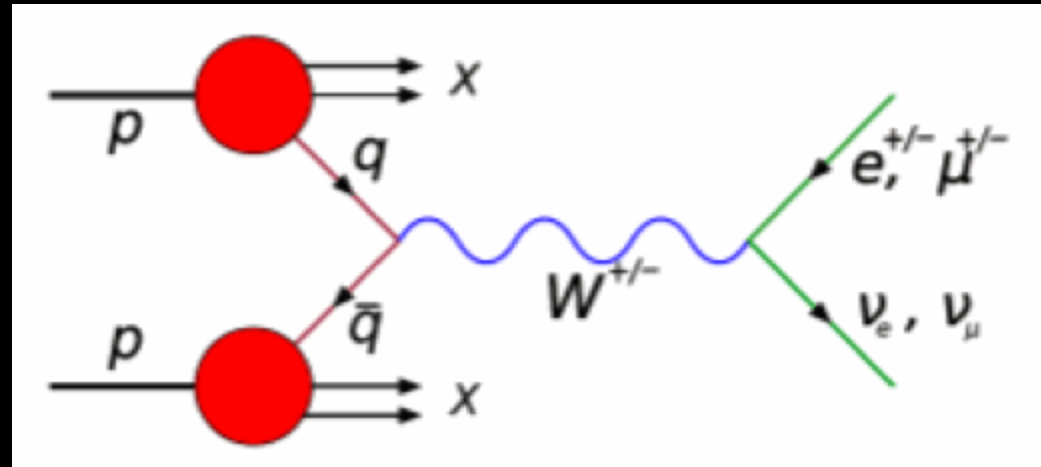
- Nell'interazione con la materia, i neutrini urtano un elettrone trasferendogli energia
- L'elettrone può essere accelerato ad energie relativistiche ed emettere radiazione (luce Cherenkov) che può essere rivelata da appositi dispositivi

Interazioni deboli

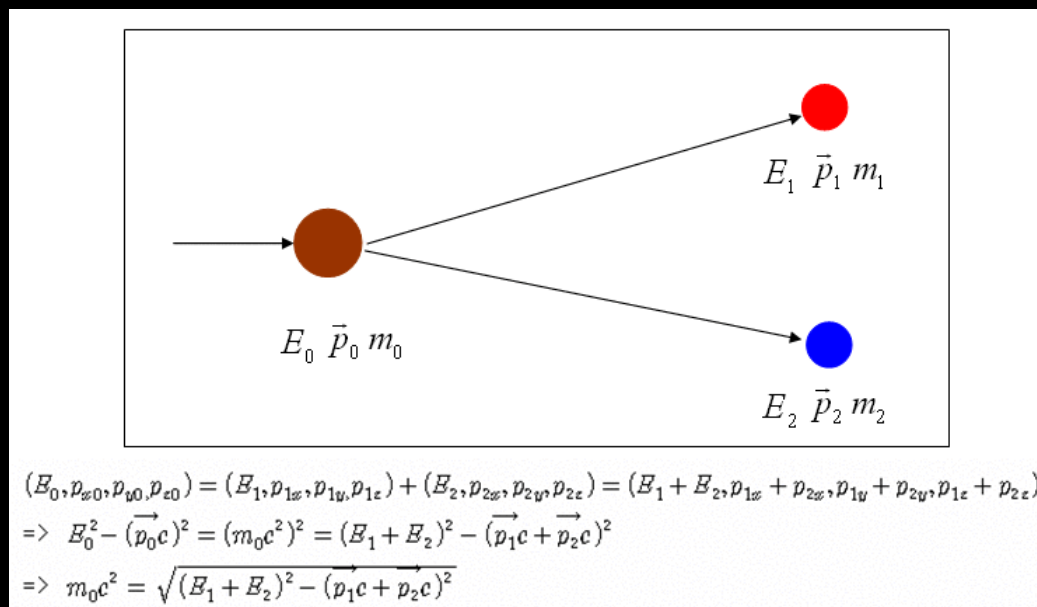
- ◉ Mediate da: W^+ , W^- e Z^0
- ◉ Caratteristiche dell'interazione debole:
- ◉ E' l'unica interazione che puo' cambiare il sapore dei quark (cioe' cambia i quark da un tipo ad un altro)
- ◉ Viola sia la simmetria di parita' P , che la simmetria CP (parita' seguita da coniugazione di carica)
- ◉ E' propagata da mediatori, noti come bosoni di gauge, che hanno una grossa massa
- ◉ Scoperte al CERN nel 1983 al SppS al CERN che operava ad una energia di 450 GeV
 - Poi studiate in dettaglio a LEP, a SDC al Tevatron

Produzione di W e Z

- A LHC in urti protone-protone
- I bosoni hanno una vita media cortissima ($\sim 10^{-25}$ s) e decade subito in altre particelle
- I prodotti del decadimento possono essere rivelati

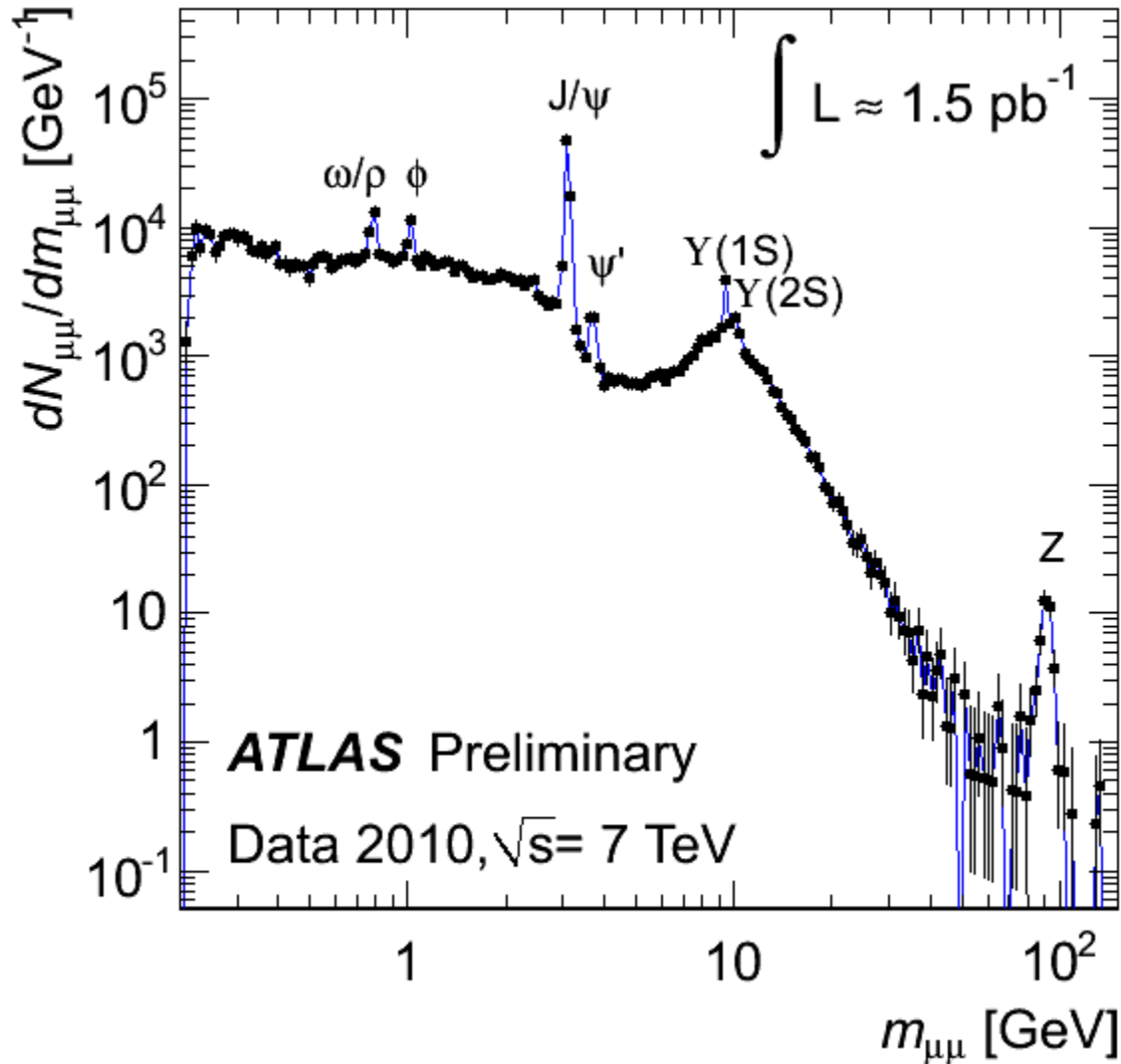


Massa invariante



- Dai vettori quantità di moto dei due prodotti di decadimento si può ricostruire la particella iniziale
- In realtà poiché siamo in ambito relativistico dobbiamo considerare i quadrimomenti delle due particelle finali:
 - $P^{1\mu} = (E_1, \mathbf{p}_1)$ e $P^{2\mu} = (E_2, \mathbf{p}_2)$
- E costruire la massa invariante della particella che decade:
 - $M^2 = (E_1 + E_2)^2 - |\mathbf{p}_1 + \mathbf{p}_2|^2 = m_1^2 + m_2^2 + 2(E_1 E_2 - \mathbf{p}_1 \mathbf{p}_2)$
- Massa “invariante” perché è la stessa in tutti i sistemi di riferimento legati da una trasformazione di Lorentz

Spettro di massa invariante



$\rho(770)$ $775.26 \pm 0.25 \text{ MeV}$

$\omega(782)$ $782.65 \pm 0.12 \text{ MeV}$

$\phi(1020)$ $1019.461 \pm 0.019 \text{ MeV}$

J/ψ $3096.916 \pm 0.011 \text{ MeV}$

ψ' $3686.109 + 0.012 - 0.014 \text{ MeV}$

$Y(1S)$ $9460.30 \pm 0.26 \text{ MeV}$

$Y(2S)$ $10023.26 \pm 0.31 \text{ MeV}$

Proprieta' W e Z

● Massa M (GeV/c^2):

- W: 80.385 ± 0.015
Z: 91.1876 ± 0.0021

● Ampiezza Γ (GeV/c^2):

- W: 2.085 ± 0.042
- Z: 2.4952 ± 0.002

W^+ DECAY MODES

W^- modes are charge conjugates of the modes below.

	Mode	Fraction (Γ_i/Γ)
Γ_1	$\ell^+ \nu$	[a] $(10.80 \pm 0.09) \%$
Γ_2	$e^+ \nu$	$(10.75 \pm 0.13) \%$
Γ_3	$\mu^+ \nu$	$(10.57 \pm 0.15) \%$
Γ_4	$\tau^+ \nu$	$(11.25 \pm 0.20) \%$
Γ_5	hadrons	$(67.60 \pm 0.27) \%$

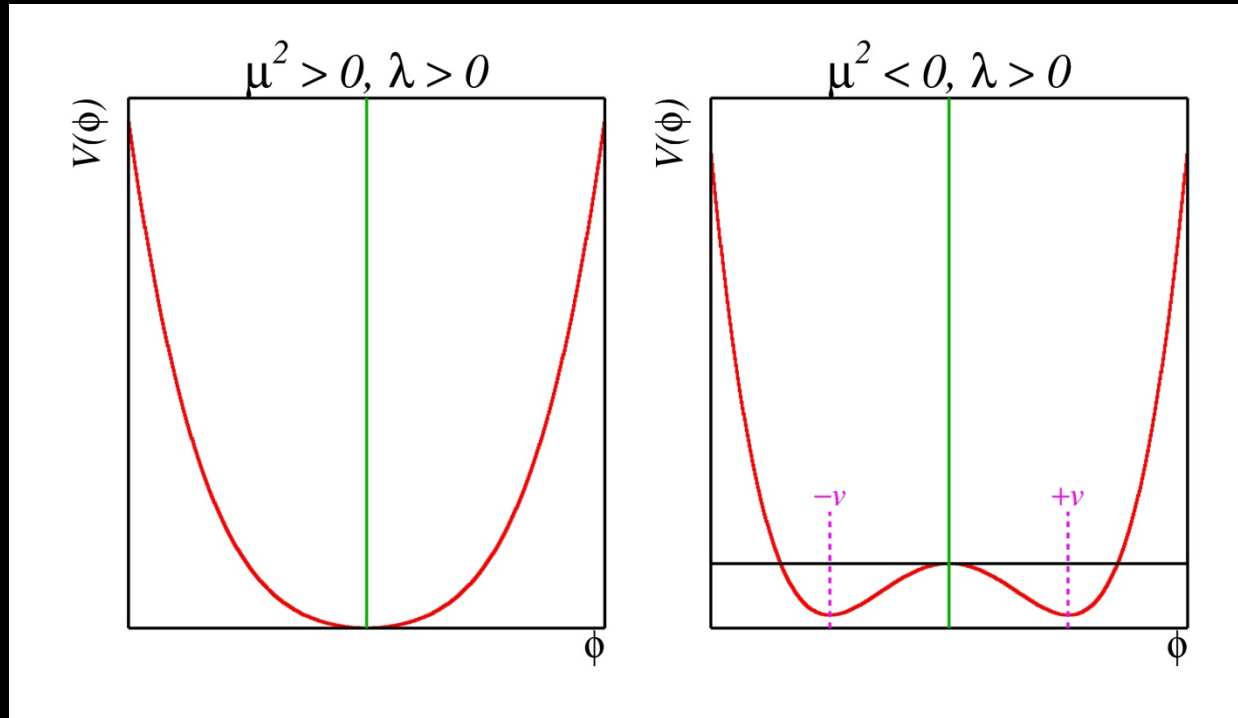
Z DECAY MODES

	Mode	Fraction (Γ_i/Γ)	Con
Γ_1	$e^+ e^-$	$(3.363 \pm 0.004) \%$	
Γ_2	$\mu^+ \mu^-$	$(3.366 \pm 0.007) \%$	
Γ_3	$\tau^+ \tau^-$	$(3.370 \pm 0.008) \%$	
Γ_4	$\ell^+ \ell^-$	[a] $(3.3658 \pm 0.0023) \%$	
Γ_5	$\ell^+ \ell^- \ell^+ \ell^-$	[b] $(4.2^{+0.9}_{-0.8}) \times 10^{-6}$	
Γ_6	invisible	$(20.00 \pm 0.06) \%$	
Γ_7	hadrons	$(69.91 \pm 0.06) \%$	

La massa dei bosoni W e Z

- ◉ Unici bosoni con massa non nulla
- ◉ Ad alte energie (nei primi istanti dopo il Big Bang) i bosoni W e Z avevano (come tutte le altre particelle) una massa nulla:
 - W^+ , W^- , W^0 , B^0
- ◉ Inoltre la forza debole e la forza elettromagnetiche erano unificate:
 - Simmetria elettrodebole
- ◉ Per spiegare l'origine delle masse e' stato introdotto il meccanismo di Higgs
- ◉ Tutto lo spazio e' permeato da un campo di Higgs (e deve esistere una corrispondente particella di Higgs)
- ◉ Diminuendo l'energia il campo di Higgs assume un valore di aspettazione non nullo:
 - La simmetria elettrodebole si rompe
 - i bosoni di gauge interagiscono col campo di Higgs e si ricombinano in W^+ , W^- , Z^0 (massivi) e il fotone (massa nulla)
 - Il bosone di Higgs assume una massa interagendo con se stesso
 - I fermioni interagiscono col campo di Higgs e assumono massa: l'accoppiamento col campo di Higgs e' proporzionale alla massa della particella

Meccanismo di Higgs



- Meccanismo verificato con la scoperta del bosone di Higgs per opera degli esperimenti ATLAS e CMS al CERN nel 2012

Oltre il Modello Standard

◎ SUPERSIMMETRIA:

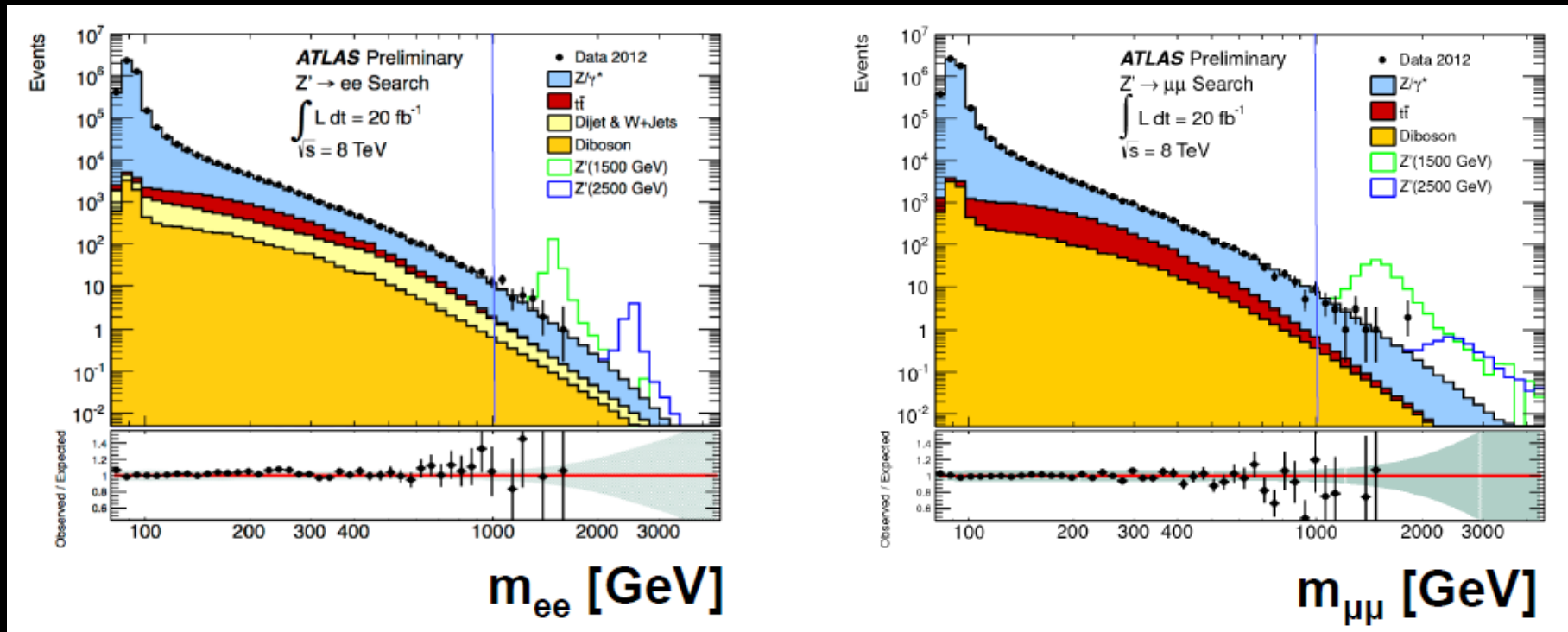
- Ogni particella “ORDINARIA” e' accompagnata da una particella partner SUPERSIMMETRICA
- Nuova simmetria che lega bosoni (spin intero) a fermioni (spin 1/2)
- Ogni particella di un gruppo ha un partner (superpartner) dell'altro gruppo
- Perche' la materia rimanga stabile si devono porre restrizioni che implicano che la particella SUSY piu' leggera (NEUTRALINO) sia stabile
- Il neutralino costituisce un buon candidato di WIMP

◎ TEORIE CON NUOVE DIMENSIONI SPAZIALI:

- Oltre alle usuali 3 dimensioni spaziali, ne esistono altre (EXTRA DIMENSIONS)

Altre ricerche

- Bosone Z' di massa maggiore dello Z previsto da alcune teorie



Due γ ad alta massa

Island Universes in Warped Space-Time

According to string theory, our universe might consist of a three-dimensional "brane," embedded in higher dimensions. In the model developed by Lisa Randall and Raman Sundrum, gravity is much weaker on our brane than on another brane, separated from us by a fifth dimension. (Time is the unseen fourth dimension.)

