

ALCUNI CONCETTI DI FISICA DELLE PARTICELLE ELEMENTARI

F. Tartarelli (INFN-Milano)

Benvenuti alle

International Masterclasses

Hands on particle physics

13th Masterclasses 2017

4^a edizione Milano (INFN+UNIMI)

01/03/2017 e 23/03/2017

Masterclasses

- ◎ 13th edizione: dal 01/03 al 11/04/2017
- ◎ Per un giorno introdurre studenti liceali alla ricerca, dando loro la possibilità' di lavorare come dei fisici sperimentali e fianco a fianco con dei ricercatori:
 - analizzare veri dati sperimentali
 - dati dell'esperimento ATLAS a LHC (CERN) nel nostro caso
- ◎ 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

(*) delle particelle elementari e delle interazioni fondamentali



Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

Sezione di Milano

Via Celoria 16 - 20133 MILANO

INTERNATIONAL

MASTERCLASSES 2017

hands on particle physics

Milano - 23 Marzo



Cerca nel sito

Cerca



L'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare ([INFN](#)) è un Ente Pubblico di Ricerca fondato nel 1951. È uno dei più prestigiosi ed importanti Istituti di ricerca italiani ed i suoi compiti istituzionali sono la conduzione, il finanziamento ed il coordinamento della ricerca fondamentale nei campi della fisica nucleare, subnucleare ed astroparticellare.

[Laboratori e sezioni](#) dell'INFN si trovano in molte città italiane. Questo è il sito Web della Sezione INFN di [Milano](#).

Nel caso desideriate *veramente* raggiungere la vecchia home-page della Sezione di Milano, è disponibile [qui](#).



Chi siamo

- » [Il sito principale dell'INFN](#)
- » [Unità e Laboratori dell'INFN](#)
- » [Il Direttore](#)
- » [Milano](#)
- » [Laboratorio Acceleratori e Superconduttività applicata \(LASA\)](#)
- » [INFN - Bicocca](#)
- » [LHC Italia](#)

Gruppi di ricerca

- I: [Fisica subnucleare sperimentale con acceleratori](#)
- II: [Fisica Astroparticellare e Fisica del Neutrino](#)
- III: [Fisica nucleare sperimentale](#)
- IV: [Fisica teorica](#)
- V [Ricerca tecnologica](#)
- [Progetti speciali INFN](#)

☉ FACEBOOK:

- INFN: <https://www.facebook.com/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>

☉ INSTAGRAM:

- https://www.instagram.com/infN_insights/

☉ Profili ufficiali dell'INFN e delle IMC:

- FACEBOOK: @IstitutoFisicaNucleare
- TWITTER: @UffComINFN e @physicsIMC
- INSTAGRAM: @infN_insights

☉ hashtag: #MasterclassINFN e #LHCIMC17

Programma della giornata

- ◉ Ore 9.00:
 - Registrazione - Sala Consiglio
 - Benvenuto del Direttore della Sezione INFN di Milano e del Dipartimento di Fisica di UniMi
- ◉ Ore 09.45:
 - Dott. F. Tartarelli “Alcuni concetti di Fisica delle Particelle Elementari”
 - Prof. L. Carminati “Acceleratori, rivelatori e altro ancora”
- ◉ Ore 12.00:
 - Pausa pranzo
- ◉ Ore 13.00:
 - 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

20.03. - 25.03.

	Mon, Mar 20	Tue, Mar 21	Wed, Mar 22	Thu, Mar 23	Fri, Mar 24	Sat, Mar 25
topic	VC 1: ATLAS W	VC 1: ATLAS Z	VC 1: ATLAS Z	VC 1: ATLAS Z	VC 1: ATLAS Z	VC 1: ATLAS W
moderators	Roland	Stefanie T.	Estel	Stefanie M.	Suyog	André
moderators	Adrian	Coralie	Giulia	Giulia	Clara	Muhammad
	Bratislava 	Orsay 	Kosice 	Orsay 	Warwick 	Lisbon IST 
	Bern 	Prague CU/Slany 	Faro 	Amsterdam 	Dortmund 	Coimbra 
	Marseille 	Clermont-Ferrand 	Berlin 	Milano 	Clermont-Ferrand 	São Tomé e P. 
	Hamburg DESY 	Genoa 	Sosnowiec 	Clermont-Ferrand 	Brookhaven 	Aveiro 
	San Luis Obispo 			Oslo 	Natal 	Funchal 
topic	VC 2: CMS			VC 2: LHCb	VC 2: CMS	
moderators	Jory			Francesca	Rebeca	
moderators	Thorben			Andrea	Jason	
	Istanbul, Ozyegin 			Geneva Cern 	Firenze 	
	Athens Demokritos 			Warwick 	Santander 	
	Geneva Cern 			Cagliari 	Genoa 	

<https://vidyoportal.cern.ch/join/rTYfeMEhXmdY>

MC-INFN-Milano-IT

Un giorno da ricercatore?

◎ Seminari:

- Seminari, conferenze, leggere articoli,...
- Studio, aggiornamento continuo

◎ Analisi dati:

- Verifica sperimentale: il cuore del metodo scientifico

◎ Scambio di informazioni:

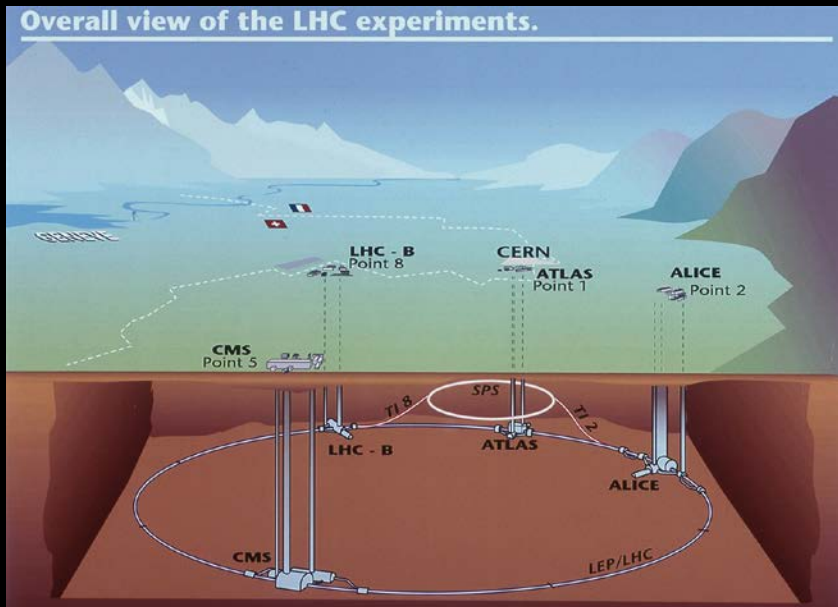
- Discussione dei risultati con colleghi del proprio gruppo di ricerca/esperimento
- Confronto e scambio di informazioni con colleghi di altri esperimenti/gruppi
- Rendere pubblici i risultati delle proprie ricerche con tutti i dettagli così' che tutti possano controllare e/o ripetere gli stessi studi
- La scienza e' «aperta»

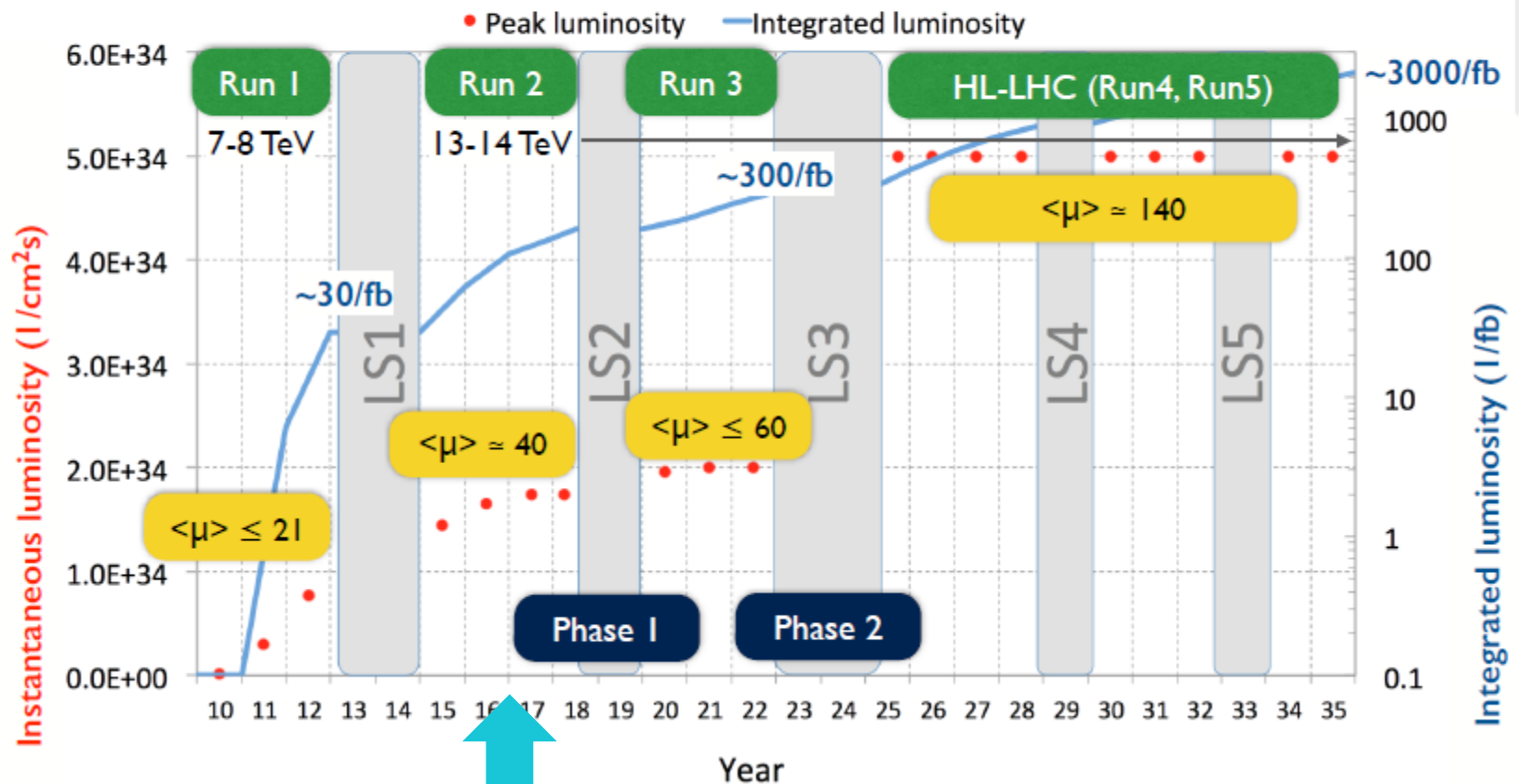
CERN

- ◉ 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



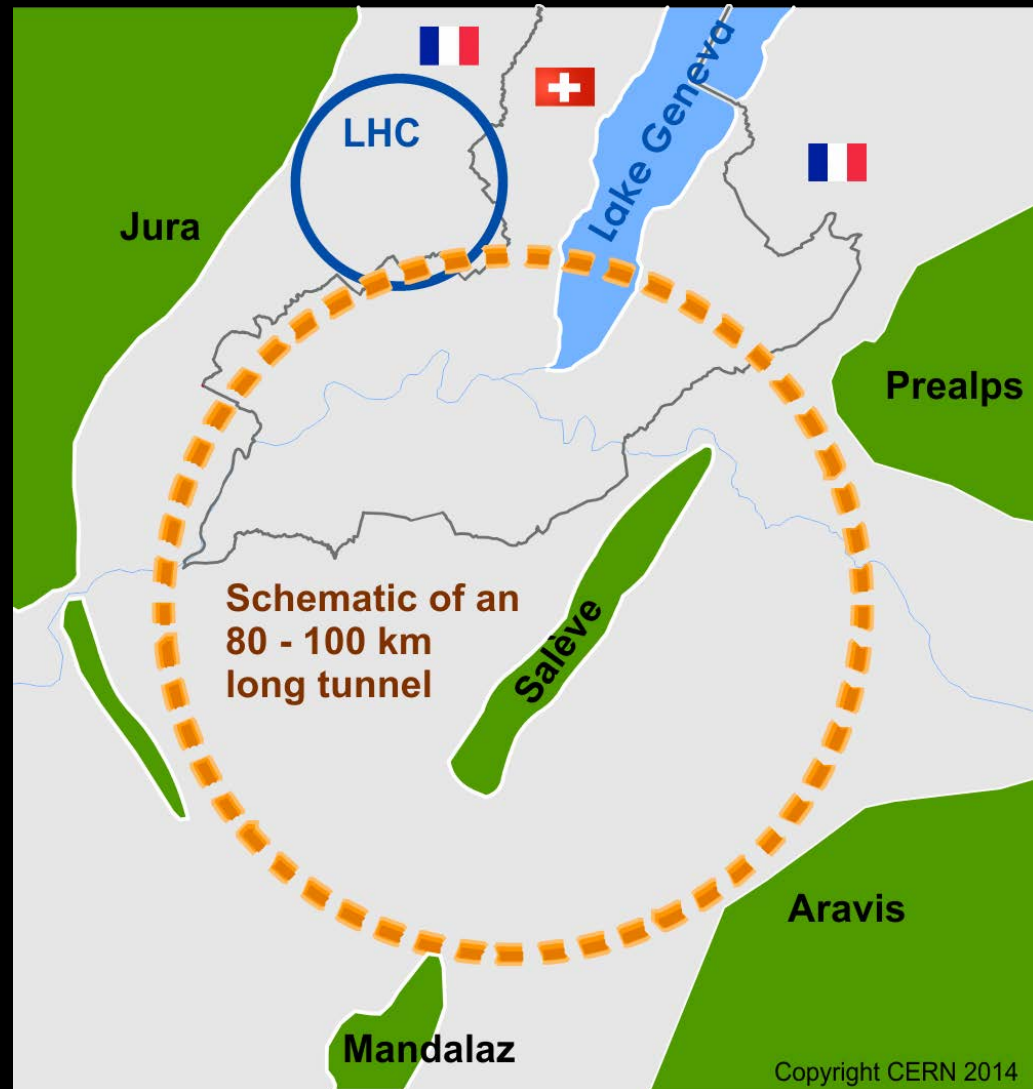


Future Circular Collider Study

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

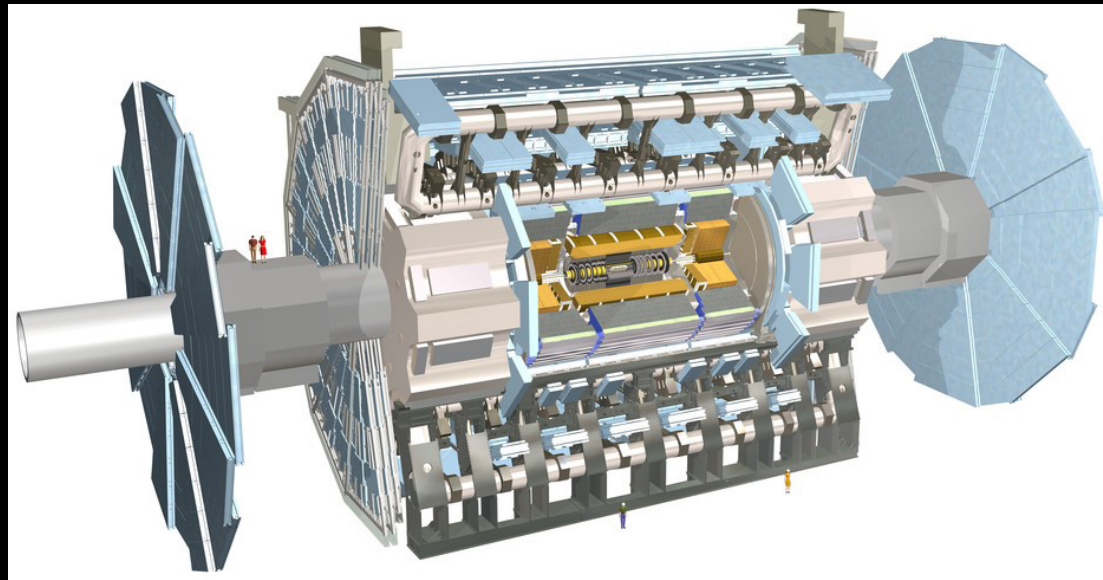
~16 T $\Rightarrow$ 100 TeV pp in 100 km
~20 T $\Rightarrow$ 100 TeV pp in 80 km

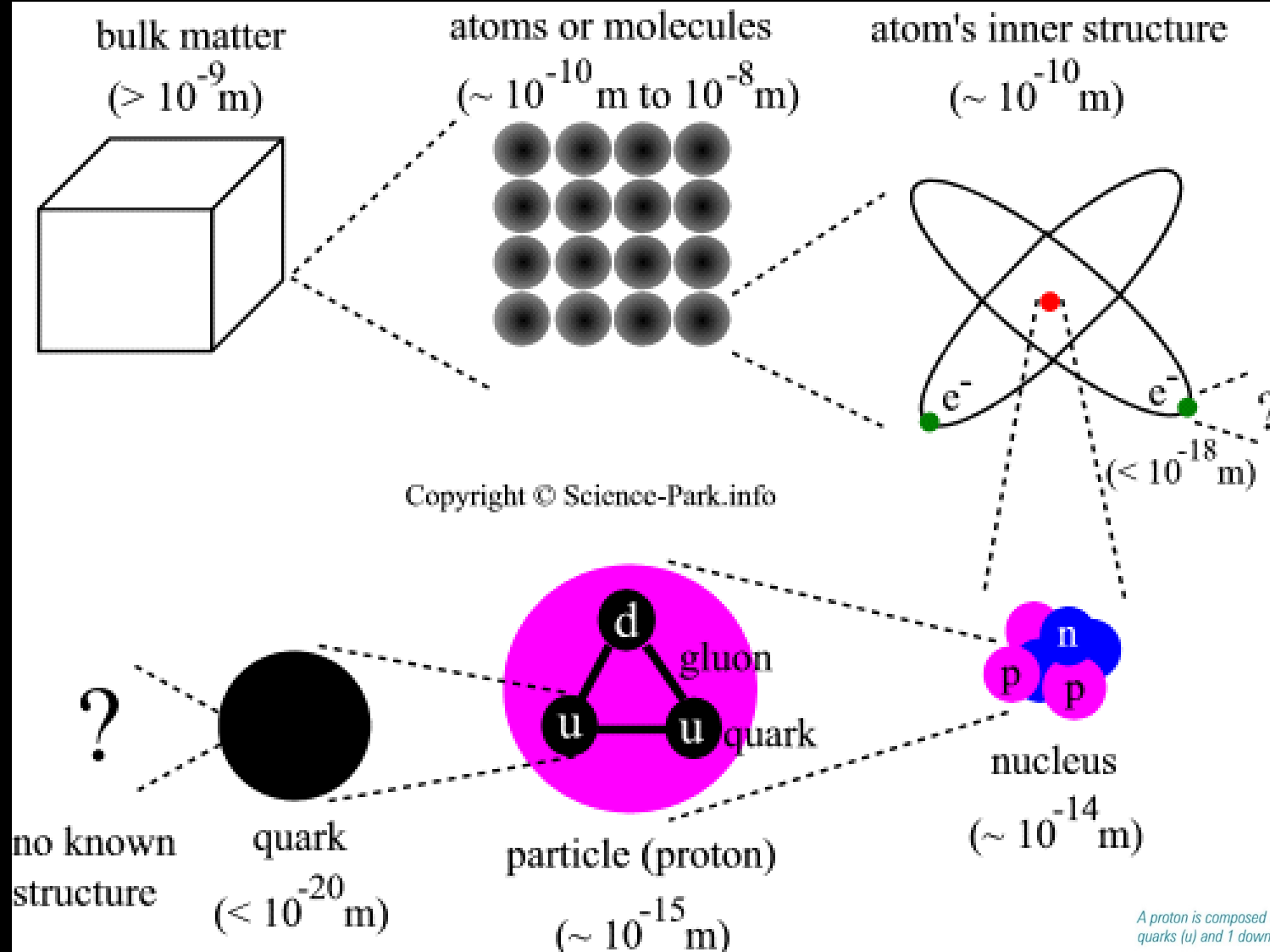


- ⊙ Joule (J) come unità di misura dell'energia ($\text{kg m}^2 \text{s}^{-2}$):
 - Una massa di 100 g ad 1 m da terra ha una energia potenziale di circa 1 J
- ⊙ In fisica delle particelle al suo posto si usa una unità più comoda chiamata elettronvolt (eV)
- ⊙ energia cinetica acquistata da un singolo 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





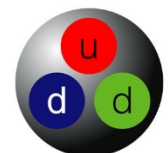
Protone e neutrone ->

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).

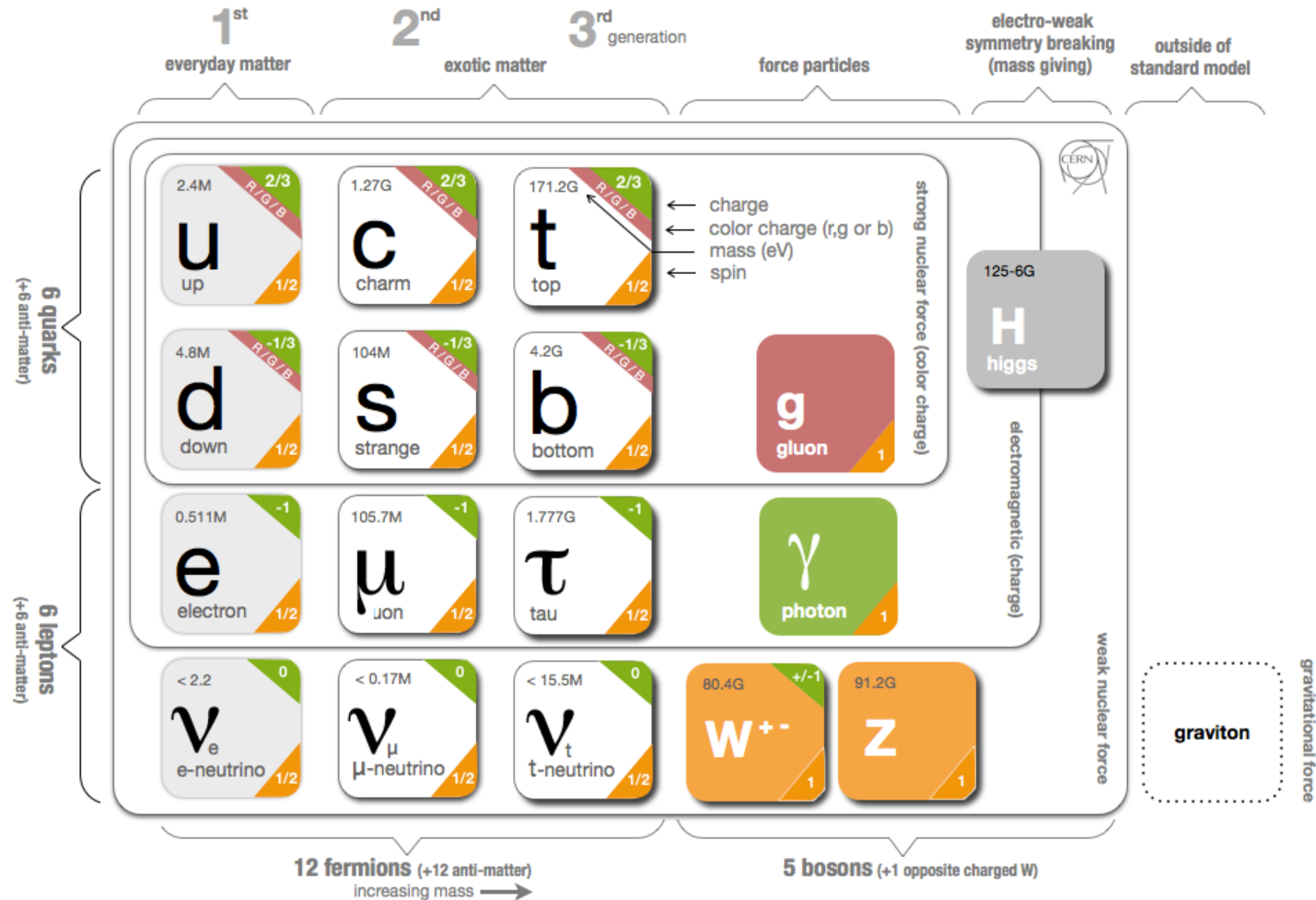


Total charge:
 $+2/3 + 2/3 - 1/3 = +1$



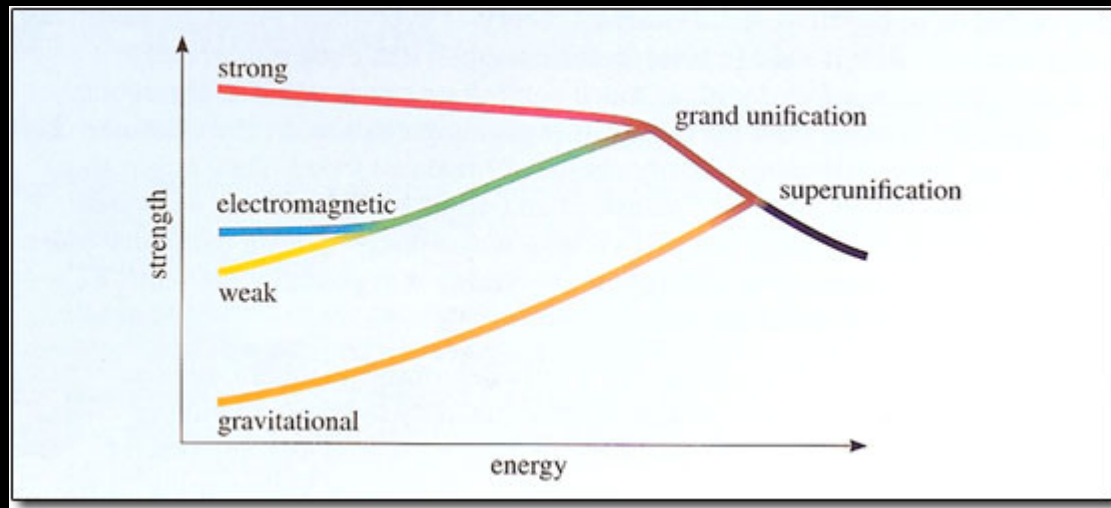
Total charge:
 $+2/3 - 1/3 - 1/3 = 0$

Il Modello Standard

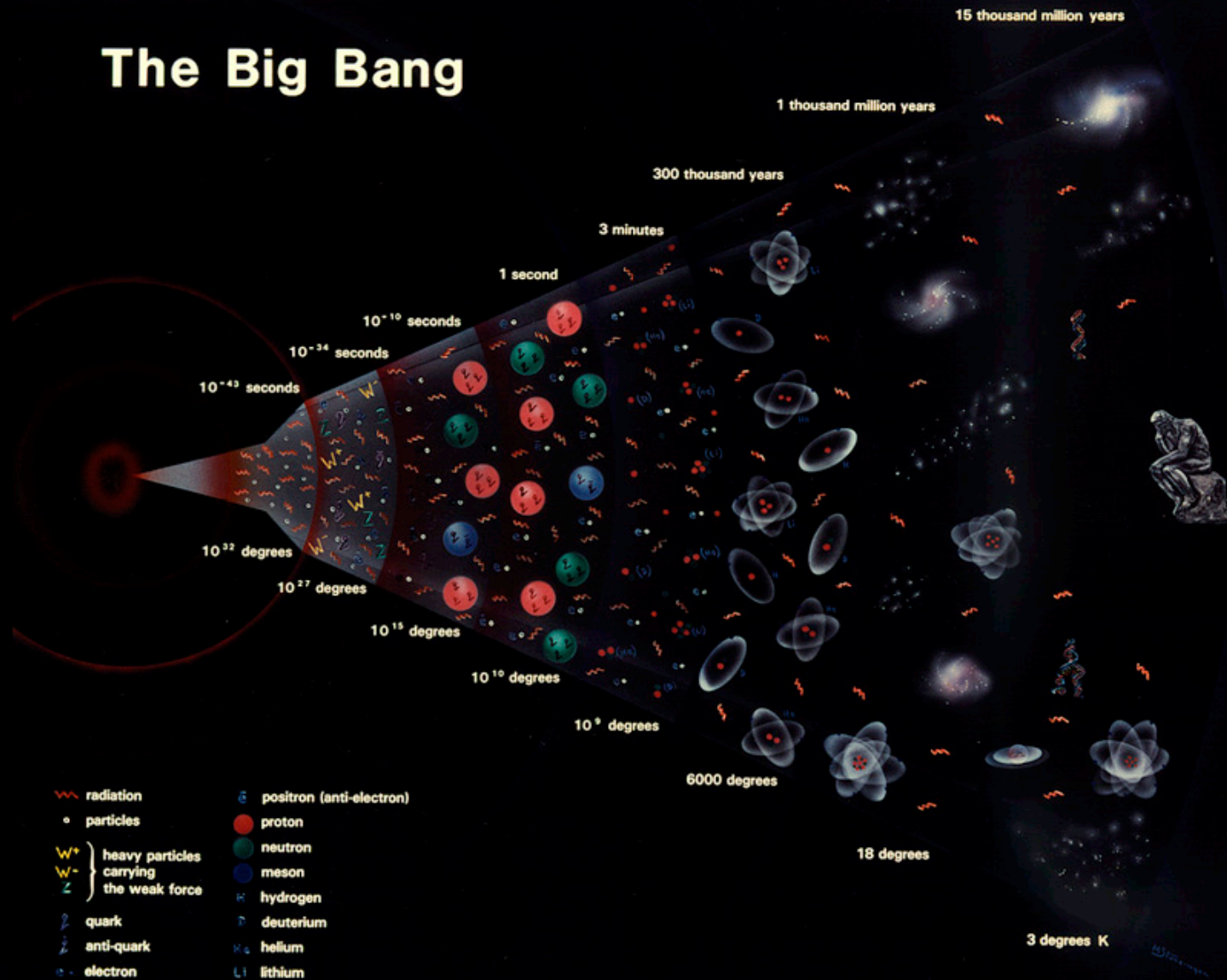


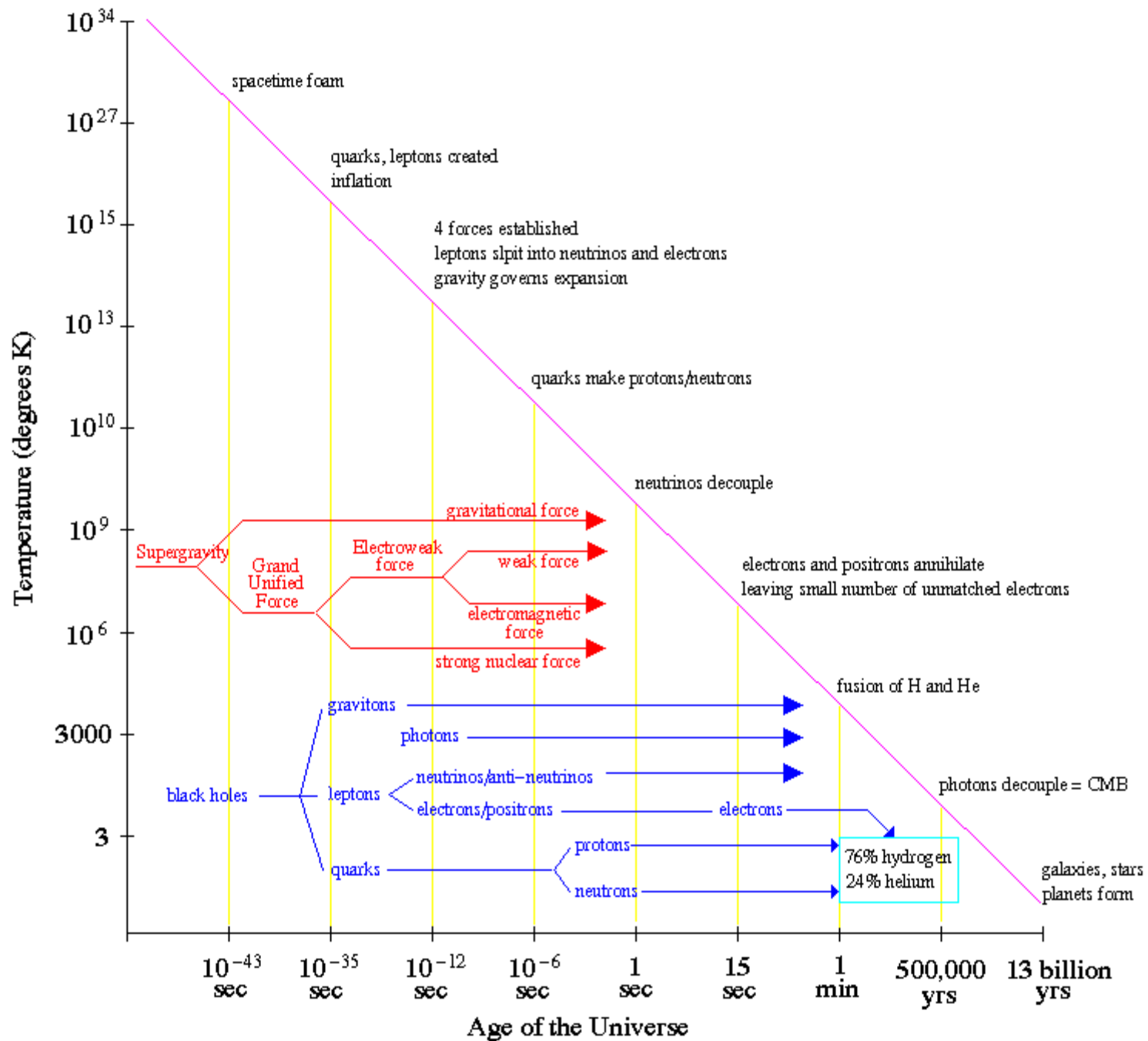
PROPERTIES OF THE INTERACTIONS

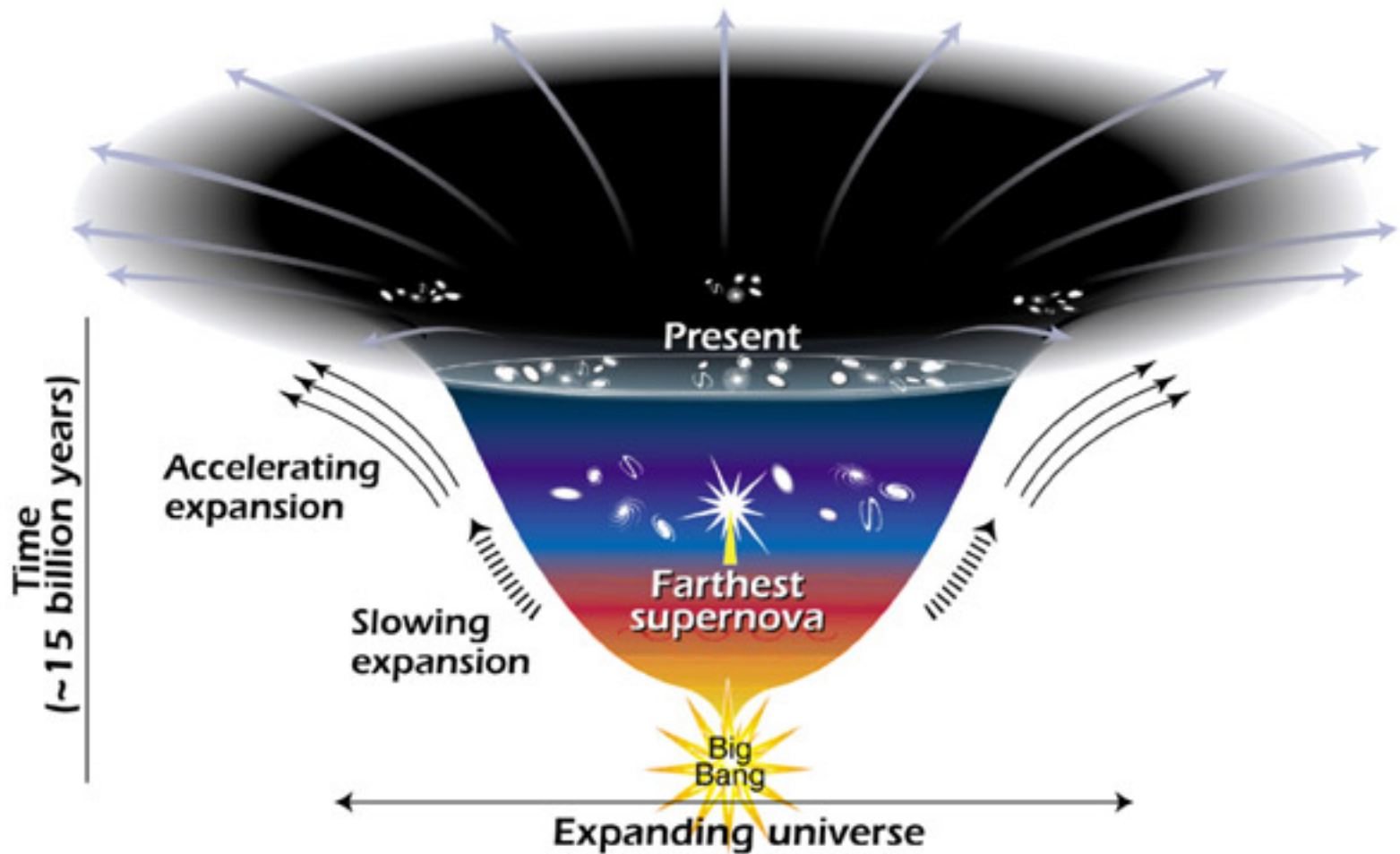
Property \ Interaction	Gravitational	Weak (Electroweak)	Electromagnetic	Strong	
				Fundamental	Residual
Acts on:	Mass – Energy	Flavor	Electric Charge	Color Charge	See Residual Strong Interaction Note
Particles experiencing:	All	Quarks, Leptons	Electrically charged	Quarks, Gluons	Hadrons
Particles mediating:	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

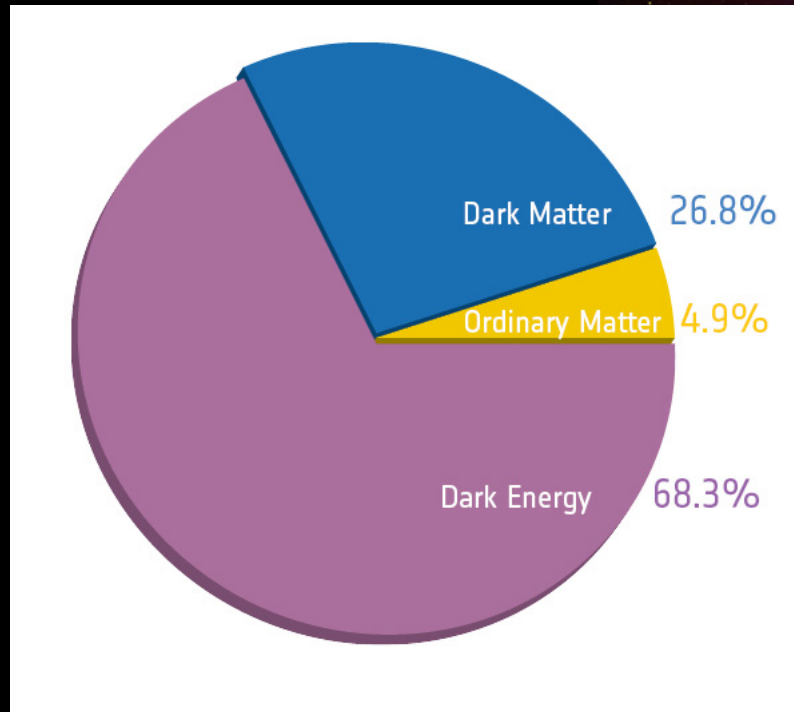






This diagram reveals changes in the rate of expansion since the universe's birth 15 billion years ago. The more shallow the curve, the faster the rate of expansion. The curve changes noticeably about 7.5 billion years ago, when objects in the universe began flying apart at a faster rate. Astronomers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

Materia ed Energia oscura



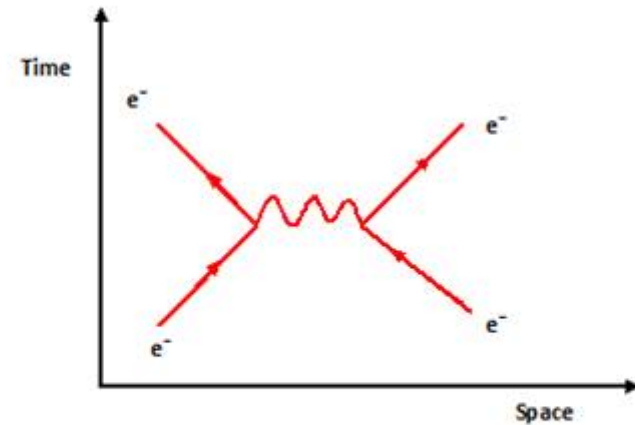
Nelle galassie c'è più materia (blu) di quella che vediamo (rossa):
Materia stimata dalla dinamica delle galassie o dal gravitational lensing

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)

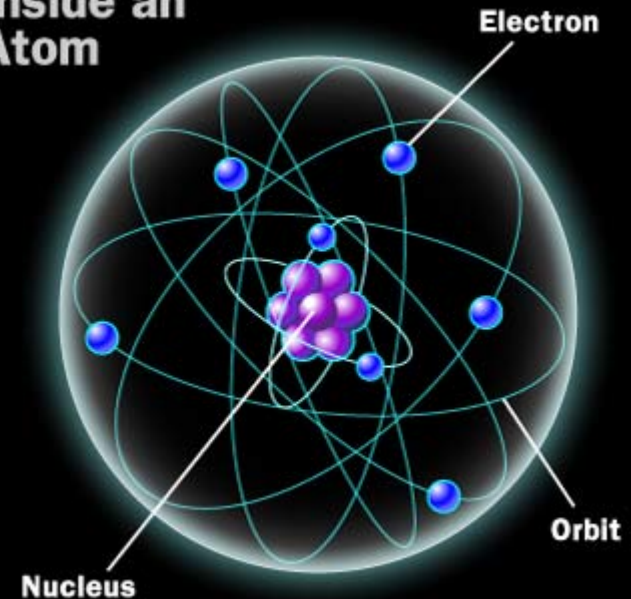
Forza e.m.

- ⦿ 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.

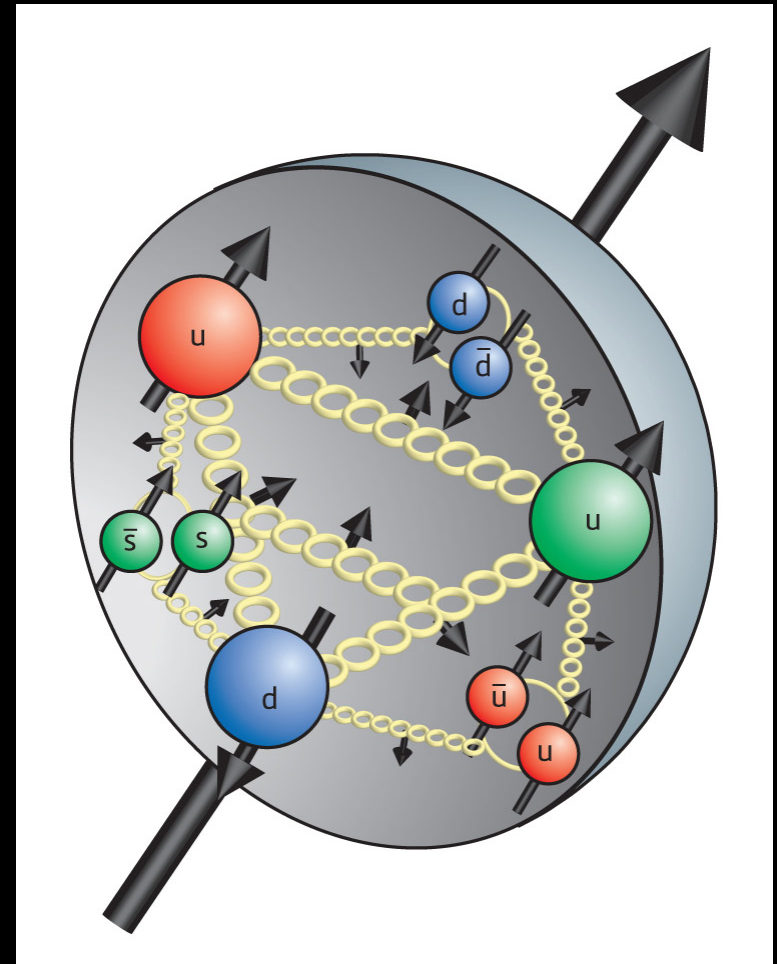
Inside an Atom



©2003 HowStuffWorks

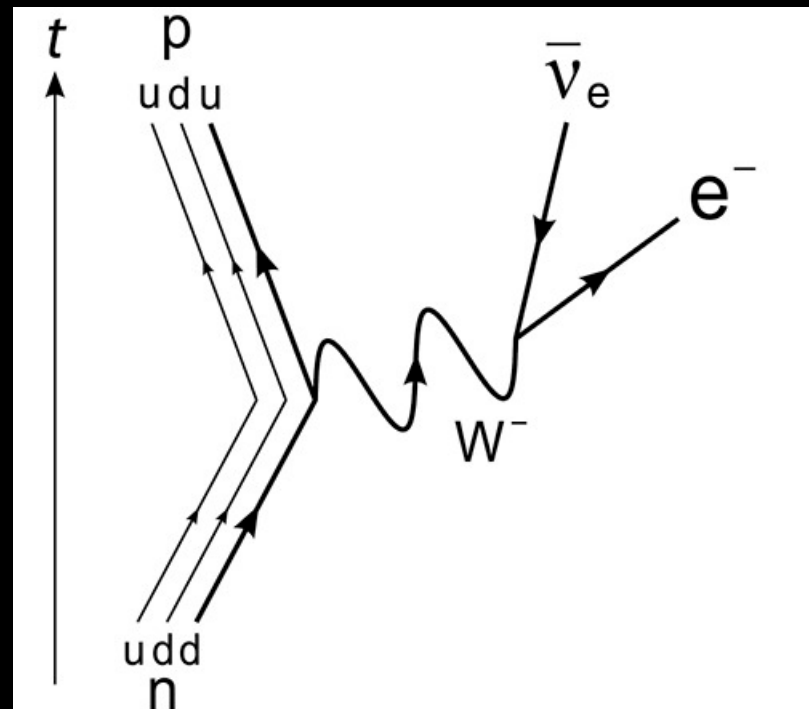
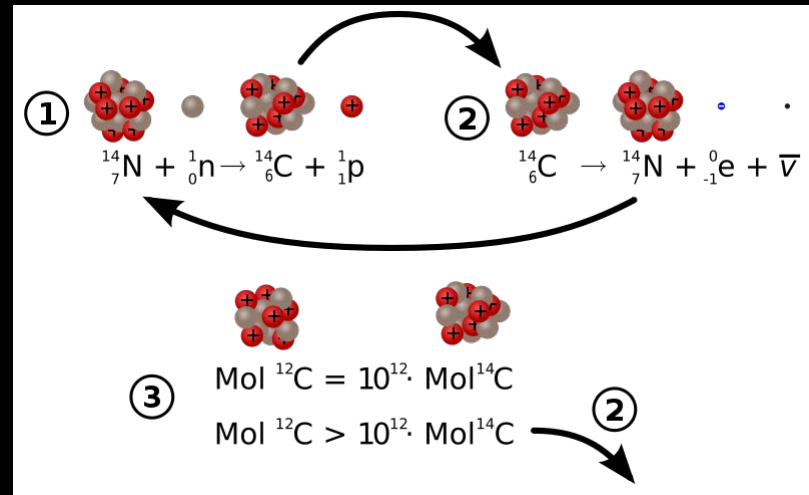
Forza forte

- ⦿ 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

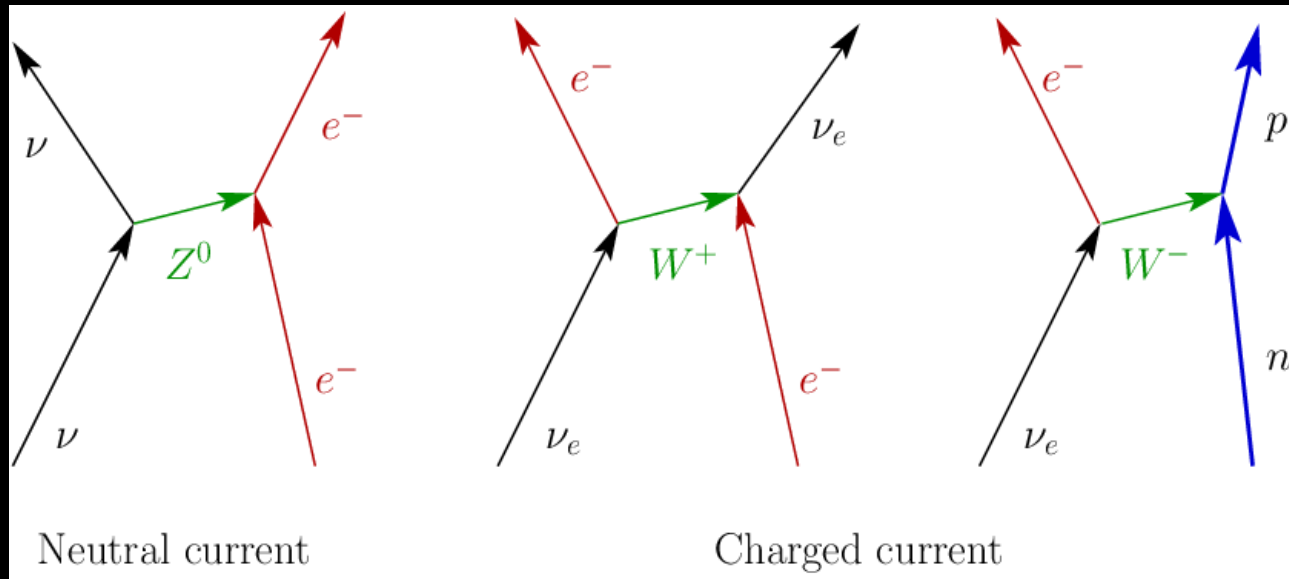


Forza Debole

- 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:

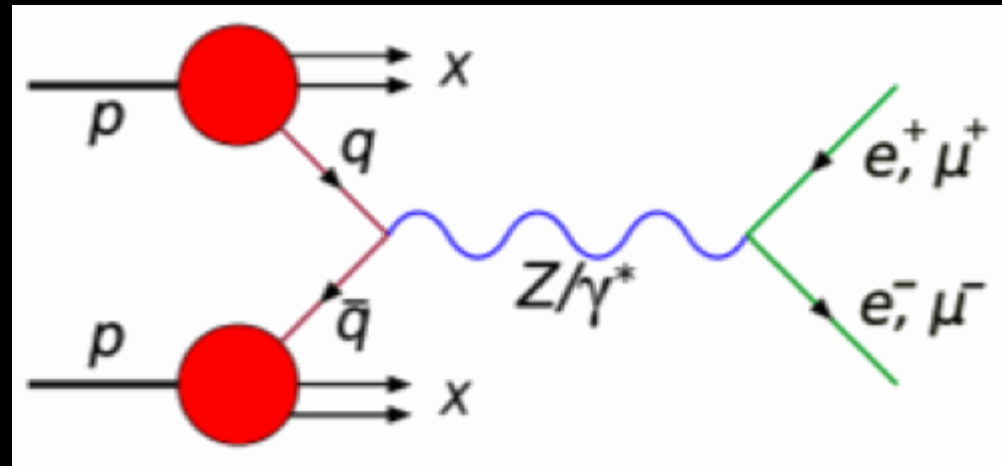
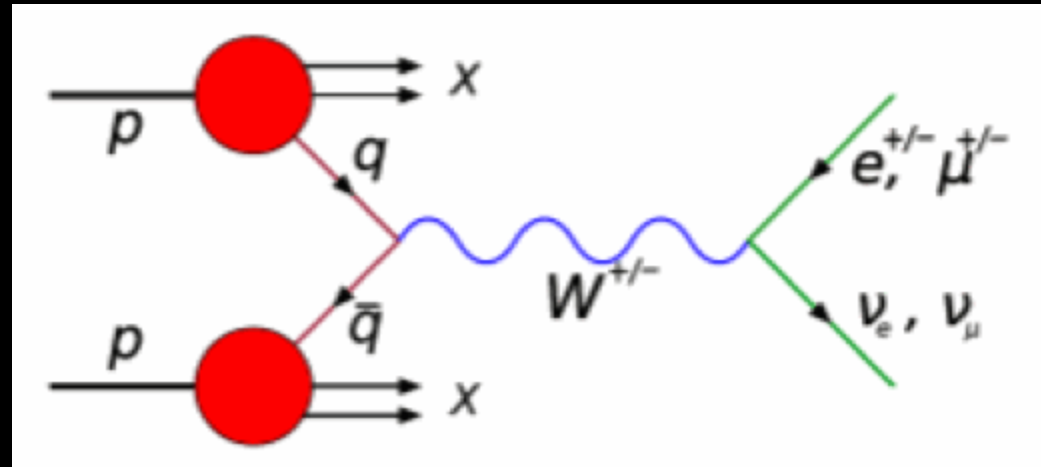
- Nell'interazione con la materia, i neutrini urtano un elettrone trasferendogli energia
- L'elettrone può essere accelerato ad energie relativistiche ed emettere radiazione (luce Cherenkov) che può essere rivelata da appositi dispositivi

Interazioni deboli

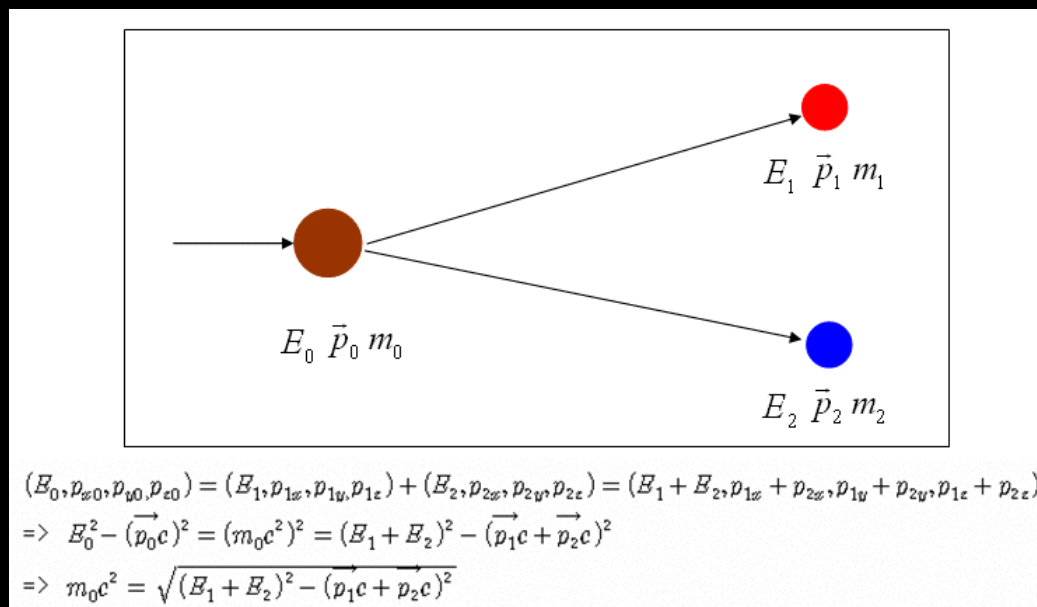
- ◉ Mediate da: W^+ , W^- e Z^0
- ◉ Caratteristiche dell'interazione debole:
- ◉ E' l'unica interazione che puo' cambiare il sapore dei quark (cioe' cambia i quark da un tipo ad un altro)
- ◉ Viola sia la simmetria di parita' P , che la simmetria CP (parita' seguita da coniugazione di carica)
- ◉ E' 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 ($\sim 10^{-25}\text{s}$) e decade subito in altre particelle
- I prodotti del decadimento possono essere rivelati

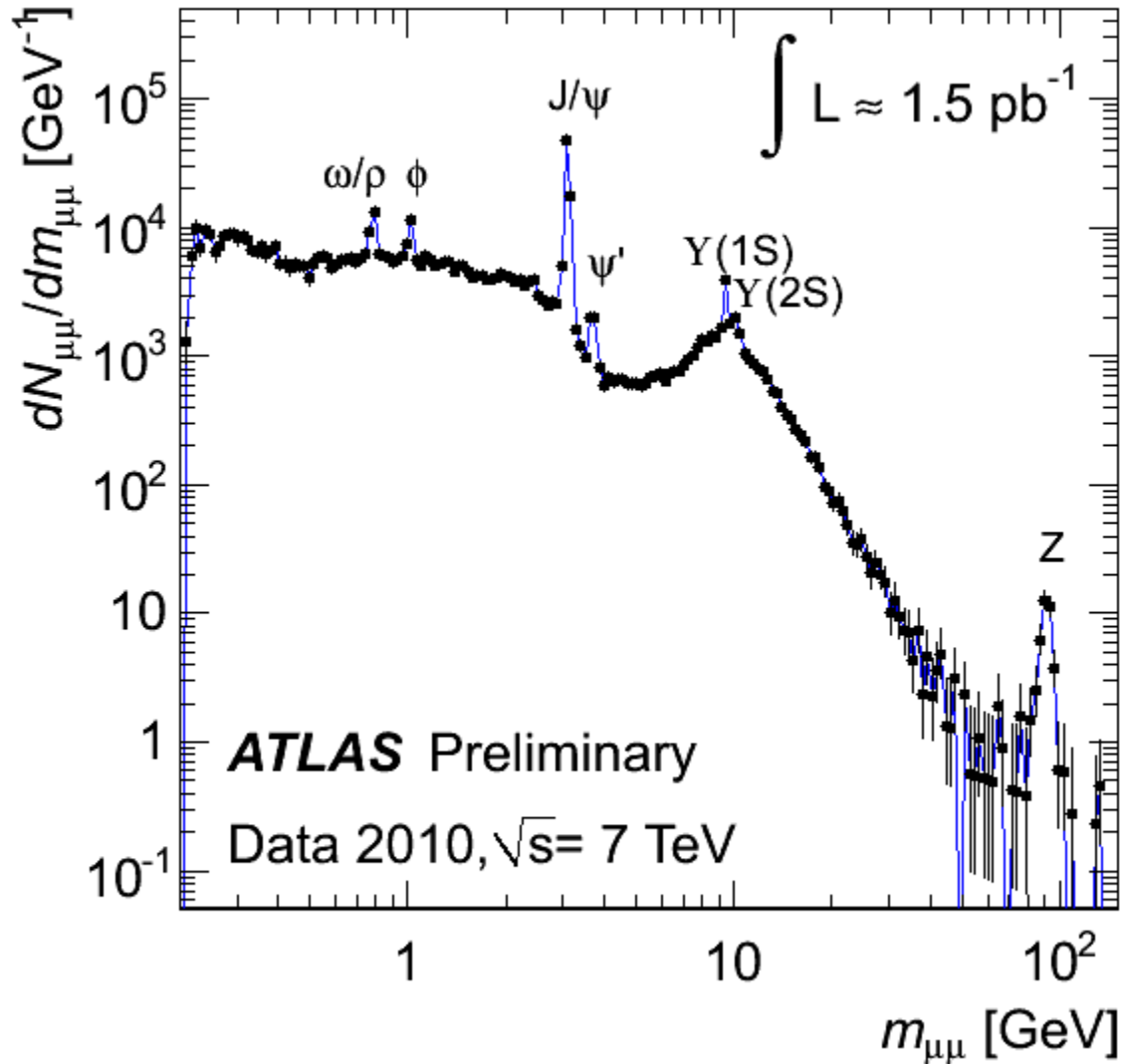


Massa invariante



- Dai vettori quantita' di moto dei due prodotti di decadimento si puo' ricostruire la particella iniziale
- In realta' poiche' 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:
 - $M^2 = (E_1 + E_2)^2 - |\mathbf{p}_1 + \mathbf{p}_2|^2 = m_1^2 + m_2^2 + 2(E_1 E_2 - \mathbf{p}_1 \cdot \mathbf{p}_2)$
- Massa "invariante" perche' e' la stessa in tutti i sistemi di riferimento legati da una trasformazione di Lorentz

Spettro di massa invariante



$\rho(770)$ 775.26 ± 0.25 MeV

$\omega(782)$ 782.65 ± 0.12 MeV

$\phi(1020)$ 1019.461 ± 0.019 MeV

J/ψ 3096.916 ± 0.011 MeV

ψ' $3686.109 + 0.012 - 0.014$ MeV

$Y(1S)$ 9460.30 ± 0.26 MeV

$Y(2S)$ 10023.26 ± 0.31 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	$(67.60 \pm 0.27) \%$

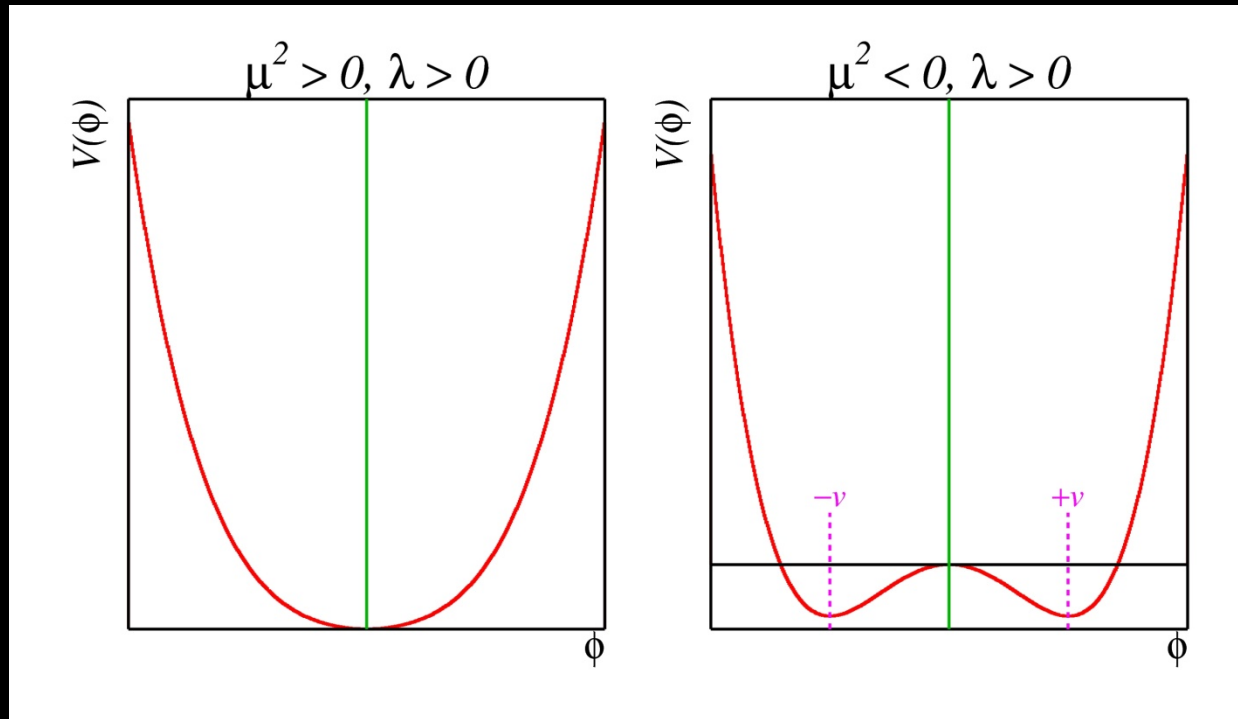
Z DECAY MODES

	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:

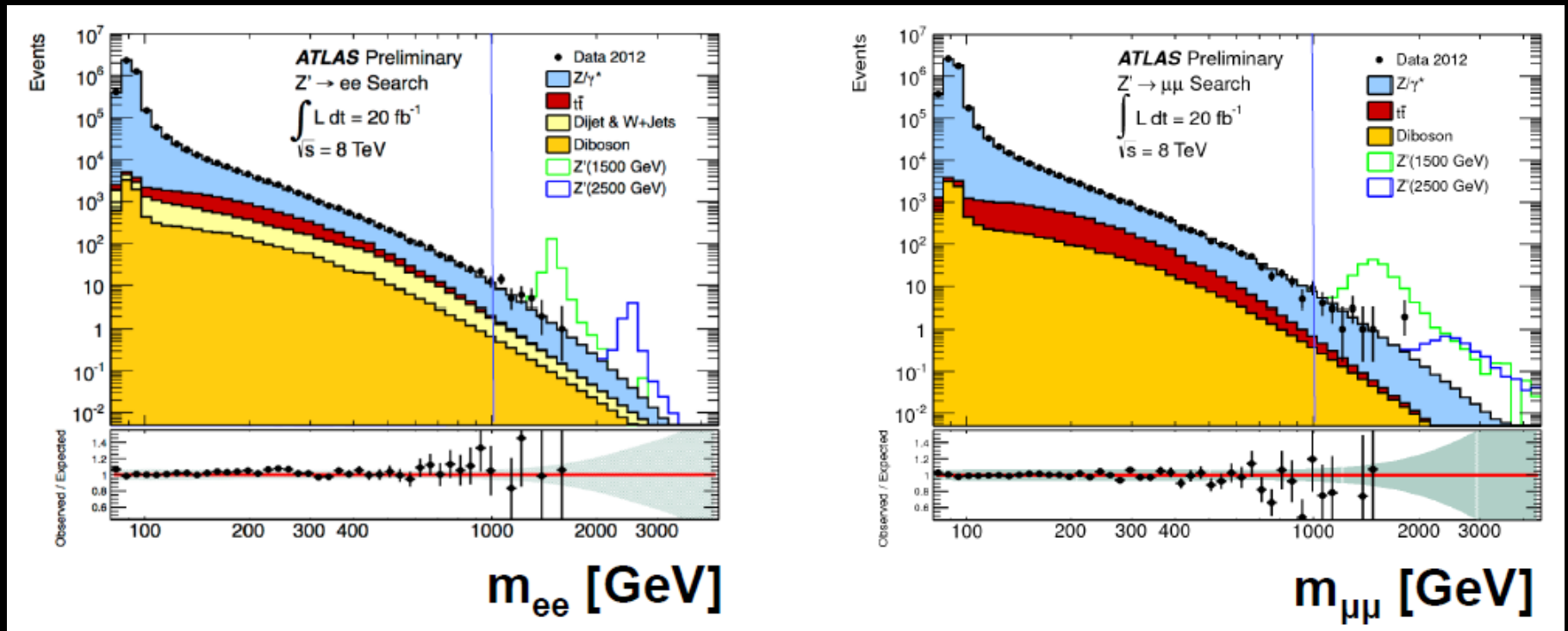
- Ogni particella “ORDINARIA” e' accompagnata da una particella partner SUPERSIMMETRICA
- Nuova simmetria che lega bosoni (spin intero) a fermioni (spin $1/2$)
- Ogni particella di un gruppo ha un partner (superpartner) dell'altro gruppo
- Perche' la materia rimanga stabile si devono porre restrizioni 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.)

Fifth dimension
Space is warped by energy throughout five-dimensional space-time. As a result, gravity is much weaker on our brane.



The ends of **open strings**, whose oscillations are particles and forces other than gravity, are stuck to our brane.

GRAVITY BRANE
(where gravity is concentrated)

Gravitons, which transmit gravity, are closed strings, which are not confined to either brane.

Warped space-time
Because space-time is warped, things are exponentially bigger and lighter closer to our brane.

BRANE
(our universe)

