

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

The screenshot shows the INFN website homepage. At the top left is the INFN logo and the text "Istituto Nazionale di Fisica Nucleare". To the right is a navigation menu with "PORTALE INFN", "SERVIZI", and "ELENCO TELEFONICO", and a search bar with "Info" and "Cerca...". Below the navigation is a main banner with a photo of students at computers and a blue text box titled "COMUNICATI STAMPA 2017" containing the headline "STUDENTI DELLE SUPERIORI ALLE PRESE CON I VERI DATI DEL CERN IN TUTTA ITALIA" and a short paragraph. To the right of the banner is a vertical list of "LINEE DI RICERCA" with five items: 1 fisica delle PARTICELLE, 2 fisica delle ASTROPARTICELLE, 3 fisica NUCLEARE, 4 fisica TEORICA, and 5 ricerca TECNOLOGICA. Below the banner are three columns of content: "NEWSLETTER Italian National Institute for Nuclear Physics" with a date of "31 | JANUARY 2017" and social media icons; "pubblico" featuring "Uomo virtuale - la fisica esplora il corpo" (marzo - giugno 2017, Palazzo Blu, Pisa...); "aziende" featuring "TRASFERIMENTO TECNOLOGICO"; "la Comunità" featuring "DIRETTORE DI INFN - CNAF" (CALL) and "Fondi Esterni"; and "Conferenze | Seminari | Eventi" with two entries: "29-03-2017: LNF - The accelerators for the Electron-Ion Collider (EIC) Seminari INFN" and "04-05-2017: LNF - The shape of (new) physics in the B decay anomalies Seminari INFN".



Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

Sezione di Milano

Via Celoria 16 - 20133 MILANO

INTERNATIONAL MASTERCLASSES 2017 hands on particle physics Milano - 1 Marzo



Cerca nel sito

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](#)

- » [Come contattare l'INFN a Milano \(incluso indirizzo PEC\)](#)
- » [Come raggiungere l'INFN a Milano](#)
- » [Elenco telefonico dell'INFN di Milano - sede di via Celoria e LASA](#)
- » [Elenco telefonico dell'INFN di Milano - Bicocca](#)
- » [Elenco generale personale INFN](#)

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](#)

Mapa del sito



◎ 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 9.30:
 - Registrazione - Sala Consiglio
 - Benvenuto del Direttore della Sezione INFN di Milano e del Dipartimento di Fisica di UniMi
- ⦿ Ore 10.15:
 - 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 17.30:
 - Fine Lavori

01.03. - 04.03.

	Mon, Feb 27	Tue, Feb 28	Wed, Mar 01	Thu, Mar 02	Fri, Mar 03	Sat, Mar 04
topic			VC 1: ATLAS Z	VC 1: ATLAS W	VC 1: LHCb	
moderators			Leonor	Stefanie T.	Barbara	
moderators			Roland	Mark P.	Lorenzo	
			London Queen Mary 	Geneva Université 	Firenze 	
			Graz 	Göttingen 	Barcelona 	
			Milano 	Alexandria 	Paris 	
			Kielce 	Saclay 	Suceava 	
			Innsbruck 	Rome Tre 	Cincinnati Anderson 	
topic				VC 2: ALICE R _{AA}	VC 2: ALICE S.P.	VC 2: CMS
moderators				Friederike	N.N.	André
moderators				Jochen	Eva	Jory
				Frankfurt 	Thessaloniki 	Évora 
				Zagreb 	Mexico UNAM 	Gent 
				Darmstadt 		Warsaw 
				Copenhagen		Novi Sad

<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:**

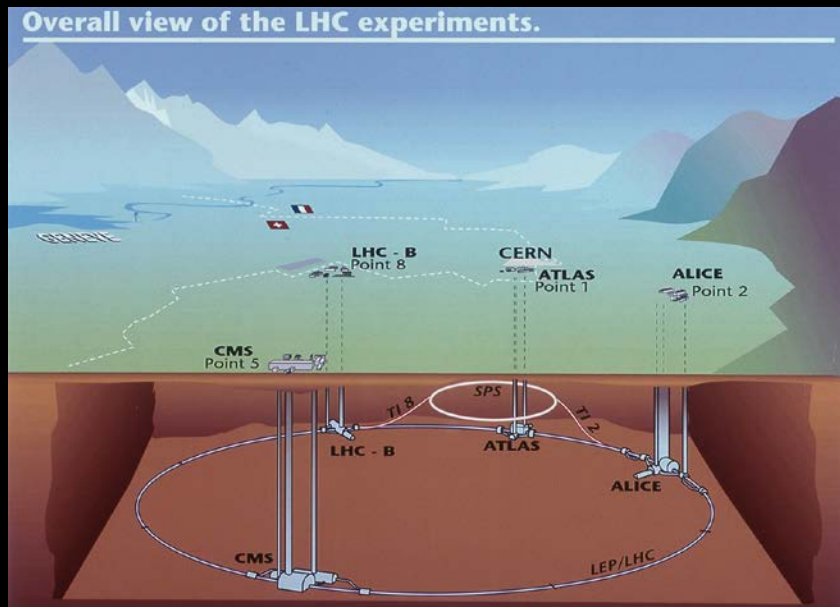
- Discussione dei risultati con colleghi del proprio gruppo di ricerca/esperimento
- Confronto e scambio di informazioni con colleghi di altri esperimenti/gruppi
- Rendere pubblici i risultati delle proprie ricerche con tutti i dettagli così' che tutti possano controllare e/o ripetere gli stessi studi
- 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 del World Wide Web
 - Tim Berends-Lee
- ◎ Scoperta del bosone di Higgs nel 2012
 - Nobel per la Fisica nel 2013 a **Peter Higgs & Francois Englert**

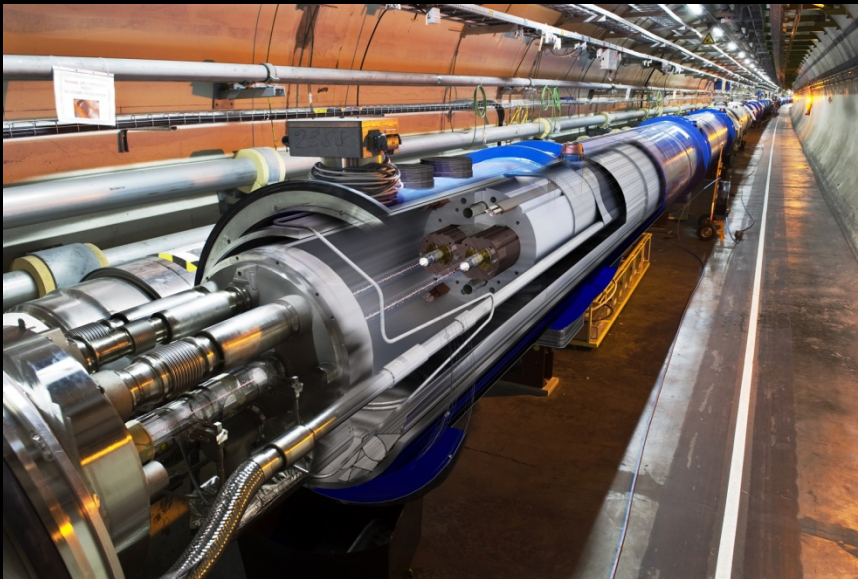
LHC al CERN

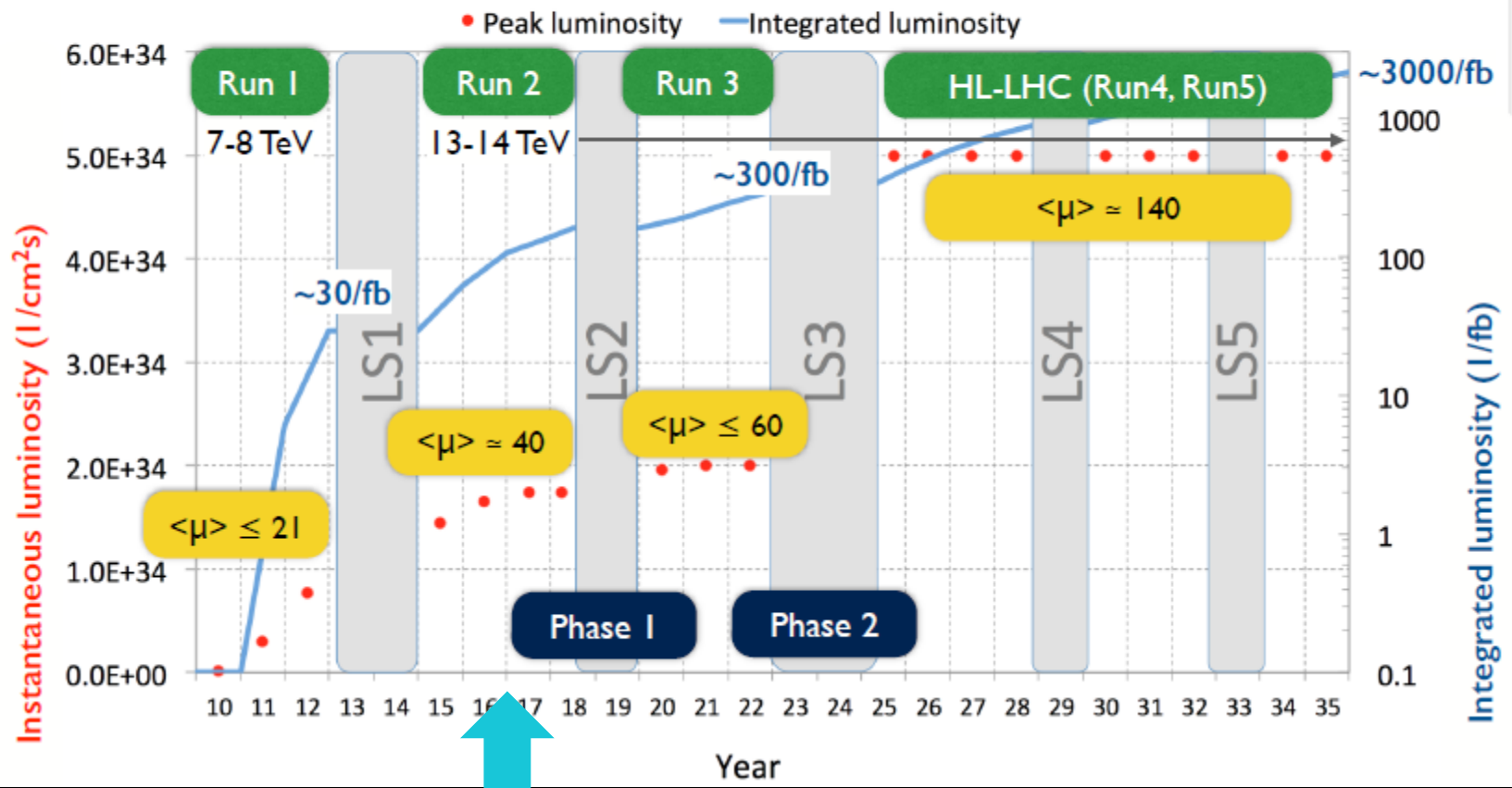
- ⦿ LHC = Large Hadron Collider
- ⦿ Grande collisionatore pp: ~27 km di circonferenza percorsa dai protoni a circa la velocità della luce
- ⦿ Posto in un tunnel circolare tra la Svizzera e la Francia, vicino Ginevra
- ⦿ 4 sale sperimentali sotterranee per altrettanti esperimenti
 - ALICE, ATLAS, CMS,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



LHC

- ⊙ I principali magneti superconduttori di LHC:
 - Campo magnetico di circa 8 T
 - operano ad una temperatura di 1.9 K (-271.3 °C), piu' freddo dei 2.7 K (-270.5 °C) dello spazio
- ⊙ 10⁴ km di tubi sotto vuoto: e' uno dei sistemi di vuoto piu' grossi al mondo
- ⊙ La pressione nei tubi e' 10⁻¹⁰ to 10⁻¹¹ mbar, un vuoto piu' rarefatto di quello che si trova sulla superficie della luna.





Future Circular Collider Study

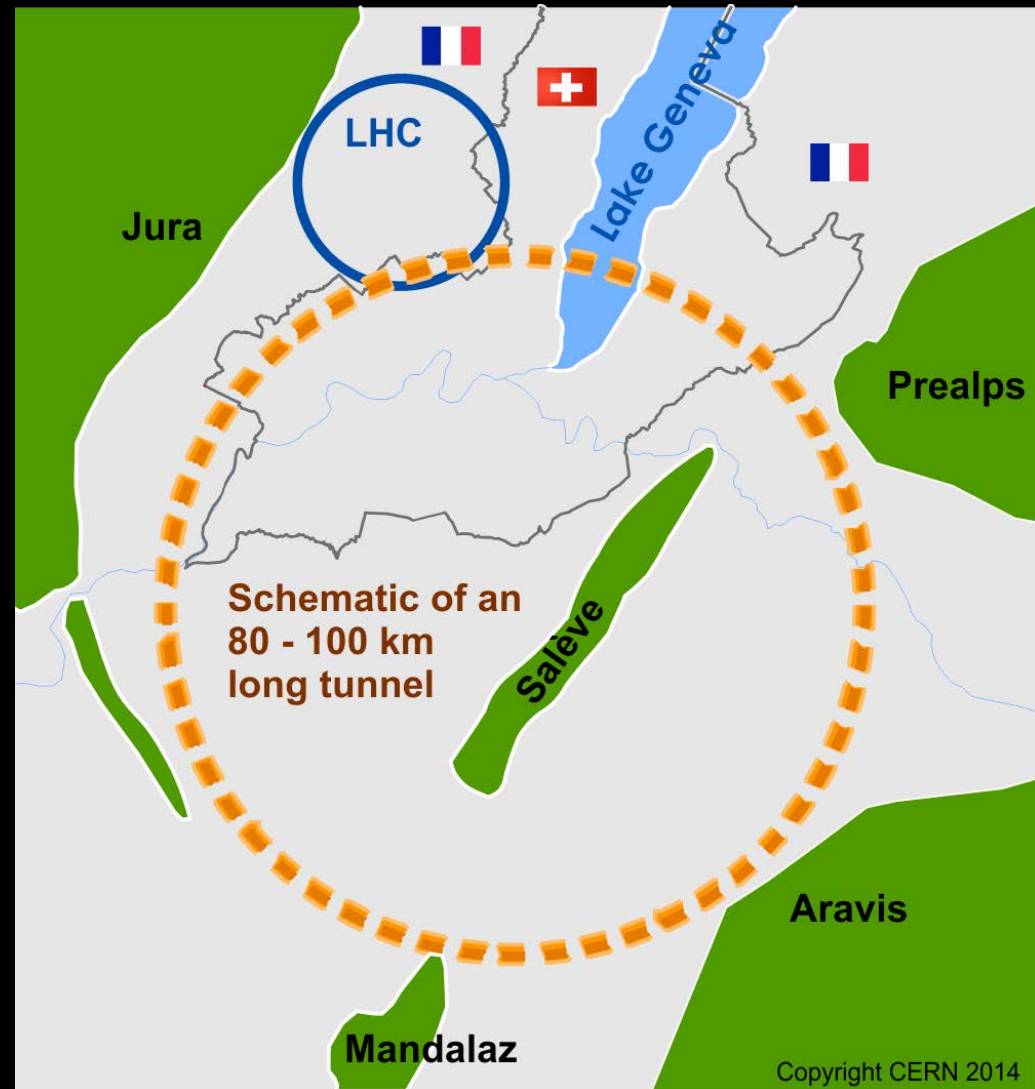
Forming an international collaboration to study:

- pp -collider (*FCC-hh*)
→ defining infrastructure requirements

~16 T \Rightarrow 100 TeV pp in 100 km

~20 T \Rightarrow 100 TeV pp in 80 km

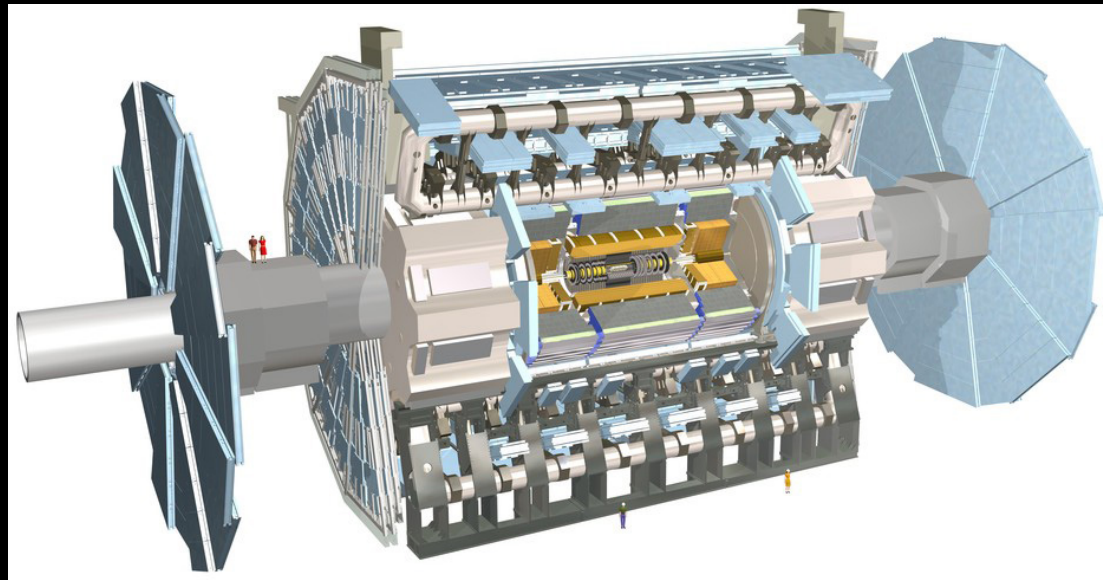
- e^+e^- collider (*FCC-ee*) as potential intermediate step
- $p-e$ (*FCC-he*) option
- 80-100 km infrastructure in Geneva area

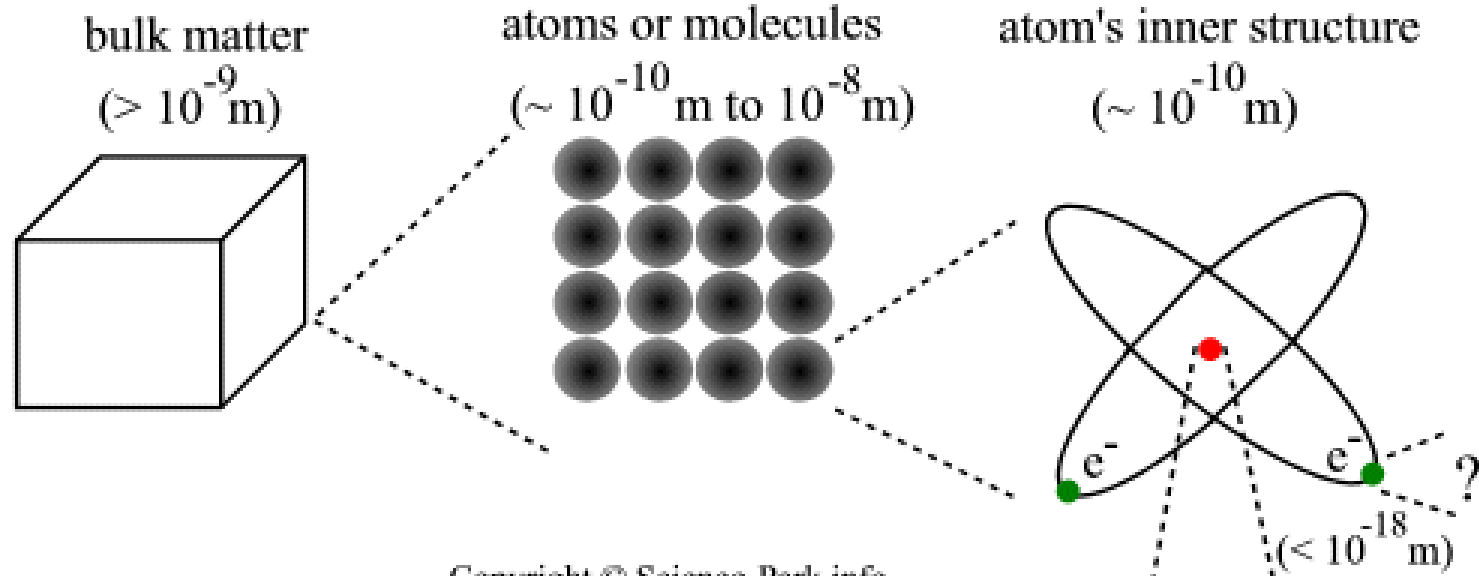


- ⊙ Joule (J) come unità di misura dell'energia ($\text{kg m}^2 \text{s}^{-2}$):
 - Una massa di 100 g ad 1 m da terra ha una energia potenziale di circa 1 J
- ⊙ In fisica delle particelle al suo posto si usa una unità più comoda chiamata elettronvolt (eV)
- ⊙ energia cinetica acquistata da un singolo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

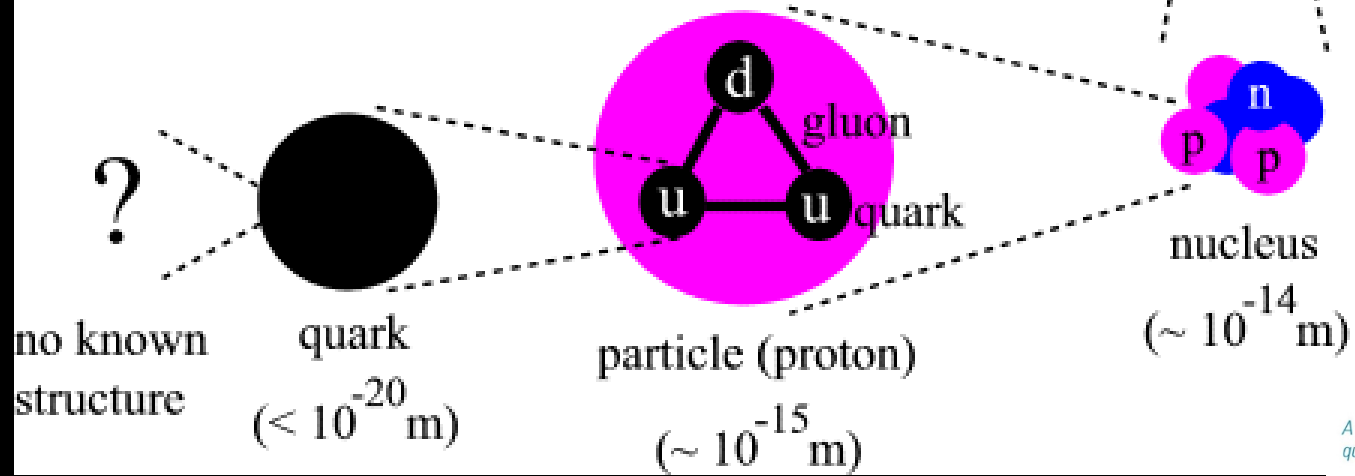
ATLAS

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



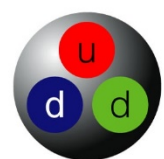
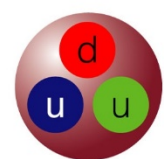


Copyright © Science-Park.info



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).

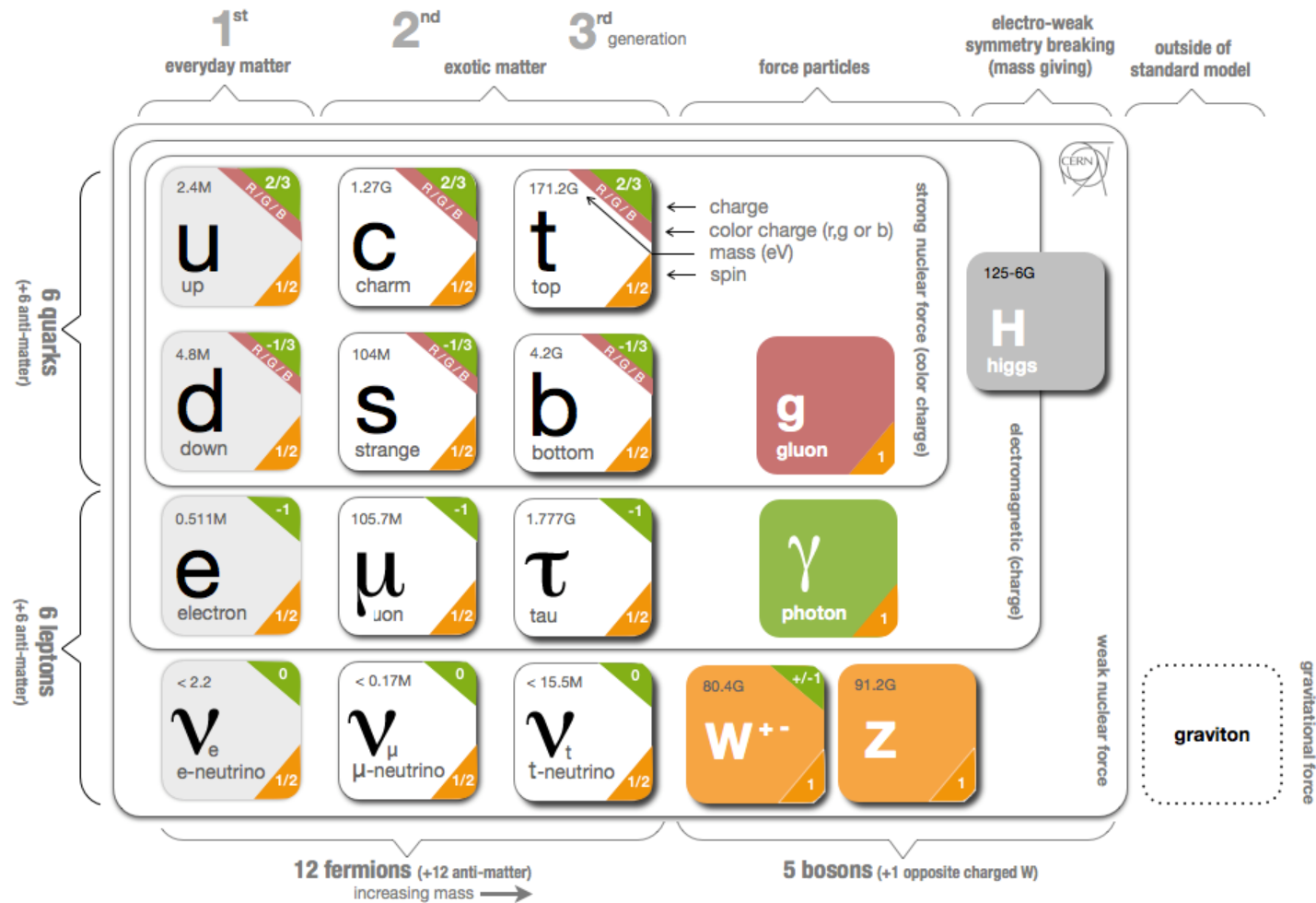


Total charge:
 $+2/3 + 2/3 - 1/3 = +1$

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

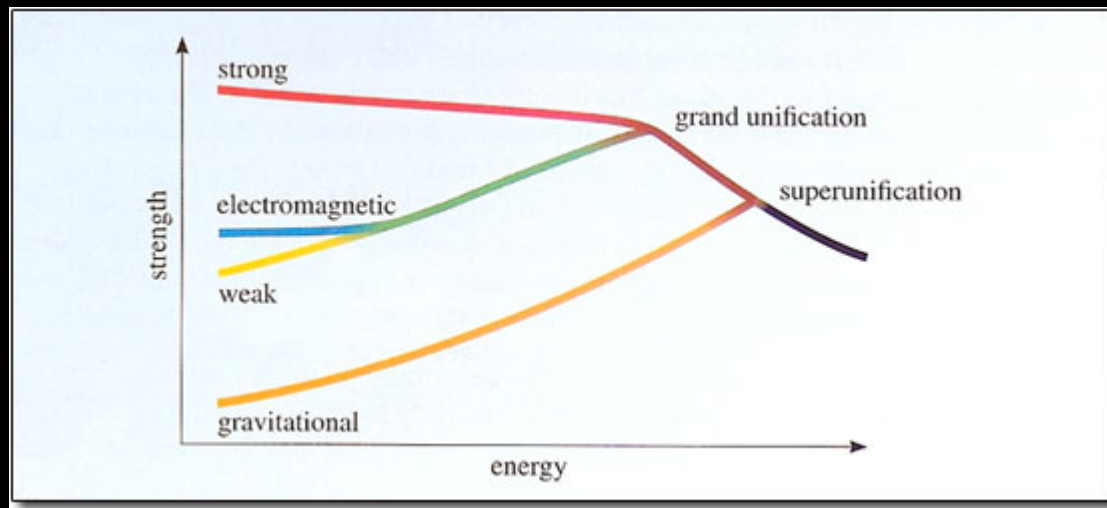
Protone e neutrone ->

Il Modello Standard

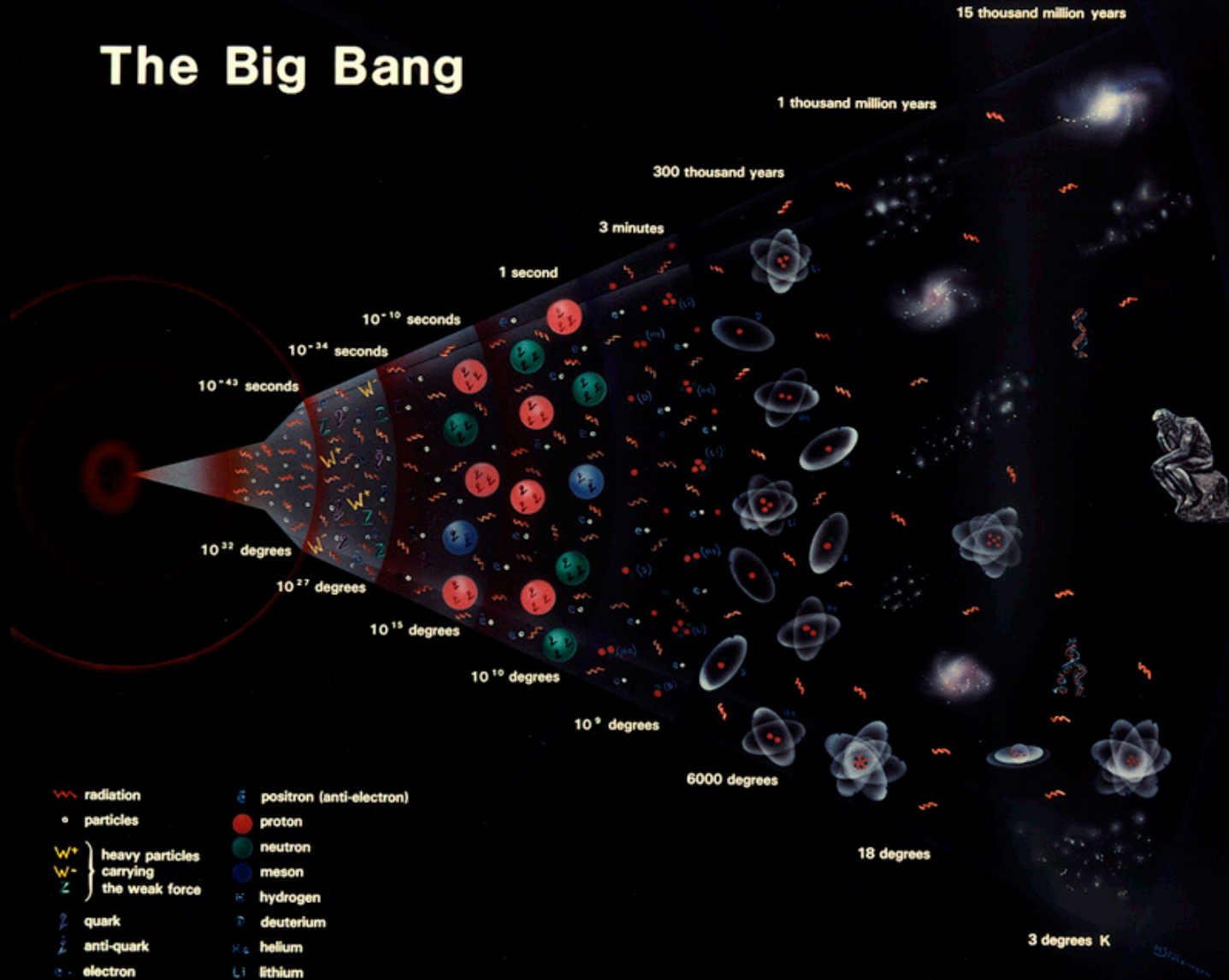


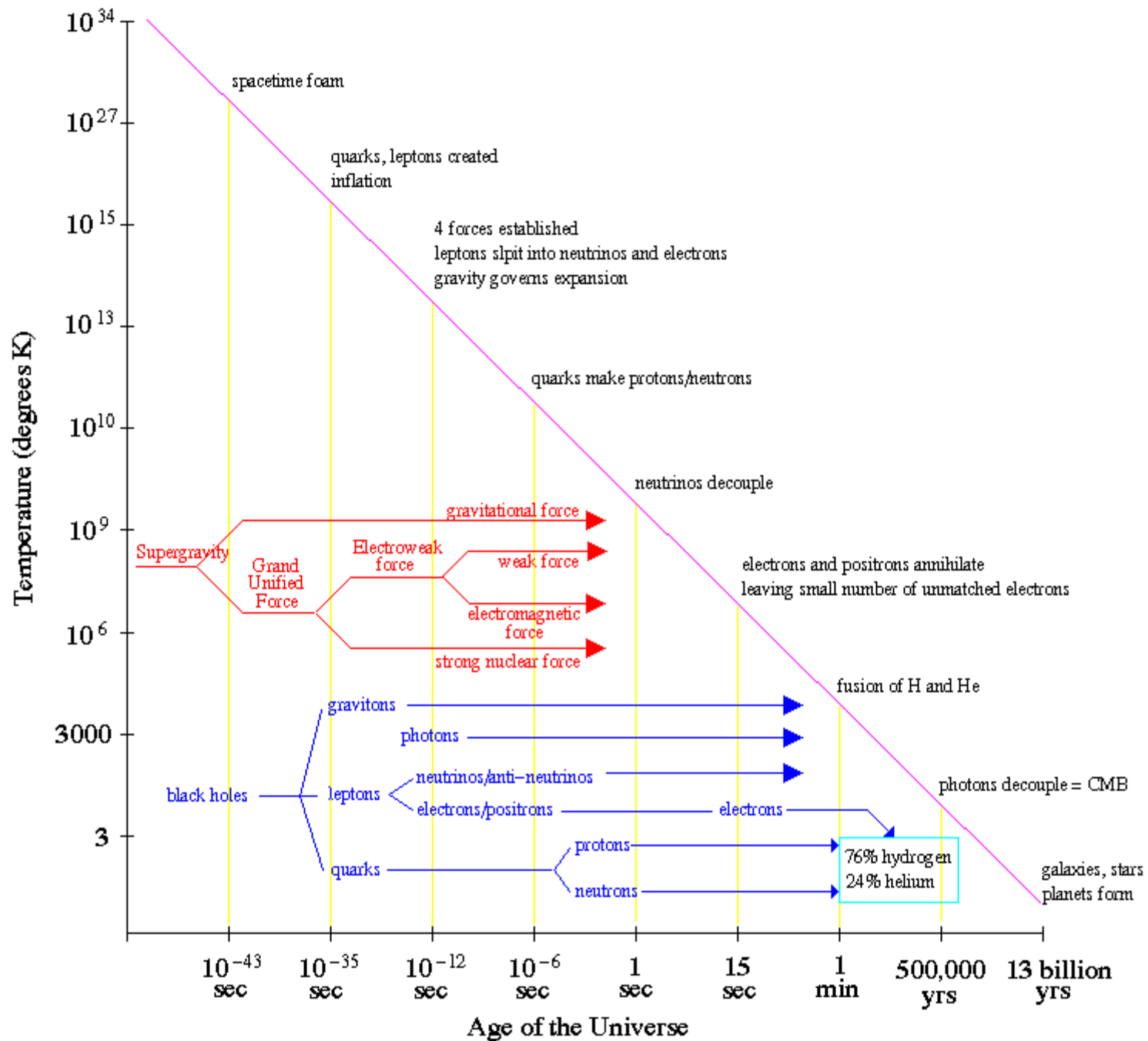
PROPERTIES OF THE INTERACTIONS

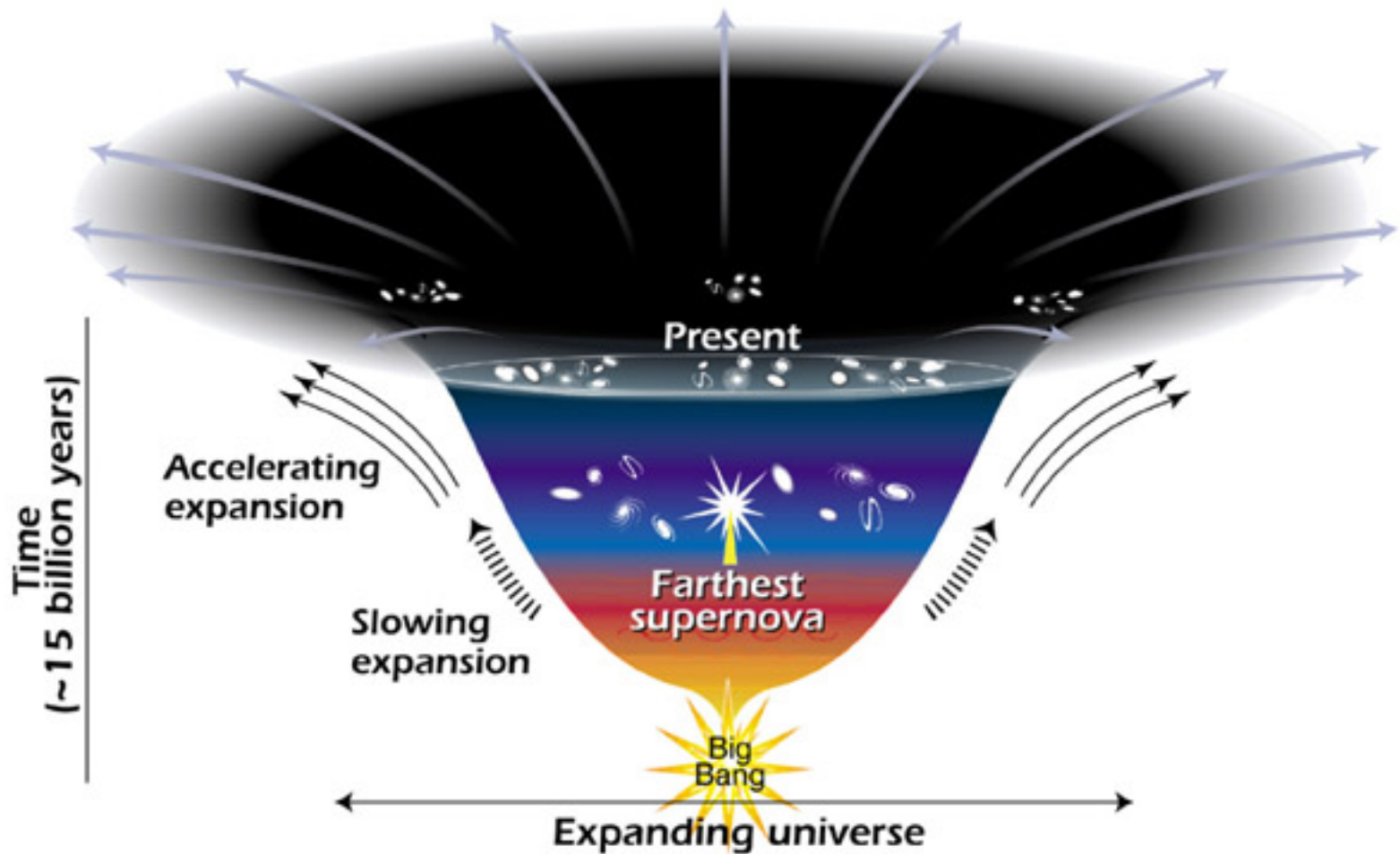
Property \ Interaction	Gravitational	Weak	Electromagnetic	Strong	
		(Electroweak)		Fundamental	Residual
Acts on:	Mass – Energy	Flavor	Electric Charge	Color Charge	See Residual Strong Interaction Note
Particles experiencing:	All	Quarks, Leptons	Electrically charged	Quarks, Gluons	Hadrons
Particles mediating:	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 to quarks
for two protons in nucleus	10^{-41}	10^{-4}	1	60	20
	10^{-36}	10^{-7}	1	Not applicable to hadrons	



The Big Bang

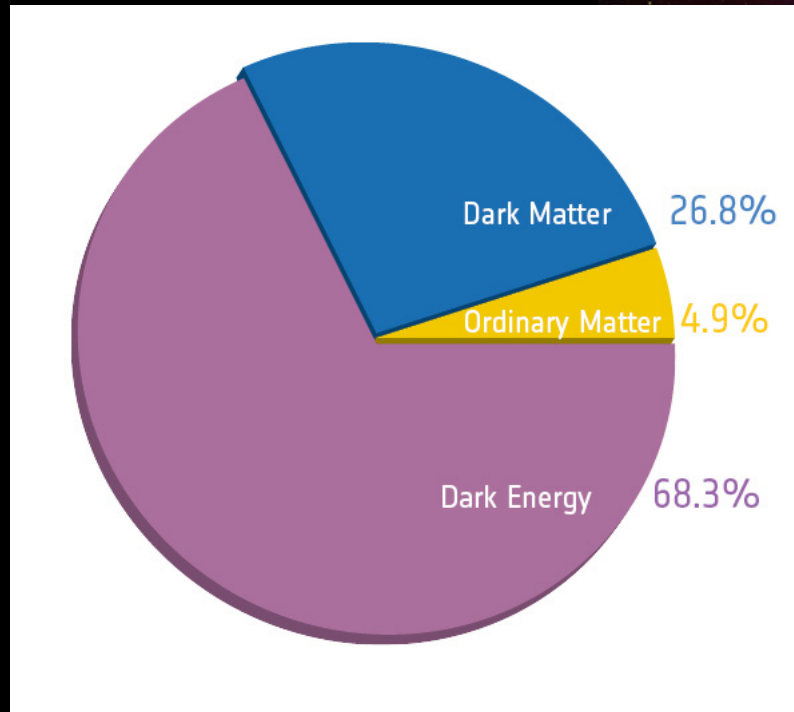






This diagram reveals changes in the rate of expansion since the universe's birth 15 billion years ago. The more shallow the curve, the faster the rate of expansion. The curve changes noticeably about 7.5 billion years ago, when objects in the universe began flying apart at a faster rate. Astronomers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

Materia ed Energia oscura



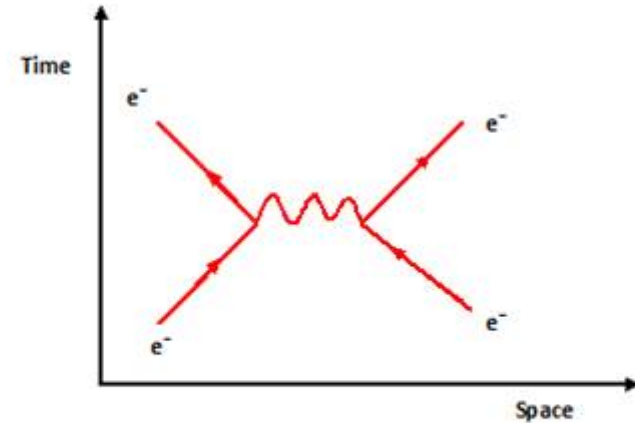
Nelle galassie c'è più materia (blu) di quella che vediamo (rossa):
Materia stimata dalla dinamica delle galassie o dal gravitational lensing

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)

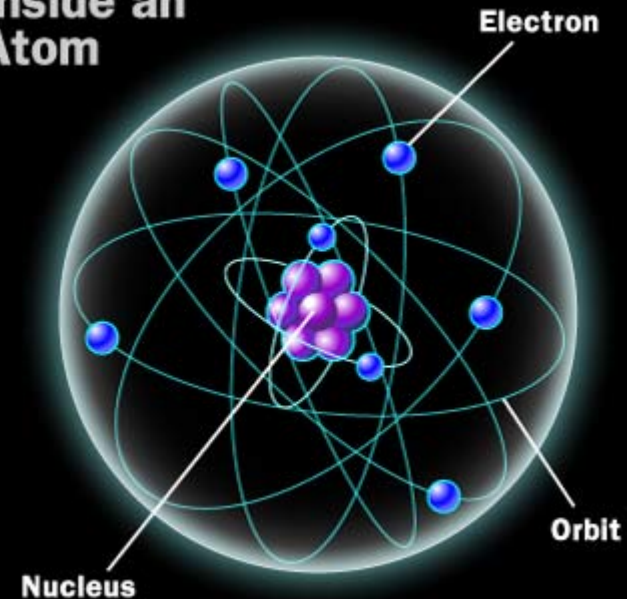
Forza e.m.

- ⦿ 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.

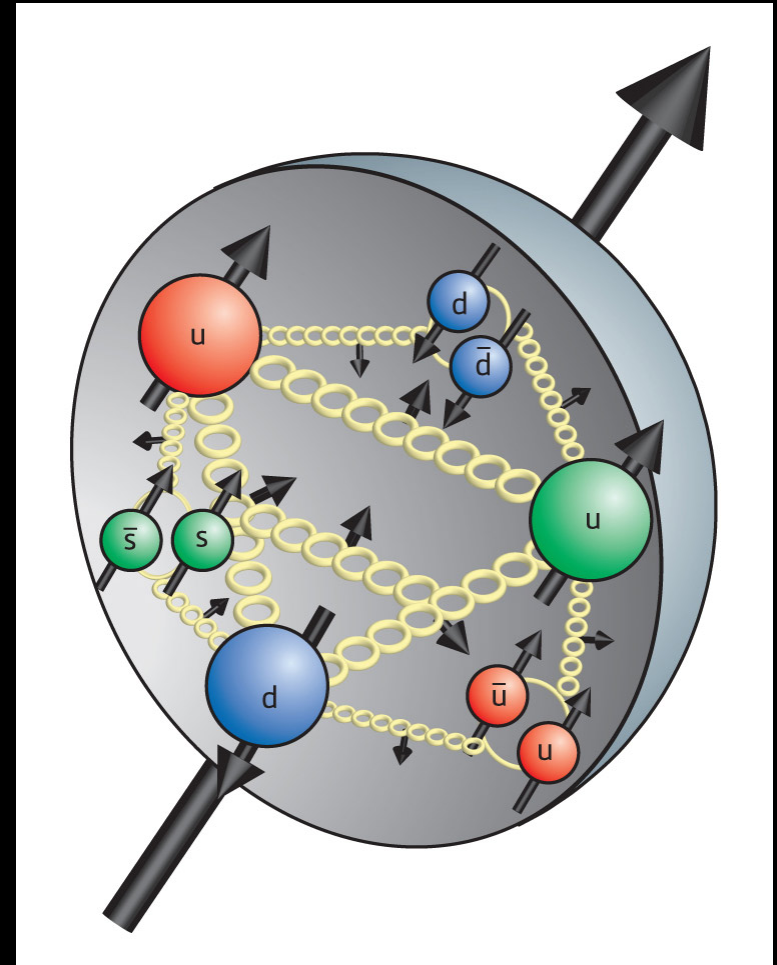
Inside an Atom



©2003 HowStuffWorks

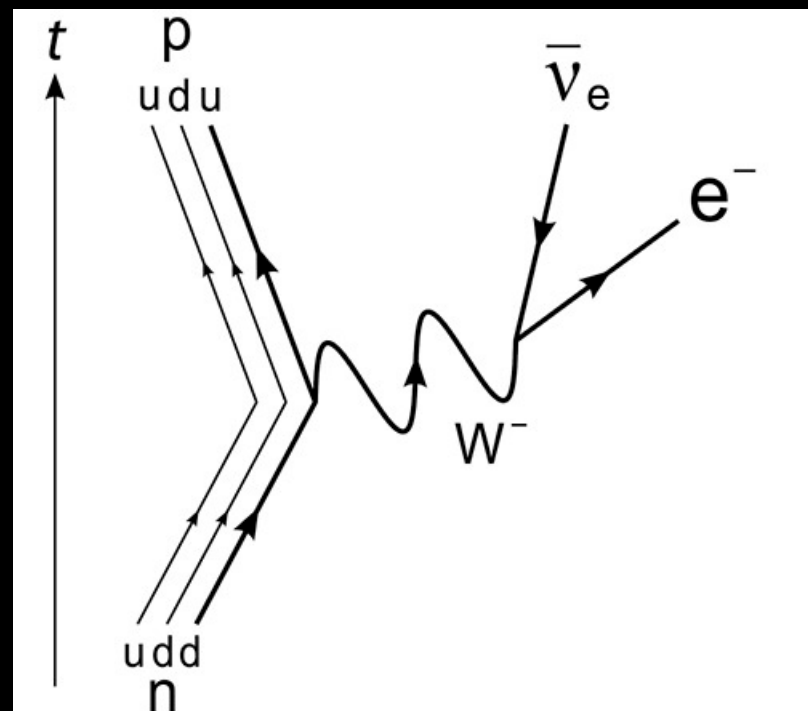
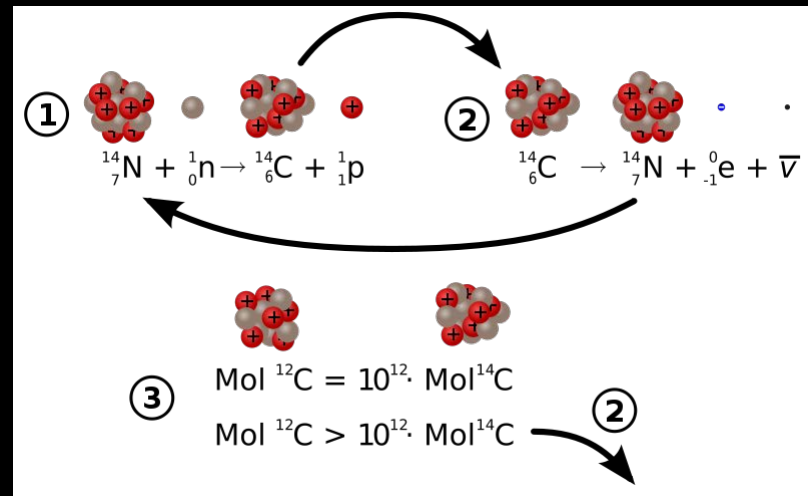
Forza forte

- ⦿ 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

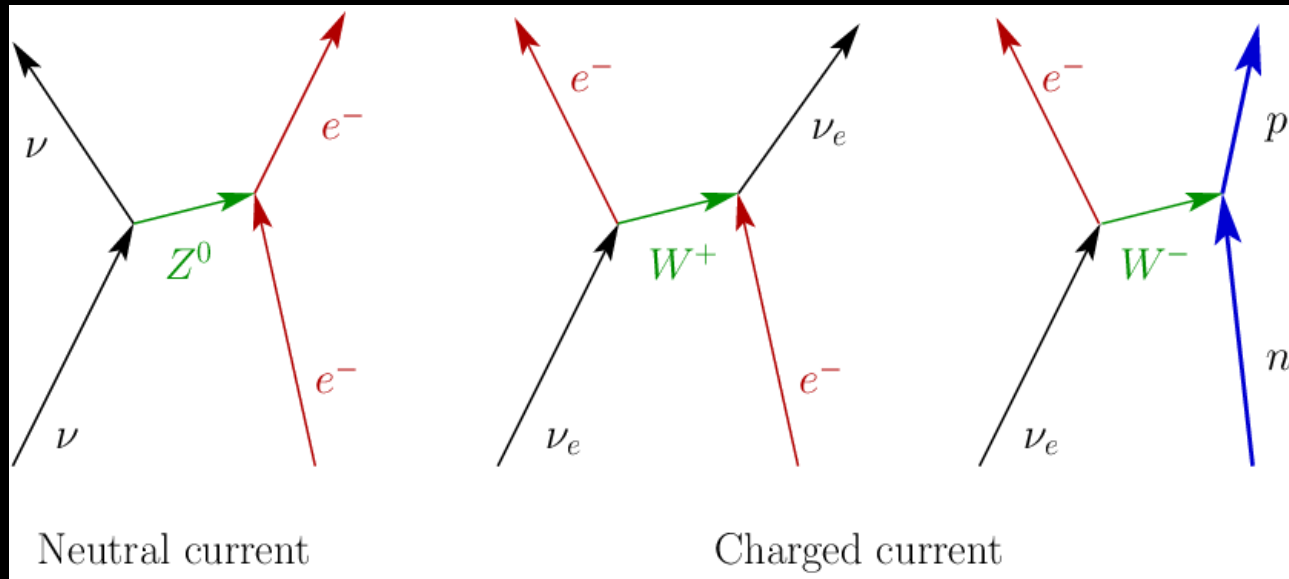


Forza Debole

- 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:

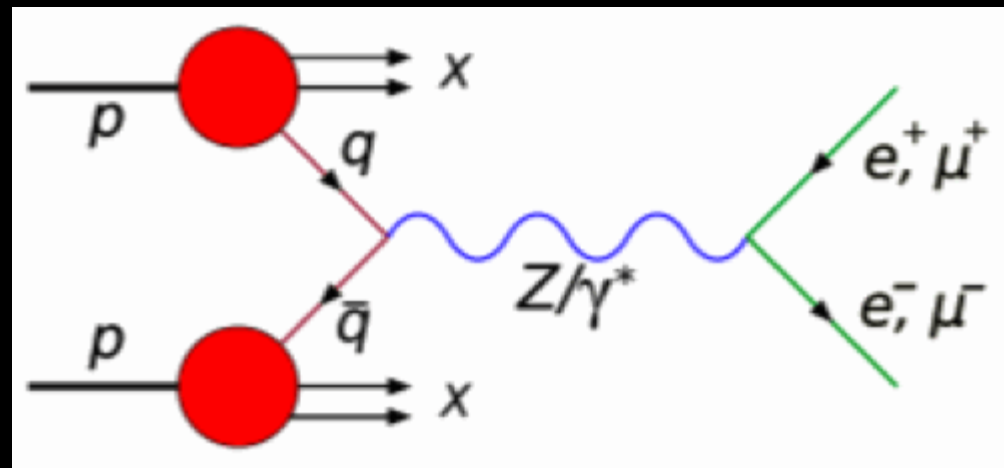
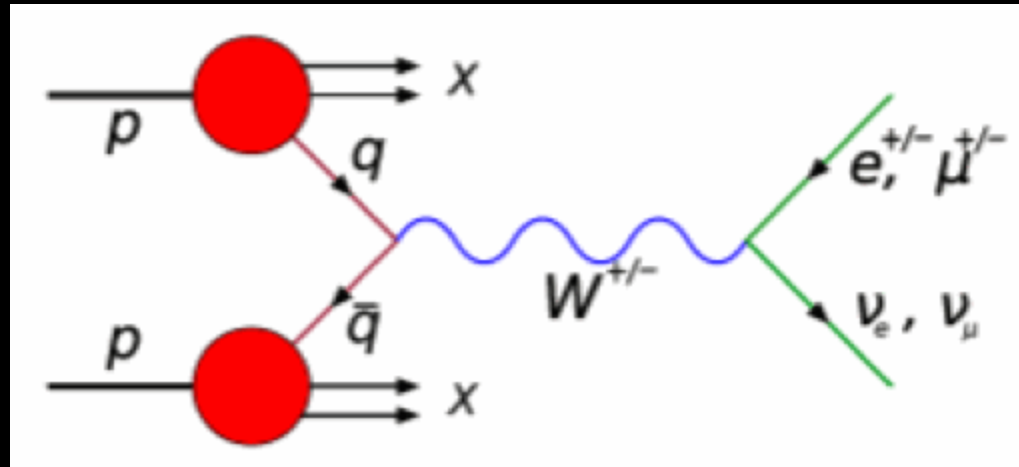
- Nell'interazione con la materia, i neutrini urtano un elettrone trasferendogli energia
- L'elettrone puo' essere accelerato ad energie relativistiche ed emettere radiazione (luce Cherenkov) che puo' essere rivelata da appositi dispositivi

Interazioni deboli

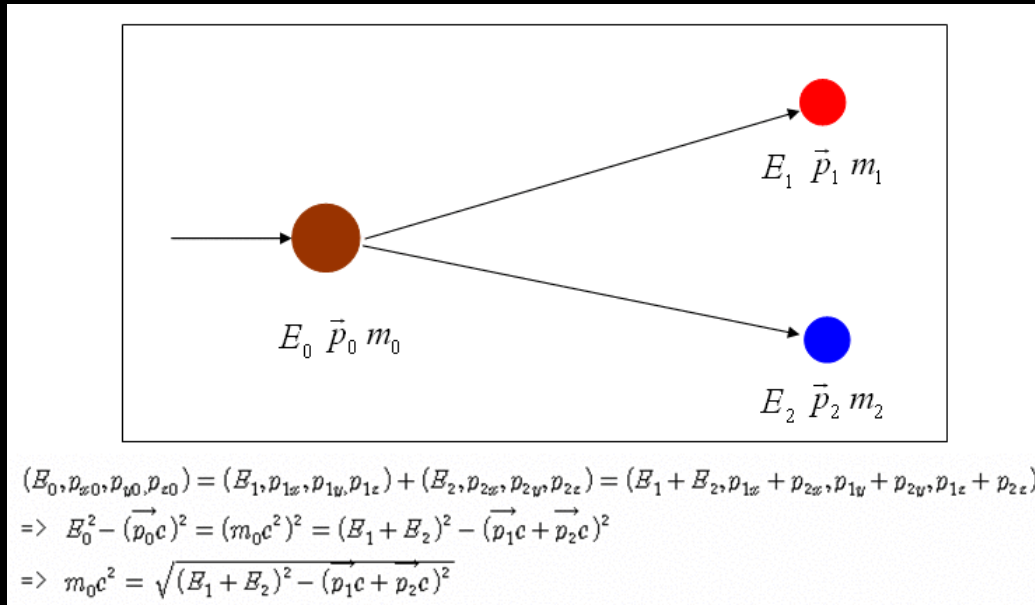
- ◉ Mediate da: W^+ , W^- e Z^0
- ◉ Caratteristiche dell'interazione debole:
- ◉ E' l'unica interazione che puo' cambiare il sapore dei quark (cioe' cambia i quark da un tipo ad un altro)
- ◉ Viola sia la simmetria di parita' P , che la simmetria CP (parita' seguita da coniugazione di carica)
- ◉ E' 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

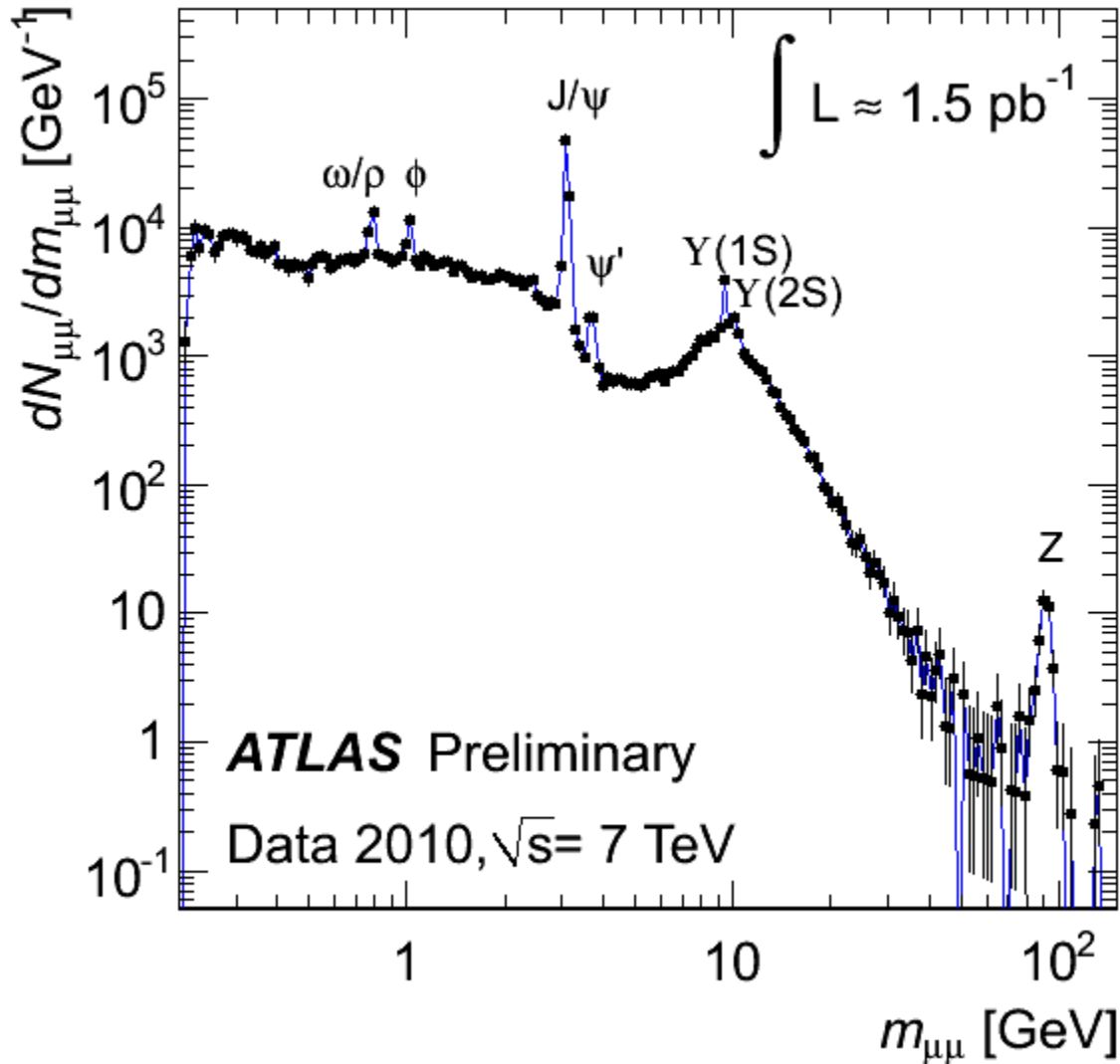


Massa invariante



- ⊙ Dai vettori 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



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

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

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

J/ψ $3096.916 \pm 0.011 \text{ MeV}$

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

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

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

Z

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	$(67.60 \pm 0.27) \%$

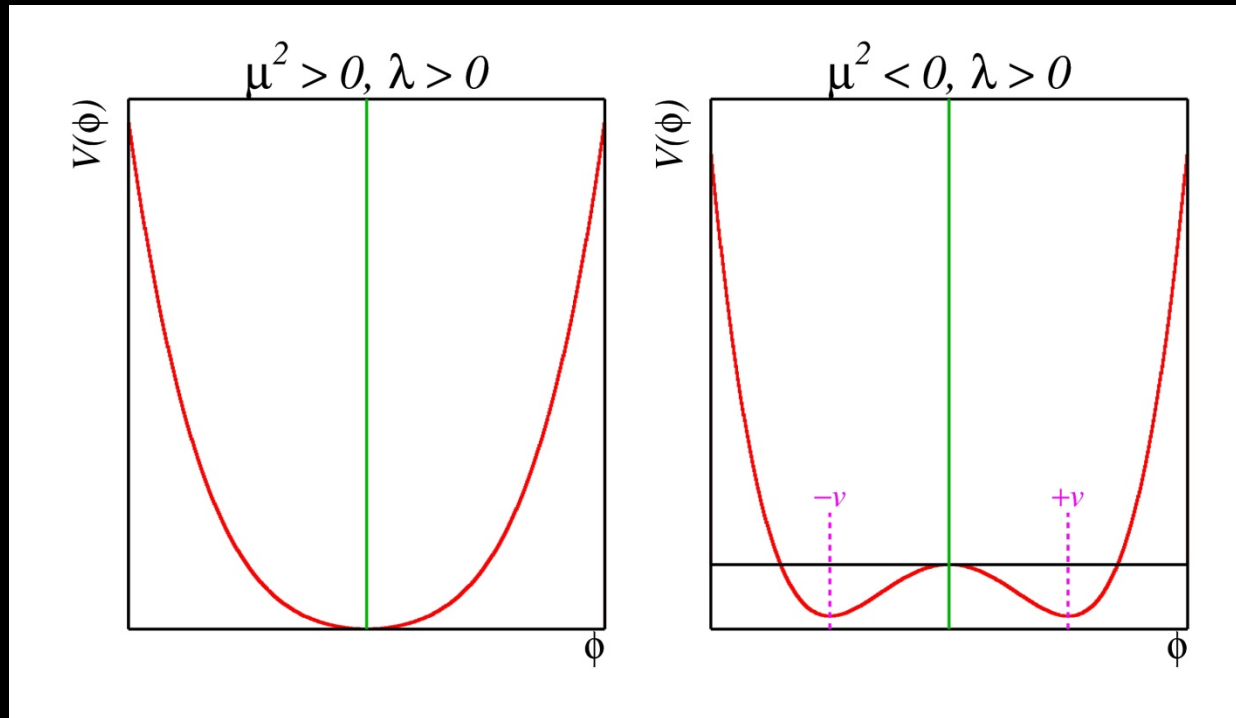
Z DECAY MODES

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] $(4.2 \begin{smallmatrix} +0.9 \\ -0.8 \end{smallmatrix}) \times 10^{-6}$	
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:

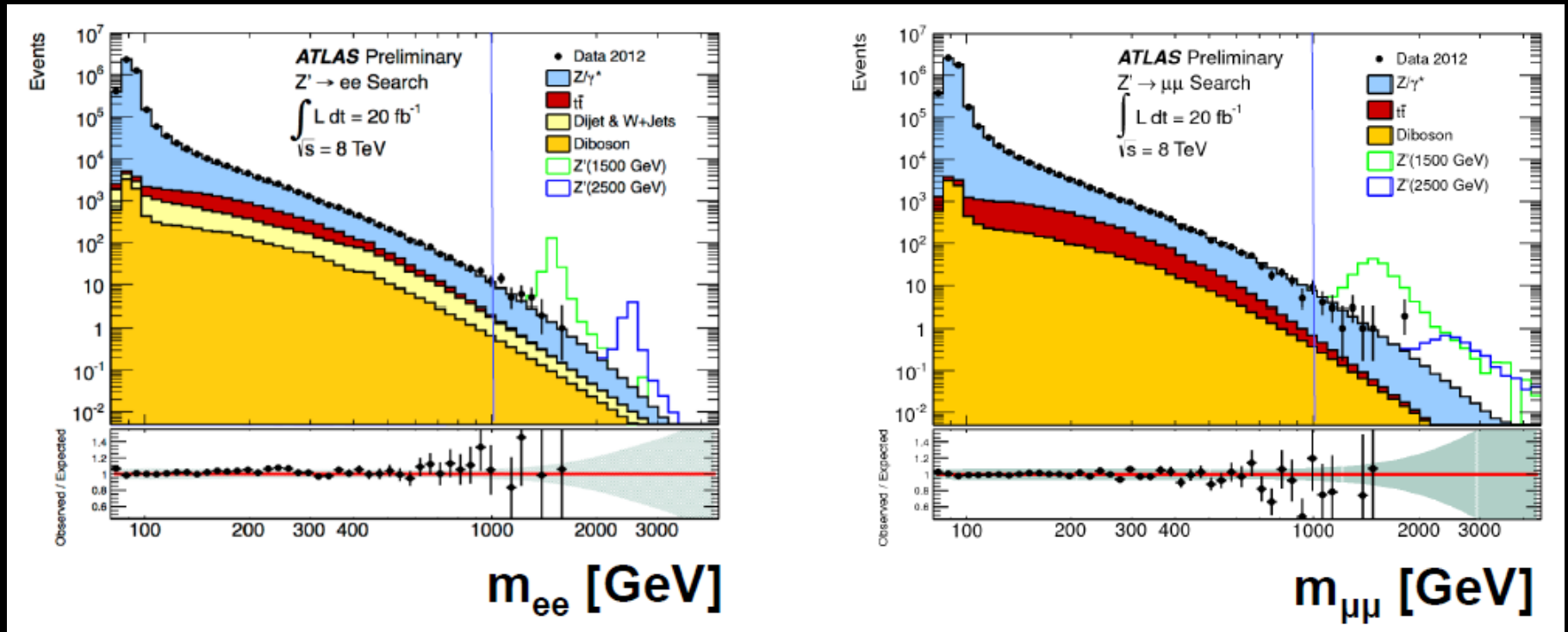
- Ogni particella “ORDINARIA” e' accompagnata da una particella partner SUPERSIMMETRICA
- Nuova simmetria che lega bosoni (spin intero) a fermioni (spin $1/2$)
- Ogni particella di un gruppo ha un partner (superpartner) dell'altro gruppo
- Perche' la materia rimanga stabile si devono porre restrizioni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

