



I grandi esperimenti di fisica delle alte energie

Claudia Cecchi
Università di Perugia e
INFN (Istituto Nazionale di Fisica Nucleare)

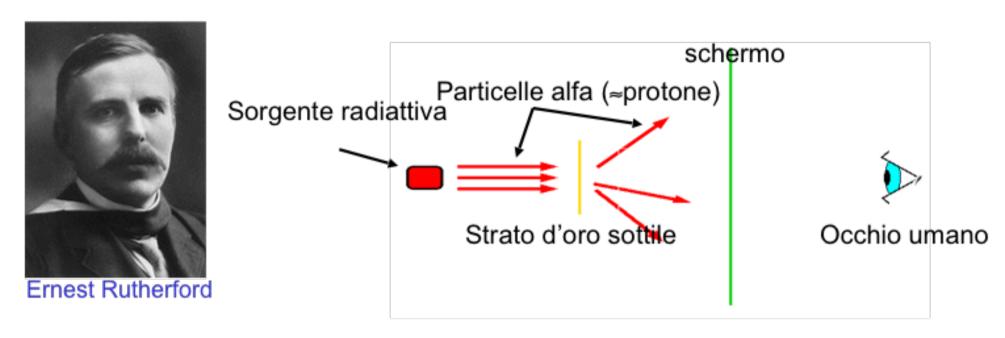
26/01/2017



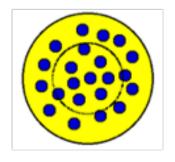
Il primo esperimento di fisica delle particelle

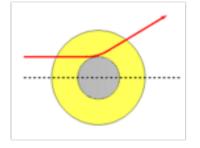


1909 - 13 Esperimento di Rutherford. Scoperta del nucleo atomico



- A quei tempi si pensava che l'atomo fosse fatto di cariche positive e negative distribuite su tutto l'atomo
- Si aspettava di vedere particelle alfa andare sempre in avanti
- Invece ... alcuni casi FORTI DEFLESSIONI







Esperimento di Rutherford: Teoria Atomica

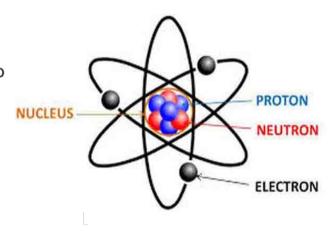


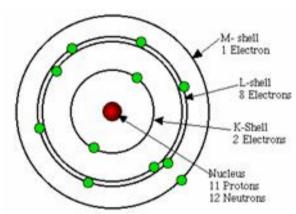
Osservazione di Rutherford:

In alcuni casi FORTI DEFLESSIONI all'indietro



Un atomo consiste di un nucleo carico positivamente (protoni) circondato da elettroni negativi





Raggio nucleo $\approx 10^{-13}$ cm = 0.000000000001 cm Raggio atomo $\approx 10^{-8}$ cm

The Bohr Picture of the Sodium (Na 11) Atom

Rutherford: modello PLANETARIO dell'atomo (tutta la massa concentrata nel nucleo, positivo; elettroni ruotano attorno):

in contraddizione con le leggi della FISICA CLASSICA (emissione di radiazione elettromagnetica)

- → stabilità dell'atomo spiegata dalla MECCANICA QUANTISTICA
- → Atomo di Bohr ORBITE QUANTIZZATE

DESCRIZIONE PROBABILISTICA DELLA MATERIA





Meccanica quantistica

Teoria che descrive la materia, la radiazione e la loro interazione.

Descrive la radiazione e la materia sia come fenomeno ONDULATORIO che come entità PARTICELLARE

PRINCIPIO DI INDETERMINAZIONE DI HEISENBERG:

Meccanica classica → possibile conoscere

POSIZIONE

VELOCITA'

di una particella con precisione arbitraria \rightarrow ad ogni istante determinano un punto nella TRAIETTORIA percorsa.

Quando si misura la posizione della particella, non si modifica in alcun modo la sua velocità.

Due misure immediatamente successive della posizione permettono di determinare approssimativamente la velocità della particella.



Principio di indeterminazione di Heisenberg



Heisenberg 1927 → questa misura classica non è possibile.

Meccanica quantistica, alcune coppie di quantità fisiche, come velocità e posizione, non possono essere misurate nello stesso momento entrambe con precisione arbitraria.

Tanto migliore è la precisione della misura di una delle due grandezze, tanto è peggiore la precisione ottenibile nella misura dell'altra. In altri termini, misurare la posizione di una particella provoca una perturbazione impossibile da prevedere della sua velocità e viceversa.

 $(\Delta p)(\Delta x) \ge h/4\pi$ p = quantità di moto p = m vIl limite inferiore del prodotto delle incertezze è quindi proporzionale alla costante di Planck h.

$$(\Delta E)(\Delta t) \ge \hbar/2$$



Big Bang



Modello cosmologico basato sull'idea che l'Universo iniziò a espandersi a velocità elevatissima in un tempo finito nel passato a partire da una condizione di curvatura, temperatura e densità estreme e che questo processo continui tuttora.

14 miliardi di anni fa

Modello predominante nella comunità scientifica:

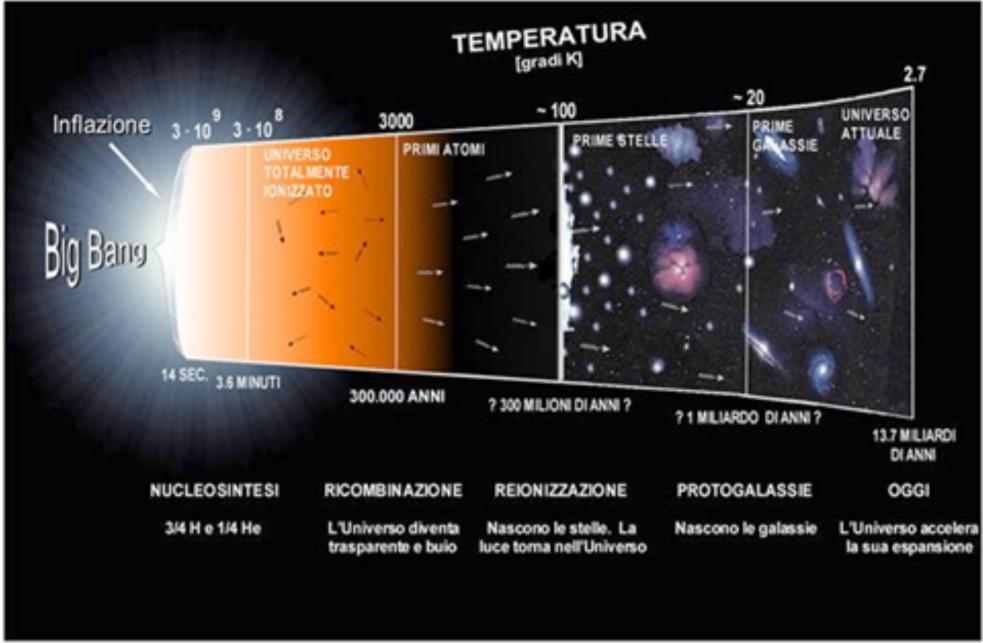
- Abbondanza cosmica elementi leggeri (idrogeno, elio) in accordo con i valori previsti dai processi di nucleosintesi
- Radiazione cosmica di fondo spettro di corpo nero

LIMITI della TEORIA: teorie fisiche non sono adeguate a descrivere la SINGOLARITA' del momento iniziale (temperatura e densità infinita e volume nullo)

Teoria non adeguata a descrivere la condizione iniziale, ma fornisce un'ottima descrizione dell'evoluzione dell'universo da un determinato momento in poi. Sul fronte sperimentale, negli ACCELERATORI DI PARTICELLE si studia il comportamento della MATERIA e ENERGIA in condizioni estreme, vicine a quelle in cui si sarebbe trovato l'universo durante le prime fasi del Big Bang



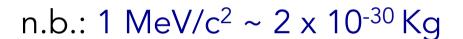




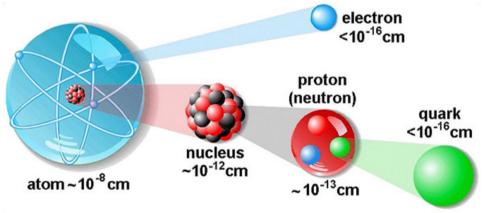


Dagli atomi agli elementi



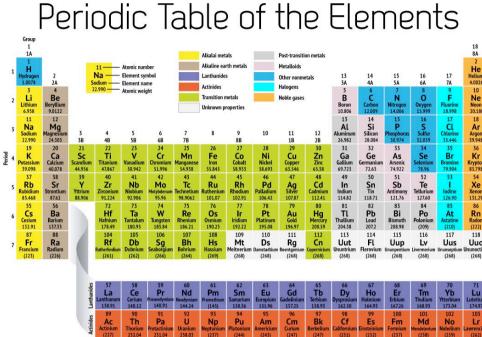


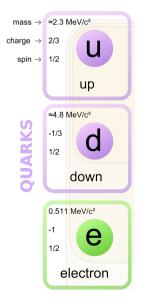
electron mass: 0.511 MeV/c²



proton mass: 938 MeV/c²

u-quark mass: 2.3 MeV/c²



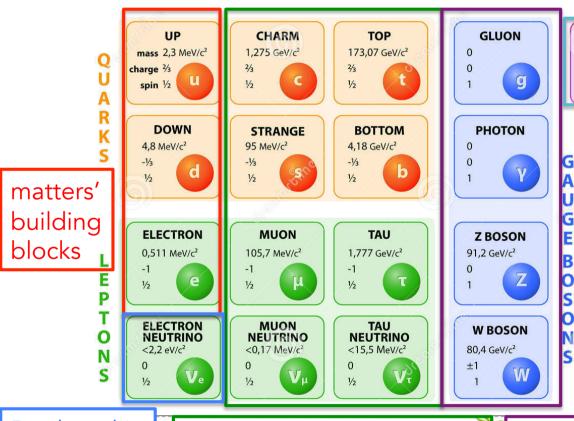




Le particelle elementari: le basi fondamentali della materia



STANDARD MODEL OF ELEMENTARY PARTICLES



added
"by
hand"
to explain
mass

La materia è formata dai "fermioni" che acquisiscono massa attraverso il "meccanismo di Higgs"

4 forze/interazioni fondamentali: esse sono "mediate" dai "bosoni vettori" (bosoni di guge) che veicolano l'interazione.

Produced in nuclear β decay

I from mactiwo more copies of matter particles

26/01/2017

responsible for the 4 fundamental interaction

HIGGS BOSON

126 GeV/c2





Le interazioni fondamentali

- 4 interazioni fondamentali (quelle che comunemente chiamiamo forze).
- Maggiore e' la distanza raggiungibile dall'interazione, minore e' la massa:
- se la 'palla' e' molto leggera, la possiamo scambiare anche a grandi distanze
 Fotone massa ZERO Interazione Elettromagnetica fino a distanza infinite

Gravitazionale

Elettromagnetica

Nucleare Debole

Nucleare Forte



Moto dei pianeti

Elettricità, onde elettromagnetiche, radio, microonde, telefonini...

Funzionamento del sole e delle stelle

Legame dei quark dentro i nuclei degli atomi



Come si osserva la materia?



riusciamo a vedere un oggetto perché la luce è una onda Lunghezza d'onda $\lambda \approx 10^{-6} \, \text{m}$ = 0,000001 m Tipo di radiazione Radio Microonde Infrarosso Raggi X Raggi Gamma 10^{-5} 10-2 0.5×10⁻⁶ 10-8 10-10 10-12 Lunghezza d'onda (m) Scala approssimativa della lunghezza d'onda Punta di Esseri umani Farfalle Protozoi Molecole Atomi Nuclei atomici un ago Frequenza (Hz)

> Per vedere oggetti ancora più piccoli? Possiamo usare le particelle...

1012

Particelle $\lambda \approx h/p$ p = Energia

108

 \rightarrow per avere λ piccolo è necessario aumentare l'energia delle particelle.

104

1016

1018

1015

1020

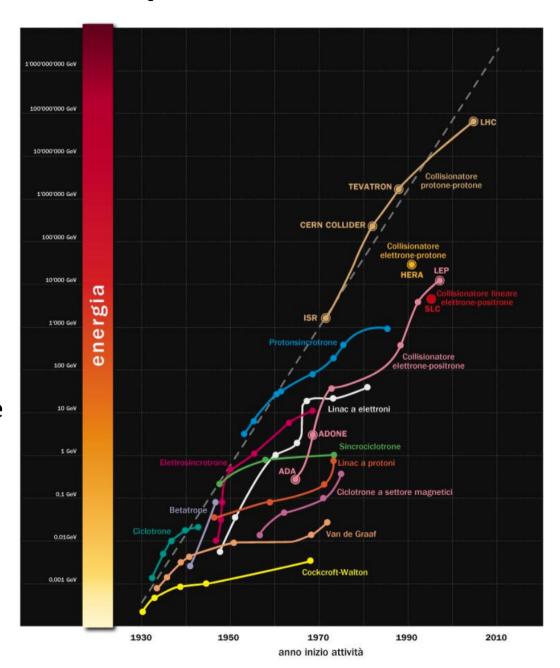


Acceleratori di particelle



E' necessario produrre un 'onda con λ <L, con L dimensione dell'oggetto che vogliamo risolvere.

E' necessario produrre particelle sempre più energetiche per accedere a dimensioni sempre più piccole.





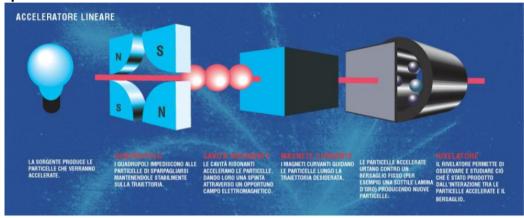
Cosa è un acceleratore di particelle?

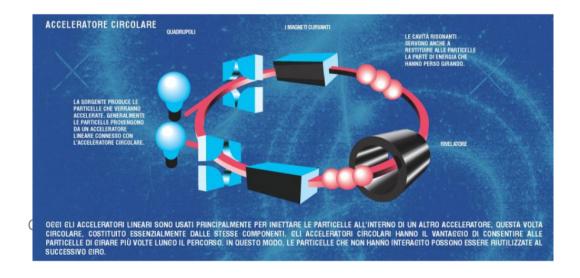


In *fisica sperimentale*, un **acceleratore di particelle** è una macchina utilizzata per produrre fasci di ioni o particelle subatomiche (elettroni, positroni, protoni, antiprotoni, etc.) che abbiano una determinata energia e ben localizzate nello spazio.

- Acceleratori lineari
- Acceleratori circolari

Il loro funzionamento si basa sull'utilizzo di CAMPI ELETTRICI per accelerare le particelle e CAMPI MAGNETICI per deflettere le loro traiettorie.





Le unità di misura degli acceleratori di particelle



Un <u>electron volt</u> è una misura di energia: è l'energia cinetica guadagnata da un elettrone che passa attraverso una differenza di potenziale di un Volt.

Un Volt non è una misura di energia. Un electron Volt è una misura di energia. 1eV è un'energia molto piccola.

$$1 \text{ eV} = 1.602 \text{ x } 10^{-19} \text{ Joule}$$

Unità di misura dell'energia usate negli acceleratori:

$$10^{3} \text{ eV} = 1 \text{ KeV}$$

 $10^{6} \text{ eV} = 1 \text{ MeV}$
 $10^{9} \text{ eV} = 1 \text{ GeV}$
 $10^{12} \text{ eV} = 1 \text{ TeV}$

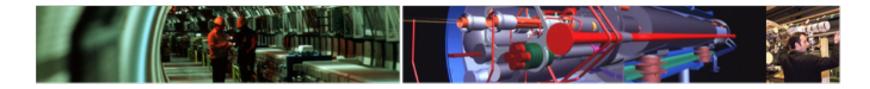
C. Cecchi



Andiamo indietro nel tempo



 Al CERN studiamo le reazioni fondamentali avvenute fra un centesimo di miliardesimo di secondo e 3 minuti dopo il Big Bang



- Il microscopio più avanzato:
 - Negli acceleratori di particelle, facciamo collidere frontalmente fasci di particelle ad energie sufficienti a ricreare quello che avveniva immediatamente dopo il Big Bang
 - Una volta prodotte le particelle fondamentali, possiamo studiarne il comportamento per capire perchè l'Universo è come lo conosciamo.





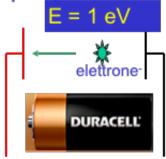


LHC e il Big Bang

LHC e il Big Bang

➤Scopo dell'esercizio

- Far scontrare protoni con energia di 7+7 TeV e ricreare in tal modo le condizioni esistenti una minuscola frazione di secondo dopo il Big Bang
- Cosa c'e' di impressionante? 1 TeV e' l'energia di una zanzara in volo!
- Ma a LHC concentriamo questa energia in uno spazio che e' un milione di milioni di volte piu' piccolo del corpo di una zanzara..









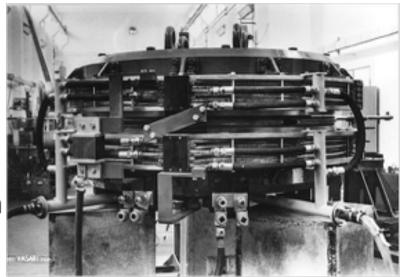
- Ricostruire quello che accadde immediatamente dopo il Big Bang grazie a 4 giganteschi apparati sperimentali situati attorno ai punti di collisione
 - I nostri occhi elettronici





The Large Hadron Collider (LHC)

- Il Large Hadron Collider rappresenta l'ultima tappa di una storia iniziata in Italia (a Frascati) quando, nel 1961, entrò in funzione il primo anello di accumulazione per elettroni AdA
- La ricerca dei costituenti ultimi della materia ha richiesto, nei decenni successivi, lo sviluppo di acceleratori sempre più grandi e potenti
- Vogliamo indagare la natura piu' intima della materia, i costituenti fondamentali, le origini dell'Universo...



27 Km di circonferenza al confine tra Svizzera e Francia, accelera protoni che si scontrano in 4 diversi punti di interazione in cui sono collocati i 4 esperimenti ATLAS – CMS – LHCB – ALICE che rivelano i prodotti delle interazioni protone-protone

Luglio 2012 ATLAS e CMS hanno annunciato la scoperta di una nuova particella: il bosone di Higgs

C. Cecchi

C. Cecchi





Un breve passo indietro....

Conosciamo i costituenti fondamentali della materia

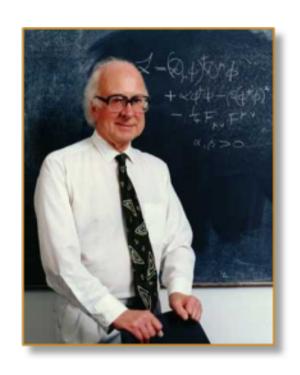
Ma non conosciamo l'orgine delle MASSE ->

LA PARTICELLA DI DIO





Il bosone di Higgs



Idea di Peter Higgs:

Rallentare una particella equivale a farle acquisire una massa: Inerzia, opposizione al movimento

F = M a , F causa, a effetto, M inerzia



Esiste una particella BOSONE DI HIGHES, che riempe tutto lo spazio e che INTERAGENDO con le particelle le fa rallentare, cioe' DA' LORO MASSA

ORIGINE DELLA MASSA:
Particella di DIO...



Come agisce il campo di Higgs









Il meccanismo di Higgs

D. Miller Univ. College London

Se una persona entra in una stanza, se e' famosa tutte le persone vogliono parlarci, lo rallentano

Una particella viene rallentata dal bosone di Higgs e acquista MASSA

Problema: Bosone di Higgs MAI osservato fino al 2012. Principale obiettivo di LHC

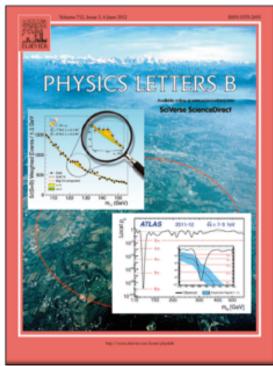


La grande scoperta del bosone d Higgs: 2012









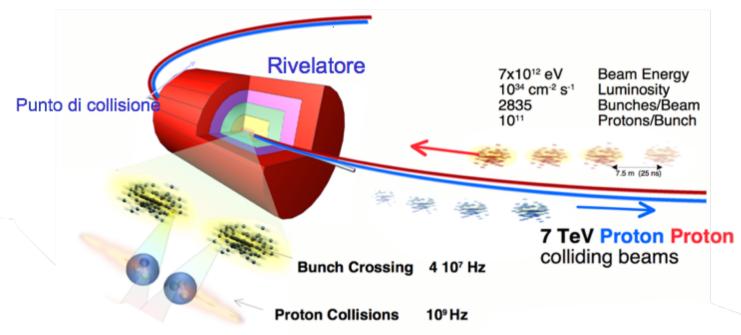






Le sfide a LHC: gli esperimenti

Gli Esperimenti a LHC

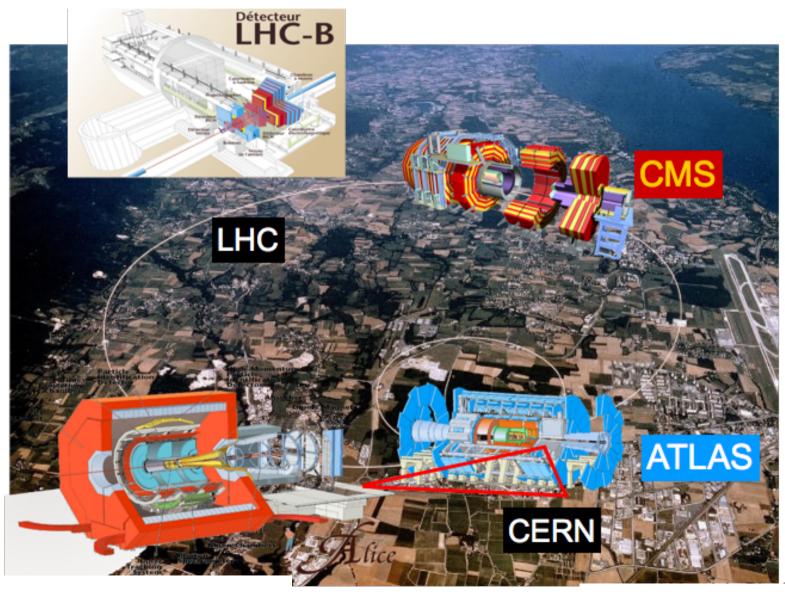


- Gli eventi che cerchiamo sono molto rari:
 - Produrre collisioni con alta frequenza: 40 Milioni di urti al secondo
 - Presa dati di 10 anni











CMS (Compact Muon Solenoid): un esempio di rivelatore di particelle



CMS - Lo strumento scientifico più grande e complesso mai costruito dall'uomo

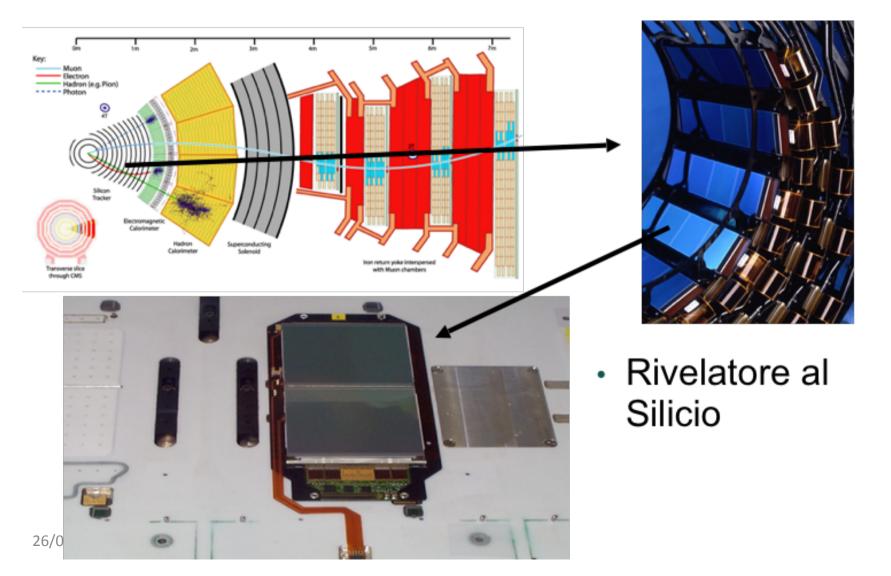




Laboratori Università di Perugia e INFN











Camere bianche a Perugia

Sistema robotico per costruzione moduli

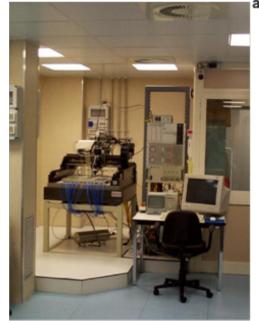












- Sistema robotico di costruzione
- Meccanicamente molto precisi (meno di mezzo capello)



Le frontiere nella ricerca della fisica delle alte energie



- "Energy Frontier": collisori ad alta energia per scoprire nuove particelle e sondare direttamente le proprieta' della natura (vedi LHC col bosone di Higgs!)
- "Intensity Frontier": fasci intensi per scoprire le proprieta' elusive dei neutrini e osservare processi rari che sondano la fisica oltre il modello standard (vedi SUPERKEKB)
- "Cosmic Frontier": natura della materia oscura e della energia oscura rivelata usando particelle di alta energia dallo spazio per sondare l'architettura dell'universo (si usano esperimenti terrestri e basati sullo spazio, non acceleratori terrestri) NON PARLEREMO DI QUESTO OGGI





Nuovo concetto: luminosità

In fisica delle particelle la luminosità indica il numero di eventi per sezione d'urto per unità di tempo.

Acceleratore lineare su bersaglio fisso:

L = $(1/\sigma)$ (dN/dt) σ è la sezione d'urto, N il numero di particelle, t il tempo.

Acceleratore circolare:

L = (N1 N2/A) f

N1 e N2 numero di particelle presenti nei due pacchetti, A è la sezione trasversale media dei fasci e f la frequenza con la quale si urtano due pacchetti.





Luminosità e intenistà

La luminosità istantanea dà una misura del tasso di collisioni che si verificano in un acceleratore di particelle, in base a quanto sono <u>intensi</u> i fasci di particelle circolanti e quanto sono compressi al punto di collisione. Anche se ciò non implica che tutte queste particelle si scontrino, stringendo più particelle in uno spazio ristretto le collisioni sono più probabili.

Il record attuale di luminosità spetta all'acceleratore di particelle giapponese KEKB 2.11×10^{34} cm⁻² s⁻¹

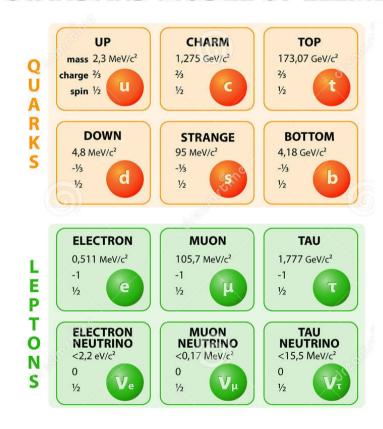
L'upgrade dell'acceleratore, SuperKEKB, punta ad ottenere una luminosità di picco 40 volte maggiore del record: $8 \times 10^{35} \, \text{cm}^{-2} \, \text{s}^{-1}$



Una strada alternativa e complementare LHC: la frontiera dell'intensità



STANDARD MODEL OF ELEMENTARY PARTICLES



Fisica del sapore: nel settore dei leptoni e dei quark

Perché fisica oltre il Modello Standard



Modello Standard: teoria efficace a basse energie, parte di un modello più completo che possa spiegare fenomeni non spiegati dal S.M. > Meccanica newtoniana è una buona approssimazione della teoria della relatività (velocità piccole rispetto alla velocità della luce)

Ricerca di nuove particelle che possano dare indicazioni sulla "nuova fisica" oltre il Modello Standard.

Nuove particelle, che si prevede abbiano masse elevate:

- osservate se prodotte direttamente in acceleratori ad altissima energia come l'LHC
- causare modifiche ai processi di bassa energia (rendendo possibili dei decadimenti fortemente soppressi nel Modello Standard, o alterando certe caratteristiche dei decadimenti)

I sapori cosidetti "pesanti", cioè il charm, il bottom e, per estensione, anche il leptone τ giocano un ruolo centrale in questa ricerca per alcune buone ragioni:

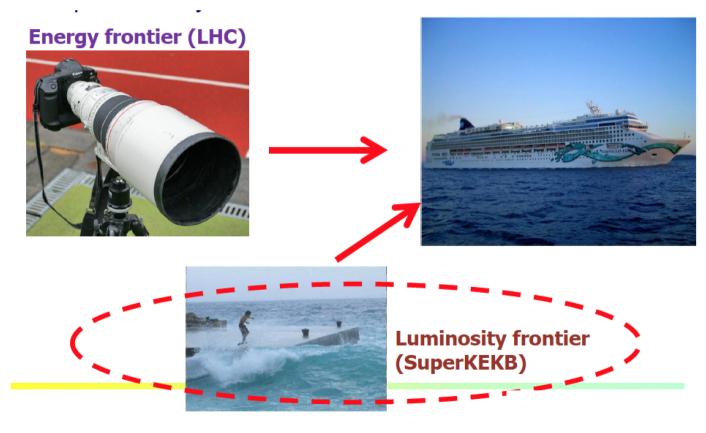
- Possono essere prodotti in acceleratori di energia relativamente bassa
- Offrono una grande ricchezza di decadimenti in cui gli effetti delle particelle di nuova 31 fisica possono essere osservati in molti modi



Misure indirette



Determinare questi nuovi fenomeni dagli effetti che hanno ad energie molto più basse, purché sia sufficiente la precisione di misura, ottenuta attraverso un'elevata intensità delle interazioni ed un grandissimo numero di eventi (frontiera dell'intensità).



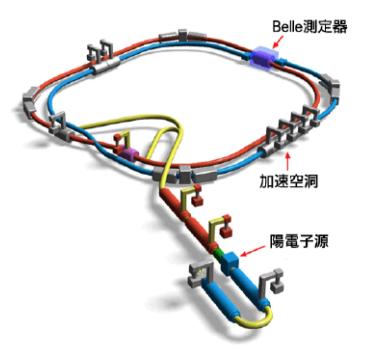
La fisica dei sapori pesanti offre questa possibilità di scoperta indiretta e uno degli strumenti più efficaci per realizzarla sono le **B-Factories** o "fabbriche di B", cioè collisori ed apparati sperimentali ottimizzati per la produzione dei quark B (ma anche degli altri sapori pesanti) ad altissima intensità.

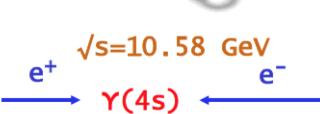


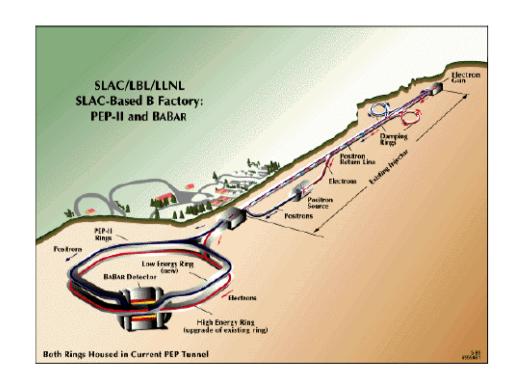
BaBar



B-factories







 $\beta \gamma = 0.42$

Belle
$$p(e^-)=8 \text{ GeV } p(e^+)=3.5 \text{ GeV}$$





Esempio di problemi ancora aperti...

CP symmetry operation: turns a particle into its anti-particle

If particles and anti-particles behave differently – e.g. if there are differences in their decays → violation of CP symmetry.

Since the early Universe contained the same numbers of particles and anti-particles, while it is today composed only of matter (=particles), and no anti-matter, this symmetry is obviously broken!

Very important to understand why and how this symmetry is broken.

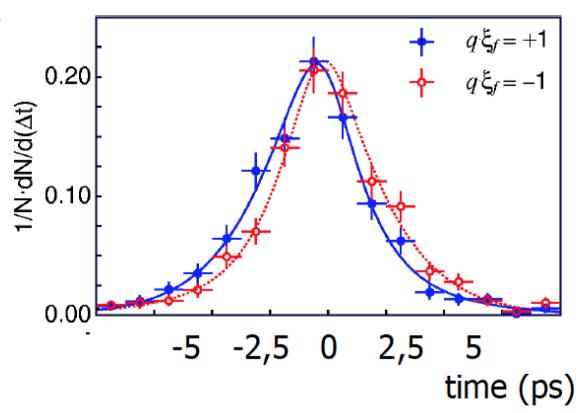


Scoperta della violazione di CP nel sistema dei mesoni B



Blue: time dependence of the anti-B decays

Red: same for B decays



Obvious difference between particles in anti-particles!



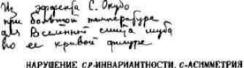


Quindi abbiamo finito....

Are we done? (Didn't the B factories accomplish their mission, recognized by the 2008 Nobel Prize in Physics?)







и барионная асимметрия вселенной

A.A.Cazapee

Теория распириющийся Бсезенкой, предпологающих сверхилотное начальное состояние вещества, по-видимому, исиличает возможность макрескопического разделения вещества и антивещества; поэтому следует

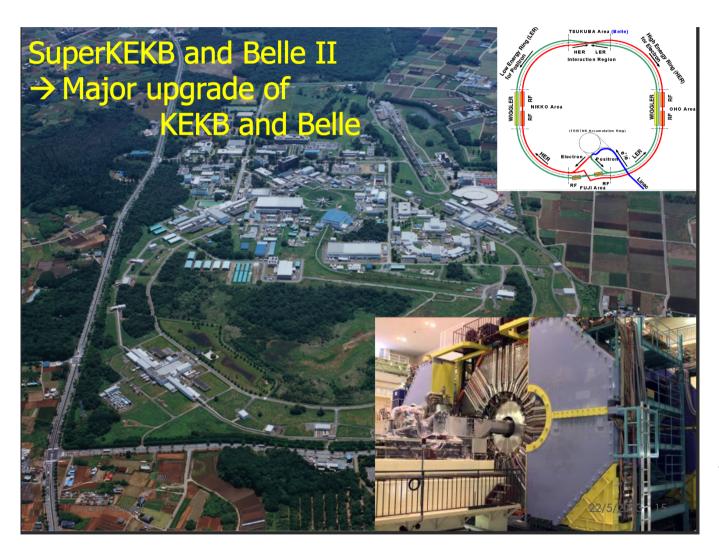
Matter - anti-matter asymmetry of the Universe: KM (Kobayashi-Maskawa) mechanism still short by 10 orders of magnitude !!!



KEKB e SUPERKEKB: la sfida



Giapponese



SuperKEKB utilizza fasci di elettroni e positroni, che viaggiano in anelli separati a energie diverse, rispettivamente di 7 e 4 miliardi di elettronvolt (GeV). Inoltre gli anelli sono più piccoli e misurano circa 3 km l'uno.

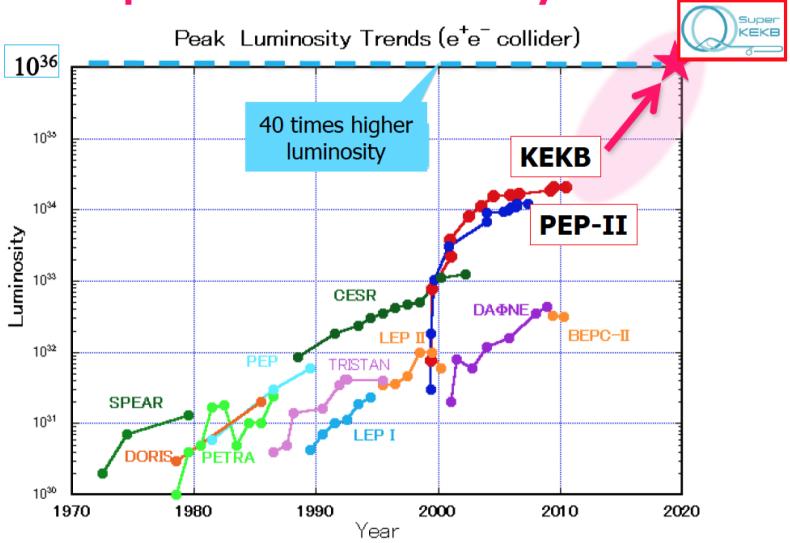
La zona di interazione dei fasci è equipaggiata con un esperimento che si chiama BELLEII



SuperKEKB in Giappone



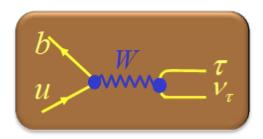
SuperKEKB is the intensity frontier



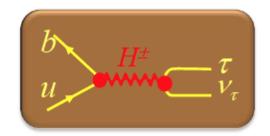


Un esempio di misure di precisione

In addition to the Standard Model Higgs that was discovered at the LHC, in New Physics (e.g., in supersymmetric theories) there could be another 'God particle' - a charged Higgs.



The rare decay $B^- \rightarrow \tau^- \nu_{\tau}$ is in SM mediated by the W boson



In some supersymmetric extension it can also proceed via a charged Higgs

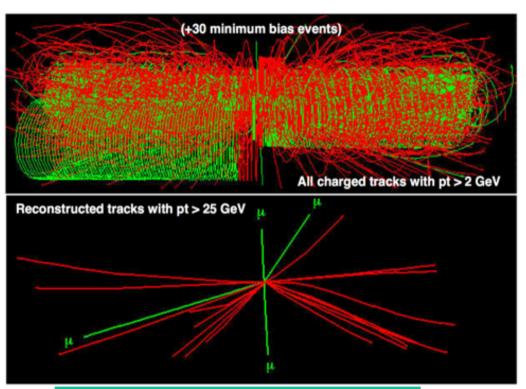
The charged Higgs would influence the decay of a B meson to a tau lepton and its neutrino, and modify the probability for this decay.





La sfida dei calcolatori

L'uso dei calcolatori agli esperimenti LHC



I dati trasmessi in un secondo di attività di LHC equivalgono all' informazione scambiata dalla TELECOM MONDIALE (≈ 100 milioni di telefonate)

Decadimento del bosone di Higgs in 4 elettrone 1 ogni diecimila miliardi di eventi...

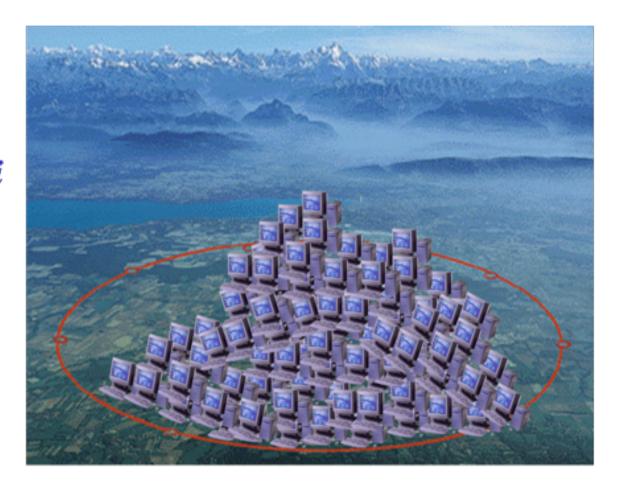




Fornire una montagna di computer



Per la analisi dei risultati di LHC, è necessario l'quivalente di 100000 Personal Computer attuali!



Anche tenendo conto dell' avanzamento della tecnologia e della diminuzione dei costi, il CERN da solo non è in grado di fornire abbastanza risorse informatiche per LHC





La GRID

Collaborazione Mondiale

⇒ computer e capacità di registrare i dati distribuite in tutto il mondo





A cosa serve e quanto ci costa tutto questo?

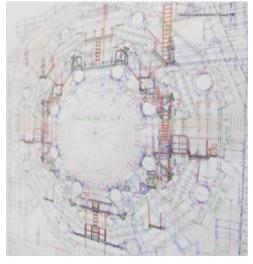




- Come per tutte le grandi imprese, difficile dare numeri precisi sui 20 anni di progettazione e realizzazione
 - Circa 8 miliardi di dollari
 - LHC + esperimenti
 - Quanto le Olimpiadi ad Atene
 - Quanto il telescopio spaziale Hubble
 - 8 volte di piu' di un singolo lancio dello Space Shuttle

Ha un impatto sulla mía vita di tutti i giorni?

- Due tipi di ricerca scientifica
 - La ricerca di base
 - > Come funziona il mondo intorno
 - La ricerca applicata
 - > Come faccio a costruire un oggetto che faccia auesto o auello?
- Al CFRN e a KFK si fa ricerca di base
 - Ma normalmente abbiamo bisogno di tecnologie che non esistono ancora...







Tre motivazioni

- Ricerca di Base: Sapere
- Investimento economico
- Ricadute tecnologiche e applicative



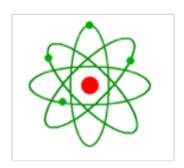
1) Ricerca di base



 Una società civile ha il dovere di investire anche nella ricerca di base: risposte a domande fondamentali sulla origine della Natura, le sue caratteristiche



- E' un po' come per un uomo civile investire nella lettura...
- Se scopriamo il bosone di Higgs abbiamo compreso
 - Perché l'atomo è fatto proprio così
 - Perché le onde elettromagnetiche si propagano a distanze grandissime



Maurizio Biasini





2) Investimento economico

- Motivazione terra terra...
- Per la realizzazione di LHC il governo italiano ha impiegato varie risorse economiche
- Allo stesso tempo, per la costruzione di LHC e dei rivelatori, molte commesse sono state date a industrie italiane
- Per ogni Euro investito in LHC, 1 Euro e mezzo è stato dato a industrie italiane...
- Ottimo investimento
- Impatto SocioEconomico

26/01/2017 C. Cecchi 46



3) Ricadute tecnologiche



La ricerca fondamentale spinge all'innovazione tecnologica

- Direttamente dalla ricerca
 - Risonanza Magnetica Nucleare
 - PET
 - Trattamento dei tumori



Dalla ricerca fondamentale alla vita di ciascuno di noi



Dei 17000 acceleratori esistenti al mondo, 9000 sono usati in medicina.

Fisica delle particelle e innovazione



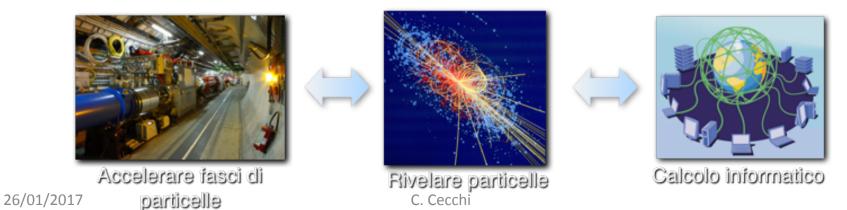




 Interfaccia tra la scienza di base e sviluppi tecnologici strategici



Tecnologie e innovazione







Ricadute tecnologiche: il World Wide Web è nato al CERN



- La necessità di lavorare in grandi collaborazioni tra i fisici delle particelle ha dato un risultato molto importante verso la fine degli anni 80.
- Nel 1989, per facilitare lo scambio di informazioni scientifiche Tim Berners-Lee, un ricercatore del CERN ideò il World Wide Web, sicuramente una delle invenzioni con maggior impatto sociale negli ultimi decenni.

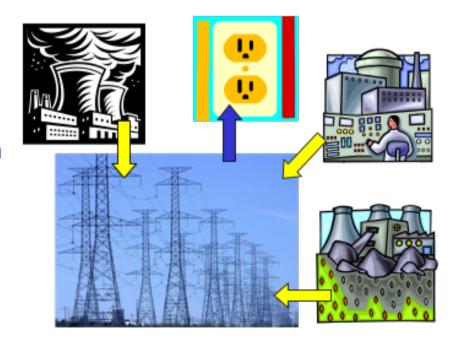






Ricadute Tecnologiche: la GRID (griglia) mondiale di computer

- Impossibile concentrare in UN UNICO POSTO tutti i computer necessari ad analizzare i dati che verranno prodotti ad LHC
- Nuova sfida del CERN nel campo informatico che potrebbe avere sulla società lo stesso impatto avuto con il Web: GRID, la Griglia mondiale, e il progetto LCG (LHC Computing Grid).
- Funziona come per l'energia elettrica.
- Gli utenti della rete elettrica possiedono delle interfacce (prese elettriche) che permettono di utilizzare un servizio senza alcuna conoscenza su dove quel servizio viene reso disponibile. Le centrali elettriche lavorano "in sintonia" e distribuiscono energia.

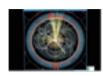






Che fine hanno fatto?

- Lavoro nella ricerca di base
- Insegnamento nella scuola
- Studio delle previsioni atmosferiche
- Inserimento nel corpo tecnico dell'Esercito
- Avviamento di una societa' per sviluppo di semiconduttori
- Attivita' di sviluppo software
- Calcolo distribuito
- · Attivita' nel campo della analisi finanziaria















GRAZIE!!!!

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/