

Alcuni cenni sulle frontiere della ricerca in fisica

La ricerca in fisica

La ricerca fondamentale

La fisica applicata e la tecnologia

American Physical Society:

- Acoustics
- Atomic and Molecular Physics
- Biological Physics
- Cosmology
- Fluid Dynamics
- Interdisciplinary Physics
- Magnetism
- Materials Science
- Metamaterials
- Optics
- Particles and Fields
- Plasma Physics
- Plasmonics
- Quantum Physics
- Soft Matter
- Superfluidity
-
-

Gli argomenti presentati in questo seminario sono una scelta personale che non implica che gli argomenti non presentati non siano interessanti o non siano alla frontiera della ricerca

4

Seminario 1:

Alcuni cenni sulle frontiere della ricerca in fisica

- Le particelle elementari
- L'origine della massa e il bosone di Higgs
- La materia oscura
(una particella sconosciuta che costituisce l'80% della materia dell'Universo ?)
- L'energia oscura
(il 70% della energia dell'Universo e' composta da Energia Oscura, la cui origine e' a noi ignota)
- La nanotecnologia
- La fisica nella medicina

Il primo seminario è tenuto a un livello "popolare" con lo scopo di stimolare la curiosità piuttosto che spiegare.

4

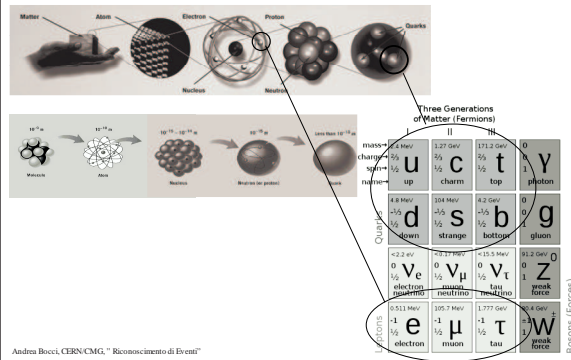
Le particelle elementari

Le particelle elementari sono soggette agli stessi principi fondamentali della fisica che si imparano a scuola:

- $F=ma$
- Causalità (la causa precede l'effetto)
- Conservazione dell'energia (E), quantità di moto (p) e momento angolare (L) (invarianza delle leggi fisiche rispetto a traslazioni spaziali e temporali e rotazioni)
- Principio della relatività speciale (Einstein)
- Meccanica quantistica (dualità onda-particella, principio di indeterminazione, quantizzazione dei livelli energetici, ecc.)

6

La composizione della materia



Le particelle elementari

Particelle del modello standard

Three Generations of Matter (Fermions)				
matter-charge-spin-name	I	II	III	
	2.4 MeV $\frac{2}{3}$ up u	1.27 GeV $\frac{2}{3}$ charm c	3.121 GeV $\frac{2}{3}$ top t	0 $\frac{2}{3}$ photon γ
	8.8 MeV $\frac{1}{3}$ down d	154 MeV $\frac{1}{3}$ strange s	4.2 GeV $\frac{1}{3}$ bottom b	0 $\frac{1}{3}$ gluon g
Quarks	± 0.23 eV $\frac{1}{2}$ electron neutrino ν_e	± 0.17 MeV $\frac{1}{2}$ muon neutrino ν_μ	± 15.5 MeV $\frac{1}{2}$ tau neutrino ν_τ	91.2 GeV $\frac{1}{2}$ Z Z
	0.511 MeV $\frac{1}{2}$ electron e	105.7 MeV $\frac{1}{2}$ muon μ	1.777 GeV $\frac{1}{2}$ tau τ	93.8 GeV $\frac{1}{2}$ neutrino ν
	Leptons			

Lo spin:

- In meccanica quantistica ogni particella possiede un spin.
- Il valore dello spin definisce lo stato quantistico.

È un tipo di momento angolare

spin semi-intero
"fermioni"

spin intero
"bosoni"

Meccanica
quantistica:

celle materia

Particelle forza

più in ogni stato
possibile

8

Le particelle elementari

Leptoni

Particelle "stabili"

Mesoni

[illegible]

Andrea Bocci, CERN/CMG, "Riconoscimento di Eventi

Le particelle elementari

Cosa si studia nella fisica delle particelle elementari

- *I costituenti elementari della materia*
- *Le forze fondamentali che li governano*
- *L'origine, il contenuto e la struttura dell'Universo*

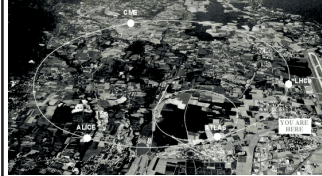
- Esempio di laboratorio: CERN
- Il plasma di quarks e gluoni
(come diventa la materia nucleare a energie e densità elevatissime?)
- L'asimmetria tra materia e antimateria
(dove è finita tutta l'antimateria dell'Universo?)
- La supersimmetria
(forse il Modello Standard è più complicato: c'è un partner supersimmetrico per ogni tipo di particella nota!)
- Le dimensioni dello spazio-tempo
(forse ci sono più di 3 dimensioni spaziali!)

Marco Cribelli, CERN, "Benvenuti al CERN"

10

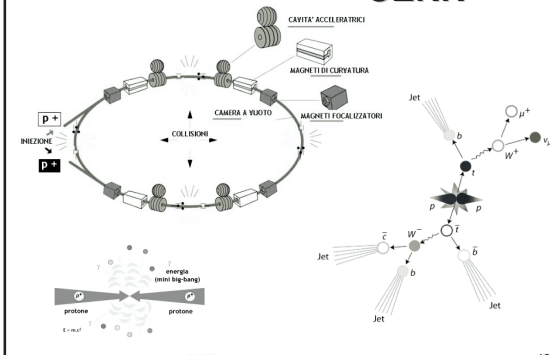
CERN

- 2256 staff
- ~700 altro personale
- ~9500 utenti
- Budget ~1400 milioni di euro



Marco Cribelli, CERN, "Benvenuti al CERN"

CERN



Marco Cribelli, CERN, "Benvenuti al CERN"

12

Le particelle elementari: grandezze fondamentali

Mass:

- Composite particles → dynamical origin, calculable: $M=E/c^2$, $E=T+U$
- Fundamental particles → assigned parameter; origin ???

Charge:

- Which type (electric, weak, strong)?
- Are there other charges?? What is the origin of charge??

Spin (intrinsic angular momentum):

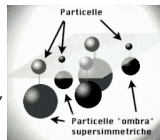
- Integer → bosons, Semiinteger → fermions
- Origin??
- Pauli principle (two identical fermions cannot occupy the same quantum state) at the origin of matter stability and diversity

Michelangelo Mangano, CERN, "Introduzione ai principi fondamentali della fisica delle particelle"

13

Le particelle elementari: La Supersimmetria

- La supersimmetria è una simmetria tra fermioni e bosoni
- Associa una particella bosonica ad ogni particella fermionica e viceversa.
- Fino ad ora non è mai stata individuata sperimentalmente una particella supersimmetrica,
- La supersimmetria, se esiste, deve essere una simmetria rotta così da permettere che i superpartners possano avere una massa maggiore delle corrispondenti particelle presenti nel Modello Standard.
- In alcune versioni, collega particelle ordinarie con il gravitone ⇒ spiega la coesistenza della forza di gravità con le altre forze!



Michelangelo Mangano, CERN, "Introduzione ai principi fondamentali della fisica delle particelle"
<http://it.wikipedia.org/wiki/Supersimmetria>

14

L'origine della massa e il bosone di Higgs

15

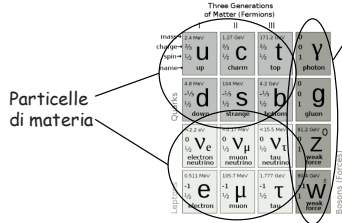
La descrizione delle particelle elementari e delle loro interazioni è basata su modelli matematici molto complessi.

$$\begin{aligned}\mathcal{L}_Y = & -\lambda_u^{\psi} \frac{\phi^0 - i\phi^3}{\sqrt{2}} \bar{u}_L^i u_R^i + \lambda_u^{\phi} \frac{\phi^1 - i\phi^2}{\sqrt{2}} \bar{u}_L^i u_R^i \\ & -\lambda_d^{\psi} \frac{\phi^0 + i\phi^3}{\sqrt{2}} \bar{d}_L^i d_R^i - \lambda_d^{\phi} \frac{\phi^1 + i\phi^2}{\sqrt{2}} \bar{d}_L^i d_R^i \\ & -\lambda_e^{\psi} \frac{\phi^0 + i\phi^3}{\sqrt{2}} \bar{e}_L^i e_R^i - \lambda_e^{\phi} \frac{\phi^1 + i\phi^2}{\sqrt{2}} \bar{e}_L^i e_R^i + \text{h.c.}\end{aligned}$$

Particelle di forza

Ad ogni campo corrisponde una particella di forza

- Campo elettromagn.: il fotone
- Campo forte: il gluone
- Campo debole: i bosoni Z^0 e W^\pm



16

I modelli matematici sono basati su simmetrie:

- Rottura spontanea di una simmetria:



Simmetria
rotazionale



Rottura spontanea
della simmetria
rotazionale



Rottura spontanea della simmetria traslazionale

17

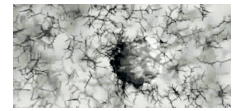
Nel costruzione del modello standard segue dalle simmetrie che le particelle di materia (i leptoni), non hanno massa.

The diagram shows a cross-section of a boat, which acts as a potential well. A ball is positioned at the bottom left of the well, labeled "Mass: Low Energy". A curved arrow indicates a path leading up the right side of the well to a ball at the peak, labeled "No Mass: High Energy".

-

18

Il campo di Higgs e' come un mezzo continuo in cui l'universo e' immerso. Le particelle, interagendo con esso, acquistano l'inerzia caratteristica delle particelle con massa.



http://article.wn.com/view/2011/12/14/Higgs_field_gives_mass_not_the_Higgs_boson/

$$\Rightarrow C_{\text{medium}} < C_{\text{vacuum}}$$

Michelangelo Mangano, CERN, "Introduzione ai principi fondamentali della fisica delle particelle"

È una costruzione teorica o ha qualcosa a che fare con la realtà?

Di-photon ($\gamma\gamma$) invariant mass distribution for the CMS data of 2011 and 2012

<http://cms.web.cern.ch/news/observation-new-particle-mass-125-gev>

Domande aperte:

- Che cos'è la massa?
- Implicazioni per le teorie della gravitazione?
- Implicazioni per la materia oscura?
- Implicazioni per l'energia oscura?
- La dualità onda-particella
- ...
- ...

21

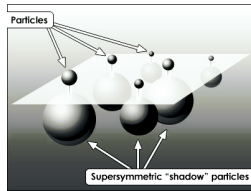
La materia oscura: Neutralino

Il neutralino è una ipotetica particella supersimmetrica.

Il neutralino è la particella supersimmetrica stabile più leggera

- È un fermione
- Ha una massa $\sim 10-10000 \text{ GeV}/c^2$ ($m_{\text{proton}} = 1 \text{ GeV}/c^2$)

wiki/pedia



http://www.particleadventure.org/susy/susy.html

28

La materia oscura

Una minoranza di ricercatori non considera soddisfacente l'ipotesi della materia oscura come spiegazione degli effetti osservati.

In maggioranza queste teorie sono basate su una gravitazione modificata, sostituendo le leggi di Newton e Einstein.

wiki/pedia

Antonio Riotto, CERN, "Dall'Infinitamente Piccolo all'Infinitamente Grande"

29

L'energia oscura

30

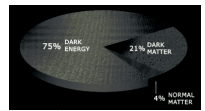
L'energia oscura

1998: i cosmologi trovano evidenza che l'Universo accelera!

Per spiegare l'accelerazione dell'Universo dobbiamo ipotizzare l'esistenza della **ENERGIA OSCURA** che contribuisce al 70% della energia dell'Universo

Il 70% della energia dell'Universo è composta da Energia Oscura, la cui origine è a noi ignota

Antonio Riotto, CERN, "Dall'Infinitamente Piccolo all'Infinitamente Grande"



http://physicstoday.org/doi/abs/10.1063/1.1381750

What Is Dark Energy?

More is unknown than is known. We know how much dark energy there is because we know how it affects the Universe's expansion. Other than that, it is a complete mystery.

http://sciencenews.com/story/0,5897,19811,1,00.html

31

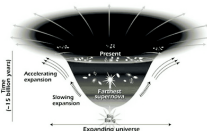
L'energia oscura

1998: i cosmologi trovano l'evidenza che l'Universo accelera!

• Osservazioni di supernovae di tipo Ia
Standard candles; measure distance by analyzing how dim they appear.
Analyzing redshift (doppler effect) \Rightarrow velocity

- la radiazione cosmica di fondo,
- l'età dell'universo,
- le abbondanze degli elementi dovute alla nucleosintesi primordiale,
- la struttura a grande scala dell'universo e le misurazioni del parametro di Hubble

http://it.wikipedia.org/wiki/Energia_oscura
http://hubble.nasa.gov/hubble_d_30056es/dark_energy/de-type_1a_spernovae.php



http://sciencenews.com/story/0,5897,19811,1,00.html



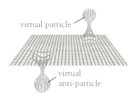
http://hubble.nasa.gov/hubble_d_30056es/dark_energy/de-type_1a_spernovae.php

32

L'energia oscura

Principali forme proposte di energia oscura

- Costante cosmologica
simile, qualitativamente, ad una forza antigravitazionale su larga scala
Un volume di spazio possiede un'energia intrinseca e fondamentale, chiamata energia del vuoto. Dato che quest'energia è una proprietà dello spazio stesso, non viene diluita quando lo spazio si espande. Mano a mano che più spazio viene ad esistere, più di quest'energia appare. Come risultato di quest'energia l'universo si espande sempre più velocemente.
- Teorie quantistiche dei campi
In questa teoria lo "spazio vuoto" è pieno di particelle virtuali che si creano e si annichilano continuamente in piccoli intervalli di tempo. Ma la maggior parte delle teorie quantistiche dei campi prevedono un valore troppo grande per l'energia oscura, 10^{122} volte troppo grande!



http://www.ditchman.com/math/quantum_vacuum.html

http://it.wikipedia.org/wiki/Energia_oscura
http://sciencenews.com/story/0,5897,19811,1,00.html

33

L'energia oscura

Principali forme proposte di energia oscura

- Quintessenza

Un nuovo tipo di campo, o fluido dinamico, di energia. Qualcosa che riempie tutto lo spazio e che ha un effetto opposto sull'espansione dell'universo rispetto alla materia e energia normali. Non ci sono prove dell'esistenza della quintessenza attualmente e non sappiamo com'è, con cosa interagisce o perché esiste. Ma non può essere eliminata a priori

http://it.wikipedia.org/wiki/Energia_oscura
<http://science.nasa.gov/topics/cosmology/focus-on-esa/what-is-dark-energy/>

- Altre ipotesi

L'energia oscura e l'accelerazione cosmica siano prova di un fallimento della relatività generale su grande scala.

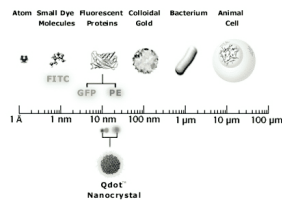
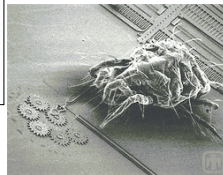
34

Nanotecnologia

35

Nanotecnologia

La nanotecnologia è un ramo della scienza applicata e della tecnologia che si occupa del controllo della materia su scala dimensionale tra circa 0,1 e 100 nanometri



<http://nanotech-now.com/units.htm>
<http://it.wikipedia.org/wiki/Nanotecnologia>

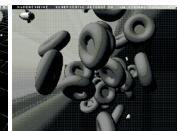
Quanti atomi possono stare in un oggetto con un lato di 10 nm?

circa $100 \cdot 100 \cdot 100 = 10^6$

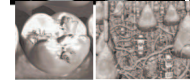
36

Il futuro Fantascienza o realtà?

Foto: <http://www.nanobotsdesign.com>



Nano robot



Auto-assemblaggio e autoreplicazione



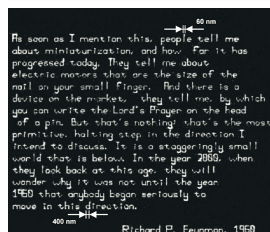
Migliorare le prestazioni del corpo umano?

- Migliorare la vista
- Migliorare la memoria
- Comunicazione

37

L'inizio della Nanotecnologia

Discorso tenuto da Richard Feynman nel 1959, intitolato "There is plenty of room at the bottom"



This image was written using Dip-Pen Nanolithography, and imaged using lateral force microscopy mode of an atomic force microscope. [Mirkin Group](http://www.mirkin-group.com), Northwestern University.

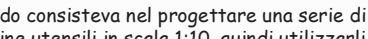
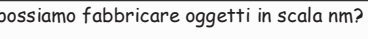
Quanto piccolo è "piccolo"?

Feynman dimostrò nel 1959 che, secondo le leggi della fisica, è possibile immagazzinare tutta l'informazione mai scritta dagli umani in un cubo con un lato di 0,1 mm.

38

L'inizio della Nanotecnologia

Il discorso da Richard Feynman il 29 dicembre 1959 "There is plenty of room at the bottom"



Come possiamo fabbricare oggetti in scala nm?

Il metodo consisteva nel progettare una serie di macchine utensili in scala 1:10, quindi utilizzarli per sviluppare e controllare la generazione successiva di utensili, in scala 1:100, e così via.

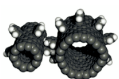
39

La nanotecnologia

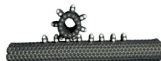
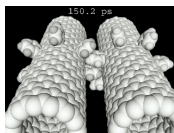
Nella nanotecnologia i confini tra tecnologia, fisica, chimica e biologia vengono cancellati.

La nanoscienza comprende un mondo di atomi, molecole, macromolecole, atomi artificiali e come questi oggetti possono essere assemblati per formare delle strutture e delle funzioni

Progettare e costruire con gli atomi



http://people.nas.nasa.gov/~globus/papers/MGMS_EC1/simulation/data



40

Motivi per lo sviluppo della nanotecnologia

- Produrre componenti sempre più piccoli nel settore dell'elettronica e informatica
 - Componenti più veloci
 - Componenti che consumano meno energia
 - Più memoria
 - Componenti con delle proprietà particolari
- Fabbricazione di materiali particolari
 - Materiali forti
 - Materiali autopulenti
- Creare strumenti e utensili che possono studiare fenomeni a livello molecolare, ad esempio nella medicina.
- Medicina e sanità.

La nanotecnologia: Fondi

La nanotecnologia è uno dei settori che riceve più risorse nel mondo.

Anno 2005, gli USA hanno investito circa \$1 000 000 000 nella nanotecnologia, mentre il totale investito nel mondo era circa \$2 000 000 000.

Oggi ci sono circa 20 000-30 000 ricercatori nella nanotecnologia nel mondo.

Si stima che entro 10-15 anni saranno impiegate circa due milioni di persone nel settore nel mondo.

42

La nanotecnologia: Applicazioni

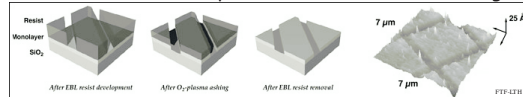
La grande commercializzazione della nanotecnologia sta ancora nel futuro.

Però, esistono già tante applicazioni:

- Electronics and optronics
- Biomedicin
- Cosmetics
- Energy production
- Catalystsators
- Improved surface properties for different materials

- Vestiti più forti
- Vestiti che non si sporcano
- Finestre autopulenti
- Materiali plastici che conducono elettricità
- Nanocristalli nella medicina

Fabbricazione di nanosuperfici adatte a molecole biologiche



La fisica nella medicina

44

La fisica nella medicina Diagnostica per immagini

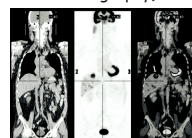


<http://www.medrx.com/articles/pet-c33/reporteri-informazioni-about-pet-c33/>

- Ecografia - ultrasuoni
- Radiografia - raggi X
- Tomografia a risonanza magnetica (Magnetic Resonance Imaging, MRI)
- Tomografia a emissione di positroni (PET Positron Emission Tomography)

...

...



La fisica dell'apparecchio medico?

Come trasformare il segnale fisico in un'immagine del corpo umano?

45

PET Positron Emission Tomography

- Iniezione di un radiofarmaco, legato chimicamente a una molecola attiva a livello metabolico.
- Tempo di dimezzamento, come ^{11}C (~20 min), ^{13}N (~10 min), ^{15}O (~2 min) e ^{18}F (~110 min).
- Il soggetto viene posizionato nello scanner.
- L'isotopo di breve vita media decade, emettendo un positrone.
- Il positrone si annichila con un elettrone, producendo una coppia di fotoni gamma entrambi di energia 511 KeV emessi in direzioni opposte tra loro.
- Questi due fotoni sono rilevati simultaneamente.
- Si può ricostruire l'ipotetica posizione del corpo da cui sono stati emessi,

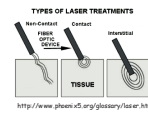


http://it.wikipedia.org/wiki/Tomografia_a_emissione_di_positroni

<http://www.med44.it/rig/risultati/courses/rod/petc/v/index.html>

La fisica nella medicina Terapie

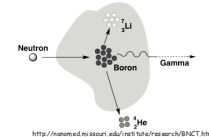
- Laser



- Adroterapia

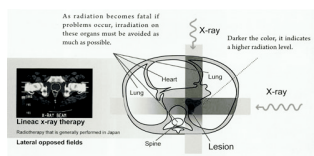


- Boron Neutron Capture Therapy (BNCT)



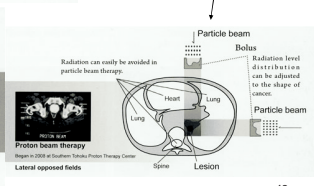
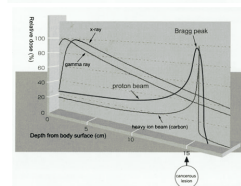
47

Adroterapia per tumori



Raggi-X

Protoni
o ioni pesanti



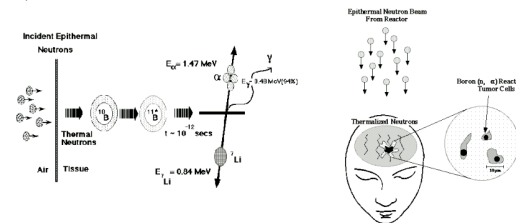
<http://www.starhertshub-proton.com/english/difference.html>

48

Boron Neutron Capture Therapy (BNCT)

- La BNCT sfrutta l'azione sinergica di due componenti:
- l'isotopo stabile ^{10}B che viene concentrato nelle cellule cancerogene
 - un raggio di neutroni a bassa energia.

<http://flem.ch.unibo.it/516461100/index.html?cap=BNCT&NCT=3.html>



49