

A.C.A. - Associazione Cernuschese Astrofili

A CACCIA DI PARTICELLE



by Andrea Grieco



CERCARE PARTICELLE



Costruzione del rivelatore CMS per il Large Hadron Collider al CERN di Ginevra

"PERCHE' VOI FISICI
CHIEDETE SEMPRE
MACCHINARI COSI' COSTOSI?
IL DIPARTIMENTO DI
MATEMATICA NON CHIEDE
ALTRO CHE DENARO PER
FOGLI, MATITE E CESTINI
DELLA CARTA STRACCIA E IL
DIPARTIMENTO DI FILOSOFIA
E' ANCORA MEGLIO, NON
CHIEDE NEPPURE I SOLDI PER
I CESTINI DELLA CARTA
STRACCIA" ANONIMO
RETTORE UNIVERSITARIO



UNITA' FONDAMENTALI

LE PARTICELLE ELEMENTARI
DOVREBBERO ESSERE I COSTITUENTI
ULTIMI DELLA MATERIA

ELEMENTARE E' CIO' CHE NON HA STRUTTURA
E CHE RISULTA INDIVISIBILE

ατομος

L'ATOMO DI LEUCIPPO E' ELEMENTARE
NON E' ELEMENTARE L'ATOMO MODERNO



QUALCHE DUBBIO

ALCUNE DOMANDE

- CHE SENSO HA PARLARE DI PARTICELLE NELL'AMBITO DEL DUALISMO ONDA-CORPUSCOLO DELLA MECCANICA QUANTISTICA?
- DOBBIAMO ASPETTARCI UN COMPONENTE ULTIMO DELLA MATERIA OPPURE UNA SERIE INFINITA DI SCATOLE CINESI?
 - COME FACCIAMO A ESSERE SICURI DI AVER TROVATO TUTTE LE PARTICELLE ELEMENTARI?
- NON SARA' PERICOLOSO "STUZZICARE" LA NATURA NEI SUOI COMPONENTI ULTIMI?



THOMSON CONTRO THOMSON



W. Thomson 1824-1907

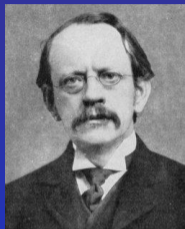
1897 W. THOMSON
LORD KELVIN:
"...l'elettricità è un fluido
continuo omogeneo"



FLUIDO ELETTRICO CONTINUO



CORPUSCOLI CARICHI



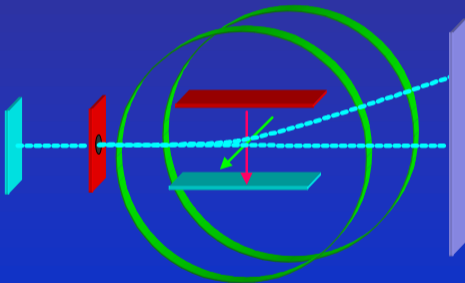
J.J. Thomson 1856-1940

1897 J. THOMSON: "Può qualunque cosa sembrare a prima vista meno pratica di un corpuscolo la cui massa è una frazione insignificante di quella dell'atomo di idrogeno? Che è di per sé stessa così piccola che una folla di tali atomi pari in numero agli abitanti di tutto il pianeta terra avrebbe una massa così piccola da non essere rilevabile da alcuno strumento conosciuto alla scienza"



CALCOLARE e/m

1897 J. THOMSON: SCOPERTA DELL'ELETTRONE



$$F = m_e a$$

$$F_L = eVB$$

$$F_E = eE$$

$$\frac{e}{m_e} \cong 1,76 \cdot 10^{11} \text{ C/kg}$$

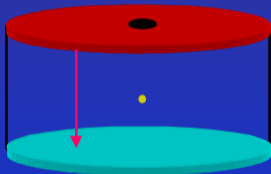
- I RAGGI CATHODICI SONO CORPUSCOLI CON CARICA NEGATIVA
- TALI CORPUSCOLI SONO PARTE DELLA STRUTTURA ATOMICA



LA CARICA ELEMENTARE



1909 R. MILLIKAN: DETERMINAZIONE
CARICA DELL'ELETTRONE



$$q = 6\pi r \eta E (V_C + V_S)$$

$$q = ne$$

$$e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C} \quad m_e = 9,1 \times 10^{-31} \text{ kg}$$

$$m_H \cong 1837 m_e$$

R. Millikan 1868-1953

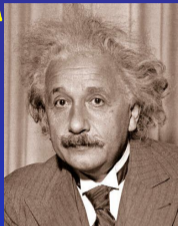


PARTICELLE DI LUCE



1021 AL-HASAN LIBRO DELL'OTTICA
"LE PARTICELLE DI LUCE MANCANO
DI TUTTE LE QUALITA' SENSIBILI
ECCEPTE L'ENERGIA"

1905 A. EINSTEIN INTRODUCE
IL QUANTO DI LUCE O FOTONE
PER INTERPRETARE L'EFFETTO
FOTOELETTRICO

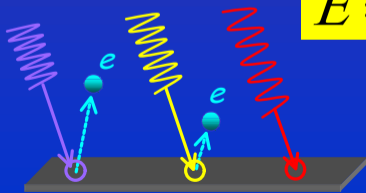


Abu Ali al-Hasan 965-1039

A. Einstein 1879-1956

$$E = h\nu$$

$$p = \frac{h}{\lambda}$$



$$E_c = h\nu - W_E$$



IL PRIMO



1918 **RUTHERFORD**: I NUCLEI DEGLI ATOMI DI IDROGENO SONO PARTICELLE ELEMENTARI DI CARICA POSITIVA UGUALE A QUELLA DEGLI ELETTRONI

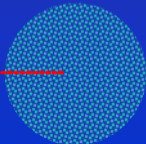
PROTONE $\pi\rho\tau\omicron\nu$

E. Rutherford 1871-1937



α

SORGENTE α



AZOTO

BOMBARDANDO ATOMI DI AZOTO CON PARTICELLE ALFA SI RILEVA LA FORMAZIONE DI IDROGENO



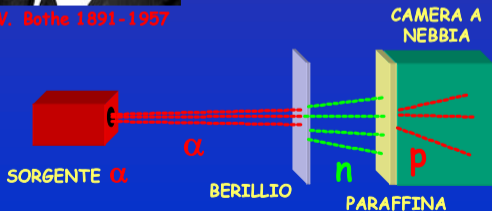
NEUTRONE



1930 **BOTHE** OSSERVA CHE ELEMENTI LEGGERI
COME **BERILLIO**, BORO E LITIO BOMBARDATI
CON PARTICELLE ALFA EMETTONO UNA
RADIAZIONE NEUTRA MOLTO PENETRANTE

1932 **CHADWICK** "The Existence of a Neutron"
Nature LA RADIAZIONE NEUTRA EMESSA DAL
BERILLIO E' COSTITUITA DA **NEUTRONI**

W. Bothe 1891-1957



J. Chadwick 1891-1974

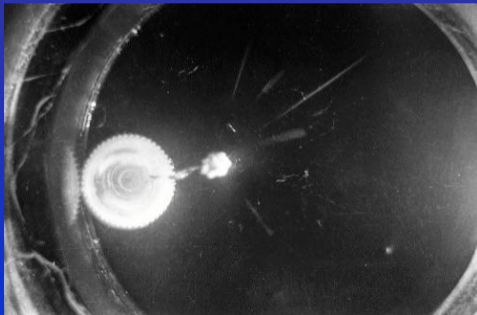


VEDERE NELLA NEBBIA

1911 WILSON COSTRUISCE LA CAMERA A NEBBIA IN CUI PARTICELLE CARICHE LASCIANO UNA TRACCIA DI CONDENSA IN UN VAPORE SOPRASSATURATO



C. Wilson 1869-1959



TRACCE DI PARTICELLE ALFA IN UNA CAMERA WILSON



UNITA' DI MISURA



ENERGIA

$$1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$E = mc^2$$



MASSA

$$1 \text{ amu} = 1,66 \times 10^{-27} \text{ kg} = 931,0 \text{ MeV}$$



CARICA

$$1 e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$$



I COSTITUENTI DELL'ATOMO

	PARTICELLA E SIMBOLO	MASSA A RIPOSO MeV	CARICA	SPIN IN UNITA' $h/2\pi$
●	PROTONE p	937,8	+1	$\frac{1}{2}$
●	NEUTRONE n	939,1	0	$\frac{1}{2}$
●	ELETTRONE e	0,511	-1	$\frac{1}{2}$
●	FOTONE γ	$E=h\nu$	0	1



IL QUADRO TEORICO NEL 1932

- 1900 QUANTO D'AZIONE DI PLANCK
 - 1905 RELATIVITA' RISTRETTA
 - 1913 MODELLO ATOMICO DI BOHR
 - 1916 RELATIVITA' GENERALE
- 1925-26 MECCANICA MATRICIALE E ONDULATORIA
 - 1927 PRINCIPIO DI INDETERMINAZIONE
 - 1928 MECCANICA QUANTISTICA RELATIVISTICA

PARTICELLE

ELETRONE

PROTONE

NEUTRONE

FORZE

ELETTROMAGNETICA

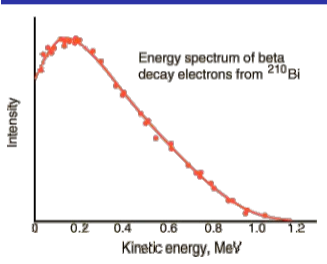
GRAVITAZIONALE

NUCLEARE?



IL DECADIMENTO BETA

1930 PAULI IPOTIZZA L'ESISTENZA DI UNA PARTICELLA NEUTRA PER SALVARE IL PRINCIPIO DI CONSERVAZIONE DELL'ENERGIA E DELLA QUANTITA' DI MOTO



W. Pauli 1900-1958

SPETTRO DECADIMENTO β





I RAGAZZI DI VIA PANISPERNA



E. Fermi 1901-1954

1933 **FERMI** RIPRENDE L'IDEA DI PAULI E
ELABORA UNA TEORIA DEL **DECADIMENTO BETA**
INTRODUCENDO IL **NEUTRINO**



RESPONSABILE DEL **DECADIMENTO BETA** E'
L'**INTERAZIONE DEBOLE**

L'**INTERAZIONE DEBOLE** E' $\sim 10^{-13}$
L'**INTERAZIONE ELETTROMAGNETICA**

RAGGIO D'AZIONE

$\sim 10^{-18}$ m

(INT. DEB/INT. ELE.)

$\sim 10^{-13}$



TEMPO VITA MEDIO

~ 15 min



DIRAC



P. Dirac 1902-1984

1928 **DIRAC** SCRIVE UN'EQUAZIONE D'ONDA RELATIVISTICA PER L'ELETTRONE

$$\left(\beta mc^2 + \sum_{k=1}^3 \alpha_k p_k c \right) \psi(\mathbf{x}, t) = i\hbar \frac{\partial \psi}{\partial t}(\mathbf{x}, t)$$



SPIN
UP



SPIN
DOWN



SPIN
UP



SPIN
DOWN

1931 **DIRAC** IPOTIZZA CHE LE SOLUZIONI CON CARICA POSITIVA DELLA SUA EQUAZIONE SONO PARTICELLE CHE CHIAMA **POSITRONI**



PARTICELLE DAL COSMO



RAGGI COSMICI: PARTICELLE CARICHE ENERGETICHE CHE INVESTONO LA TERRA DALLO SPAZIO

**COMPONENTE PRIMARIA
PROTONI (~90%) ALFA (~9%) E
ELETTRONI (~1%)**

**LA COMPONENTE PRIMARIA GENERA
UNA CASCATA DI ALTRE PARTICELLE**

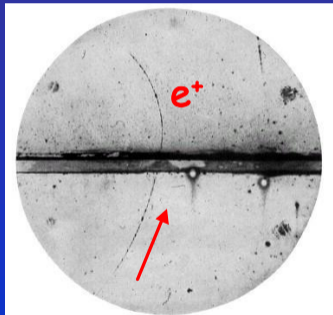
**NEGLI ANNI '30 LO STUDIO DEI RAGGI
COSMICI HA PORTATO ALLA SCOPERTA
DI NUOVE PARTICELLE**



ANTIMATERIA!



1932 ANDERSON SCOPRE NELLA RADIAZIONE
COSMICA L'ANTIELETRONE O POSITRONE



C. Anderson 1905-1991

IL POSITRONE E'
L'ANTIPARTICELLA
DELL'ELETRONE HA LA STESSA
MASSA MA CARICA OPPOSTA

TRACCA LASCIATA DAL PASSAGGIO
DI UN POSITRONE NELLA CAMERA A
NEBBIA DI ANDERSON



UNA TEORIA ERRATA!



1935 **YUKAWA** "On the Interaction of Elementary Particles" Th. Phy. PROPONE UNA TEORIA SULLE INTERAZIONI NUCLEARI

$$U(r) = -g \frac{e^{-r/r_0}}{r}$$

POTENZIALE DI
YUKAWA

RAGGIO D'AZIONE

$$r_0 = \sim 10^{-15} \text{ m}$$

MASSA MESONE

$$m_M = \sim 140 \text{ MeV} = \\ \sim 270 m_e$$

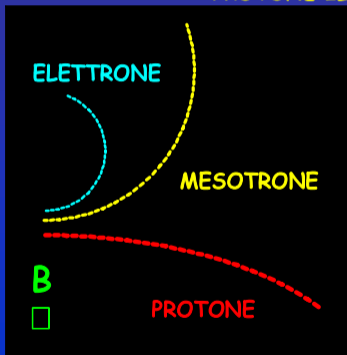


"Poiché un quanto con massa così grande non è mai stato osservato sperimentalmente, sembra che la suddetta teoria sia errata" H. Yukawa



"CHI L'HA ORDINATA?"

1936 **ANDERSON** E **NEDDERMAYER** SCOPRONO NEI RAGGI COSMICI
UNA PARTICELLA DI MASSA INTERMEDIA TRA L'ELETTRONE E IL
PROTONE IL **MESOTRONE**



1947 INTENSITA' INTERAZIONE
 10^{-13} INTENSITA' PREVISTA
NON SONO I MESONI DI
YUKAWA

RIBATTEZZATI MESONI μ O
MUONI RISPONDONO A
INTERAZIONE DEBOLE E
HANNO CARICA UGUALE A e

MASSA MUONE

$$m_{\mu} = \sim 105 \text{ MeV} = \\ \sim 200 m_e$$

I POTETICHE TRACCE DI PARTICELLE
CARICHE IN UN CAMPO MAGNETICO



FABBRICARE RAGGI COSMICI

PERCHE' ACCELERARE PARTICELLE?

- ALL'AUMENTARE DELL'ENERGIA SI CREANO NUOVE PARTICELLE $m=E/c^2$
- ALL'AUMENTARE DELLA QUANTITA' DI MOTO AUMENTA LA RISOLUZIONE $\lambda=h/p$

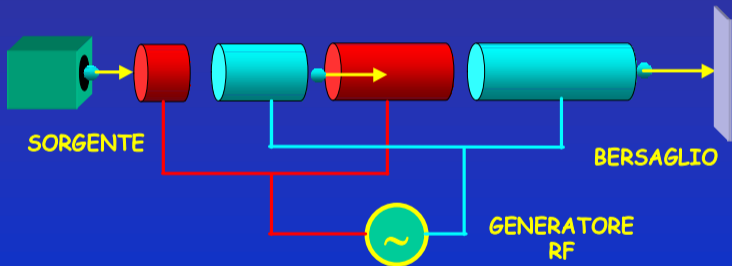
COME FARE?

- PER LE PARTICELLE CARICHE UTILIZZARE CAMPI ELETTRICI
- PER PARTICELLE NEUTRE UTILIZZARE QUELLE PRODOTTE DA PARTICELLE CARICHE



ACCELERATORI LINEARI

GLI **ACCELERATORI LINEARI** ACCELERANO LE PARTICELLE LUNGO
TRAIETTORIE RETTILINEE



SCHEMA DI **ACCELERATORE LINEARE**

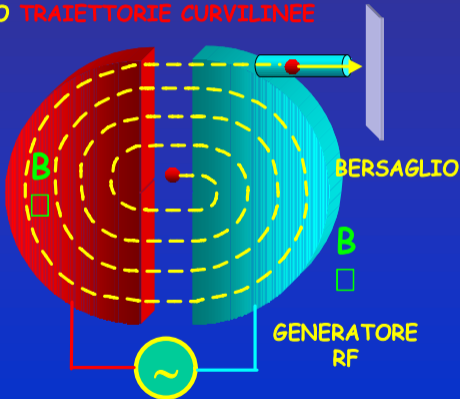


CICLOTRONE

GLI ACCELERATORI CIRCOLARI ACCELERANO LE PARTICELLE LUNGO TRAIETTORIE CURVILINEE



E. Lawrence 1901-1958



SCHEMA DI CICLOTRONE 1930 LAWRENCE



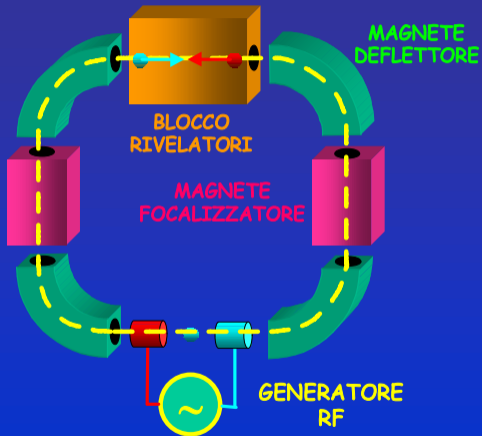
SINCROTRONE



V. Veksler 1907-1966



E. McMillan 1907-1966

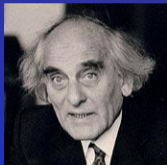


SCHEMA DI SINCROTRONE ~1945 VEKSLER MCMILLAN



FINALMENTE IL PIONE

1947 POWELL, LATTES, OCCHIALINI PRIME OSSEVAZIONI DEI
MESONI π O PIONI SU LASTRE ESPOSTE AI RAGGI COSMICI



G. Occhialini 1907-1993

TRACCIA DI DECADIMENTO DI UN PIONE

1948 GARDNER PRODUZIONE DI PIONI AL CICLOTRONE DI
BERKELEY BOMBARDANDO ATOMI DI CARBONIO CON α

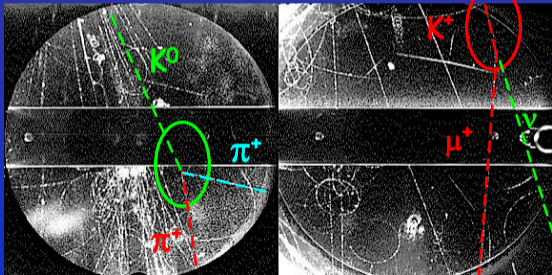
π^+ π^- MASSA 139 MeV



NUOVE PARTICELLE

1949-1952 SCOPERTE ALTRE PARTICELLE

K^+ K^- K^0 π^0 Δ^{++} Δ^+ Δ^0 Δ^- Λ^0



1946-7 TRACCE DI KAONI IN UNA CAMERA A NEBBIA



UNA CLASSIFICAZIONE

PARTICELLE NOTE AL 1952		
FERMIONI		BOSONI
BARIONI	LEPTONI	
p	$e^+ e^-$	γ
n	$\nu?$	$\pi^0 \pi^+ \pi^-$
$K^+ K^- K^0$ $\Delta^{++} \Delta^+ \Delta^0$ $\Delta^- \Lambda^0$	$\mu^+ \mu^-$	



BOLLICINE



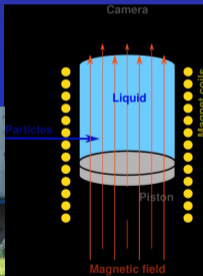
D. Glaser 1926

1952 **GLASER** REALIZZA LA PRIMA CAMERA A BOLLE

- MIGLIOR RISOLUZIONE SPAZIALE
- MIGLIOR IONIZZAZIONE
- TEMPI MORTI RIDOTTI



**GARGAMELLE AL
CERN**



**SCHEMA DI
CAMERA A BOLLE**



**TRACCE IN UNA
CAMERA A BOLLE**

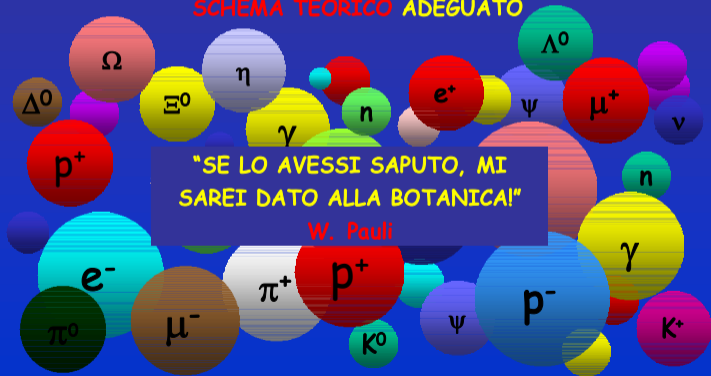


LO ZOO AUMENTA

DAL 1953 SI ASSISTE A UNA VERA E PROPRIA ESPLOSIONE DEL NUMERO DI PARTICELLE RILEVATE OCCORRE TROVARE UNO SCHEMA TEORICO ADEGUATO

"SE LO AVESSI SAPUTO, MI SAREI DATO ALLA BOTANICA!"

W. Pauli





ANTIATOMO



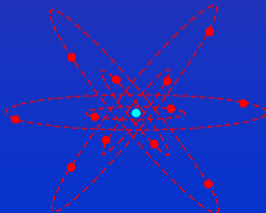
1955 **SEGRÈ** E **CHAMBERLAIN**
SCOPRONO L'**ANTIPROTONE** AL
BEVATRON DI BERKELEY



1956 **CORK** SCOPRE
L'**ANTINEUTRONE**

E. Segrè 1905-1989

**O. Chamberlain
1920-2006**



L'**ANTIATOMO** È
COSTITUITO DALLE
ANTIPARTICELLE p^- e^+ E n

B. Cork ?-1994

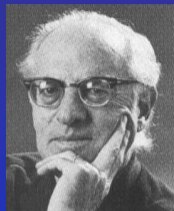


L'INAFFERRABILE NEUTRINO



C. Cowan 1919-1974

1956 **COWAN E REINES**
RILEVANO IL **NEUTRINO** AL
REATTORE DI SAVANNAH RIVER



F. Reines 1918-1998

1970 PRIMA FOTO DELLA TRACCIA LASCIATA DALL'INTERAZIONE
NEUTRINO-PROTONE NELLA **CAMERA A BOLLE** DELLO ZERO
GRADIENT SYNCHROTRON ALL'ARGONNE NATIONAL LABORATORY



"THREE QUARKS FOR..."



M. Gell-Mann 1929

1964 GELL-MANN E G. ZWEIG PROPONGONO IL MODELLO A QUARK PER INTERPRETARE LA STRUTTURA DEGLI ADRONI

GLI ADRONI SONO COMPOSTI DA QUARK E DA ANTIQUARK

I QUARK E GLI ANTIQUARK HANNO CARICA FRAZIONARIA PARI A $\pm 1/3$ O $\pm 2/3$ DI e

VI SONO TRE TIPI DI QUARK IDENTIFICATI DA UNA VARIABILE CHIAMATA SAPORE

OGNI SAPORE PUO' PRESENTARSI IN TRE COLORI DIFFERENTI O IN TRE ANTICOLORI SE SI TRATTA DI UN ANTIQUARK



IL MODELLO A QUARK

MODELLO A QUARK 1964						
	QUARK			ANTIQUARK		
SAPORE	u	d	s	<u>u</u>	<u>d</u>	<u>s</u>
CARICA	+2/3	-1/3	-1/3	-2/3	+1/3	+1/3
N_B	1/3	1/3	1/3	-1/3	-1/3	-1/3

u = "UP" d = "DOWN" s = "STRANGE"

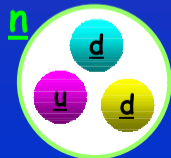
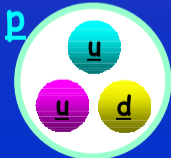
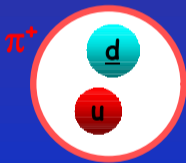
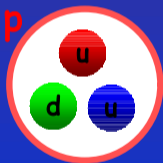




COSTRUIRE ADRONI

REGOLE PER LA COMPOSIZIONE DI UN ADRONE

- LA CARICA TOTALE UGUALE ALLA CARICA DELL'ADRONE
 - L'ADRONE DEVE ESSERE INCOLORE
- IL NUMERO BARIONICO DEVE ESSERE RISPETTATO
 - ALTRE REGOLE SU SPIN, STRANEZZA, ETC.



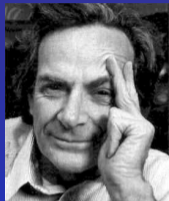


ESISTONO I QUARK?

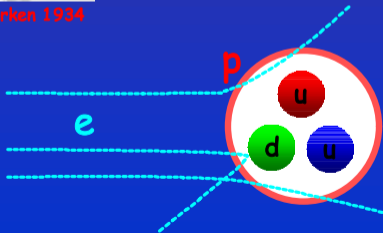


J. Bjorken 1934

1968-69 FEYNMAN E BJORKEN
ANALIZZANO I DATI
DELL'ACCELERATORE LINEARE DI
STANFORD: I PROTONI MOSTRANO
UNA STRUTTURA INTERNA



R. Feynman 1918-1988



L'ANALISI DEGLI
ANGOLI DI SCATTERING
RIVELA UNA STRUTTURA
COMPOSTA A "PARTONI"



LA FAMIGLIA SI ALLARGA



S. Glashow 1932

1970 GLASHOW, ILIOPOULOS E
MAIANI CALCOLANDO LE
PROBABILITA' DI DECADIMENTO DEL
MESONE K PREVEDONO L'ESISTENZA
DI UN QUARTO QUARK CHIAMATO
CHARM



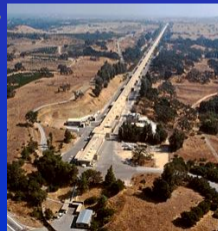
J. Iliopoulos 1940



L. Maiani 1941

1974 ALLO SLAC DI STANFORD E'
OSSERVATA LA J/ψ
RICONOSCIUTA COME STATO
LEGATO DI DUE QUARK CHARM

IL MODELLO A QUARK E'
RICONOSCIUTO COME REALE E
NON SOLO ARTIFICIO
MATEMATICO



VEDUTA AEREA DELLO SLAC

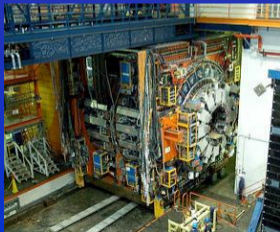


ARRIVANO BOTTOM E TOP

1977 LEDERMAN SCOPRE IL QUARK **BOTTOM** AL **TEVATRON** DEL **FERMILAB** LANCIANDO PROTONI A 400 **GeV** CONTRO UN BERSAGLIO DI BERILLIO E OSSERVANDO LA DISTRIBUZIONE ENERGETICA DEI MUONI PRODOTTI

1995 GLI ESPERIMENTI **CDF** E **D0** AL **FERMILAB** INDIVIDUANO NELLE W^\pm LA "FIRMA" DEL QUARK **TOP** CON UNA MASSA DI CIRCA **170 GeV** DETIENE IL RECORD

L. Lederman 1922



RILEVATORE **CDF** DEL **TEVATRON**



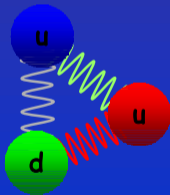
VEDUTA AEREA DEL **FERMILAB**



COLLA

I **QUARK** SONO TENUTI ASSIEME DA **BOSONI** DI MASSA NULLA
DETTI **GLUONI** MEDIATORI DELLA FORZA DI COLORE

L'INTENSITA' DELLA FORZA CRESCE
LINEARMENTE CON LA DISTANZA E CIO'
PORTEREBBE AL **CONFINAMENTO** DEI QUARK

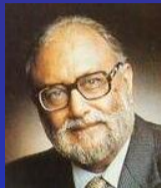


GLI 8 TIPI DI **GLUONI**



INTERAZIONI ELETTRODEBOLI

1967 WEINBERG, GLASHOW E SALAM
PROPONGONO UNA TEORIA UNIFICATA DELLE
INTERAZIONI ELETTRODEBOLI



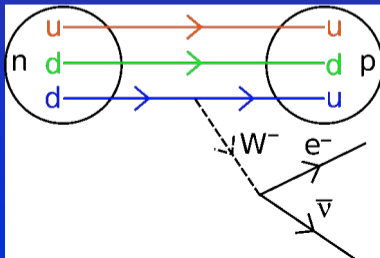
A. Salam
1926-1996



S. Weinberg 1933

I MEDIATORI SONO IL FOTONE γ E I
BOSONI W^+ W^- Z^0 CHE A ENERGIE
SUPERIORI AI 100 GeV DOVREBBERO
UNIFICARE L'INTERAZIONE
ELETTROMAGNETICA CON LA DEBOLE

LE INTERAZIONI DEBOLI SONO
RESPONSABILI DI ALCUNI
DECADIMENTI RADIOATTIVI
COME QUELLO DEL NEUTRONE





CORRENTI DEBOLI



C. Rubbia 1934

1983 RUBBIA, VAN DER MEER CON GLI
ESPERIMENTI UA1 E UA2 AL
SUPERPROTOSINCROTRONE DEL CERN DI
GINEVRA RILEVANO I BOSONI W^+ W^- Z^0



S. V. der Meer 1925



TUNNEL DEL SPS AL CERN



VEDUTA AEREA DEL CERN



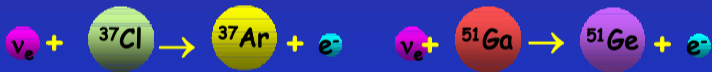
GARGAMELLE TRACKS



E I NEUTRINI?

I **NEUTRINI** SONO MOLTO DIFFICILI DA RILEVARE PERCHE' INTERAGISCONO POCHISSIMO CON LA MATERIA

UN METODO E' SFRUTTARE LE INTERAZIONI DEI **NEUTRINI** CON GLI **ATOMI** E LE **TRASMUTAZIONI** CHE INDUCONO



UN ALTRO METODO CONSISTE NELLO SFRUTTARE L'INTERAZIONE TRA **NEUTRINI** E **ELETTRONI** E RILEVARE LA **RADIAZIONE CERENKOV** EMESA DAGLI ELETTRONI





CONTARE ATOMI

ESPERIMENTI AI LABORATORI DEL GRAN SASSO E A HOMESTAKE
PER RILEVARE NEUTRINI



ESPERIMENTO GALLEX PRESSO I
LABORATORI INFN DEL GRAN SASSO

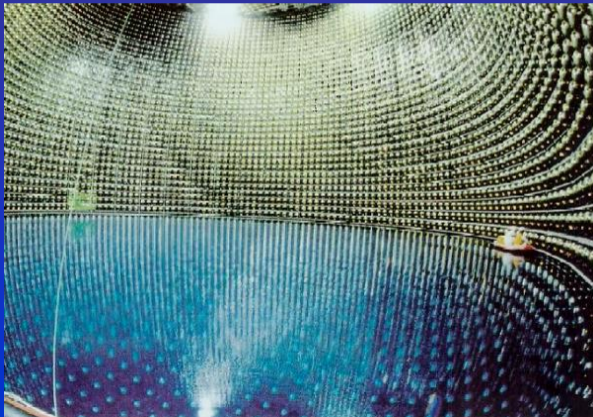


ESPERIMENTO DI
HOMESTAKE



SUPERKAMIOKANDE

**SUPERKAMIOKANDE IN GIAPPONE DAL 1983 "OSSERVA" I NEUTRINI
PROVENIENTI DALLO SPAZIO CON 11.146 FOTOMOLTIPLICATORI**





FAMIGLIA AL COMPLETO?

FERMIONS

matter constituents
spin = 1/2, 3/2, 5/2, ...

Leptons spin = 1/2

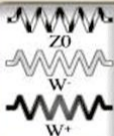
Flavor	Mass GeV/c ²	Electric charge
ν_L lightest neutrino*	$(0-0.13)\times 10^{-9}$	0
e electron	0.000511	-1
ν_M middle neutrino*	$(0.009-0.13)\times 10^{-9}$	0
μ muon	0.106	-1
ν_H heaviest neutrino*	$(0.04-0.14)\times 10^{-9}$	0
τ tau	1.777	-1

Quarks spin = 1/2

Flavor	Approx. Mass GeV/c ²	Electric charge
u up	0.002	2/3
d down	0.005	-1/3
c charm	1.3	2/3
s strange	0.1	-1/3
t top	173	2/3
b bottom	4.2	-1/3

IL MODELLO STANDARD

INTERAZIONI



MATERIA



QUARK

LEPTONI

1^a

2^a
famiglia

3^a



UNIFICARE

Standard Model of FUNDAMENTAL PARTICLES AND INTERACTIONS

The Standard Model summarizes the current knowledge in Particle Physics. It is the quantum theory that includes the theory of strong interactions (Quantum Chromodynamics or QCD) and the unified theory of weak and electromagnetic interactions (electroweak). Gravity is included on this chart because it is one of the fundamental interactions even though not part of the "Standard Model."

FERMIONS

matter constituents
spin = 1/2, 3/2, 5/2, ...

Leptons spin = 1/2			Quarks spin = 1/2		
Flavor	Mass GeV/c ²	Electric charge	Flavor	Approx. Mass GeV/c ²	Electric charge
e^- electron	$<1 \cdot 10^{-6}$	0	u up	0.003	2/3
μ^- electron	0.000511	-1	d down	0.006	-1/3
ν_e electron neutrino	<0.0002	0	c charm	1.3	2/3
ν_μ muon neutrino	0.106	-1	s strange	0.1	-1/3
ν_τ tau neutrino	<0.02	0	t top	175	2/3
τ^- tau	1.7771	-1	b bottom	4.3	-1/3

Spin is the intrinsic angular momentum of particles. Spin is given in units of \hbar , which is the quantum unit of angular momentum, where $\hbar = 1.05 \cdot 10^{-34}$ Joule s = $1.24 \cdot 10^{-27}$ eV s.

Electric charges are given in units of the proton's charge. In 0 units the electric charge of the proton is $1.602 \cdot 10^{-19}$ coulombs.

The energy unit of particle physics is the electronvolt (eV), the energy gained by one electron in crossing a potential difference of one volt. Masses are given in GeV/c² (conversion: $1 \text{ eV} = 1.78 \cdot 10^{-36}$ kg, where $1 \text{ GeV} = 10^9 \text{ eV} = 1.60 \cdot 10^{-10}$ Joule). The mass of the proton is $0.938 \text{ GeV}/c^2 = 1.67 \cdot 10^{-27}$ kg.

BOSONS

force carriers
spin = 0, 1, 2, ...

Unified Electroweak spin = 1			Strong (color) spin = 1		
Name	Mass GeV/c ²	Electric charge	Name	Mass GeV/c ²	Electric charge
γ photon	0	0	g gluon	0	0
W^-	80.4	-1			
W^+	80.4	+1			
Z^0	91.187	0			

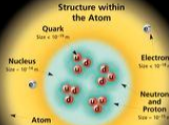
Color Charge
Each quark carries one of three types of "strong charge," also called "color charge." These charges have nothing to do with the colors of visible light. There are eight possible types of color charge for gluons, just as electrically charged particles interact by exchanging photons, in strong interactions color-charged particles interact by exchanging gluons. Quarks, photons, and W and Z bosons have no strong interactions and hence no color charge.

Quarks Confined in Mesons and Baryons

One cannot isolate quarks and gluons; they are confined in color-neutral particles called hadrons. This confinement (confinement) results from the strong color charges of gluons among the color-charged constituents. As color-charged particles exchange gluons, they exchange the energy in the color force field between them increases. This energy eventually is converted into additional quark-antiquark pairs (see figure below). The quarks and antiquarks then combine into hadrons; these are the particles seen to emerge. Two types of hadrons have been observed in nature: mesons (quark and antiquark) and baryons (quark quark quark).

Residual Strong Interaction

The strong binding of color-neutral protons and neutrons to form nuclei is due to residual strong interactions between their color-charged constituents. It is similar to the residual effect of the strong interaction that binds nucleons together to form molecules. It can also be viewed as the exchange of mesons between the hadrons.



If the proton and neutron in the picture were 10 cm across, then the quarks and electrons would be less than 1 mm in size and the entire atom would be about 10 cm across.

PROPERTIES OF THE INTERACTIONS

Baryons and Antibaryons (qqq)

Baryons are fermions hadrons. There are about 100 types of baryons.

Symbol	Name	Quark content	Electric charge	Mass MeV/c ²	Spin
p	proton	uud	1	938.272	1/2
\bar{p}	anti-proton	$\bar{u}\bar{u}\bar{d}$	-1	938.272	1/2
n	neutron	udd	0	939.565	1/2
\bar{n}	anti-neutron	$\bar{u}\bar{d}\bar{d}$	0	939.565	1/2
Λ	lambda	uds	0	1115.683	1/2
$\bar{\Lambda}$	anti-lambda	$\bar{u}\bar{s}\bar{d}$	-1	1115.683	1/2

Matter and Antimatter

For every particle type there is a corresponding antiparticle type, denoted by a bar over the particle symbol (bar e^- or e^+ ; charge is opposite). Particles and antiparticles have identical mass and spin but opposite charges. Some electrically neutral bosons (e.g., Z^0 , γ , ν_e , ν_μ , ν_τ) do not have an antiparticle.

Figures

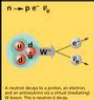
These diagrams are an artist's conception of physical processes. They are not exact and have no measurement scale. Green shaded areas represent the cloud of gluons in the gluon field, and red lines are the quark paths.

Property	Interaction	Gravitational	Weak	Electromagnetic	Strong
		Mass - Energy	Flavor	Electric Charge	Color Charge
Acts on:		All	Quarks, Leptons	Electrically charged	Quarks, Gluons
Particles experiencing:		All	W^+ W^- Z^0	γ	Quarks, Gluons
Strength relative to gravity at:		10^{-41}	0.8	1	25
for two protons in nucleus:		10^{-37}	10^{-4}	1	60
		10^{-36}	10^{-1}	1	Not applicable to hadrons
					20

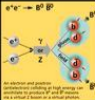
Mesons (qq)

Mesons are bosons hadrons. There are about 100 types of mesons.

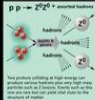
Symbol	Name	Quark content	Electric charge	Mass MeV/c ²	Spin
π^+	pion	$u\bar{d}$	+1	137.0	0
π^0	neutral pion	$u\bar{u} - d\bar{d}$	0	135.0	0
π^-	pion	$d\bar{u}$	-1	137.0	0
K^+	kaon	$u\bar{s}$	+1	494.0	0
K^0	kaon	$d\bar{s}$	0	494.0	0
ρ^+	rho	$u\bar{d}$	+1	770.0	1
ρ^0	rho	$u\bar{u} - d\bar{d}$	0	770.0	1
ρ^-	rho	$d\bar{u}$	-1	770.0	1
η_c	charmonium	$c\bar{c}$	0	3590.0	0



A neutrino decays to a photon, an electron, and an antineutrino via a virtual (mediating) boson. This is neutrino beta decay.



An electron and positron annihilate and produce a virtual (mediating) boson. This is what a boson is a virtual electron.



Two protons colliding at high energy can produce various hadrons plus any high mass particles such as bosons. Bosons such as the one are rare but can pair off due to the bosons of matter.

The Particle Adventure

Visit the award-winning web feature The Particle Adventure at: <http://ParticleAdventure.org>

This chart has been made possible by the generous support of:

U.S. Department of Energy
U.S. National Science Foundation
Lawrence Berkeley National Laboratory
Stanford Linear Accelerator Center
American Physical Society, Division of Particle and Field Physics
DURLE
Intel/PTC, Inc.

2008-2009 Contemporary Physics Education Project (CPE) is a non-profit organization of teachers, physicists, and other experts. Funded and supported by CPEP NSF LS-08-056, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, CA, 94720. For more information on charts, Web materials, handouts on classroom activities, and worksheets, see:

<http://CPEweb.org>



DOVE SI GENERA LA MASSA?



P. Higgs 1929

1966 **HIGGS** PROPONE UNA TEORIA PER SPIEGARE LA DIFFERENZA TRA LE MASSE DELLE PARTICELLE

INTRODUCE UN **CAMPO SCALARE** CHE INTERAGENDO CON LE PARTICELLE NE DETERMINA LA MASSA

AL CAMPO E' ASSOCIATA UNA PARTICELLA DETTA **BOSONE DI HIGGS**

IL BOSONE INTERAGISCE CON IL PROPRIO CAMPO E HA UNA **MASSA MOLTO ELEVATA**

DA ESPERIMENTI CONDOTTI AL **LEP** $m_H > 114 \text{ GeV}$



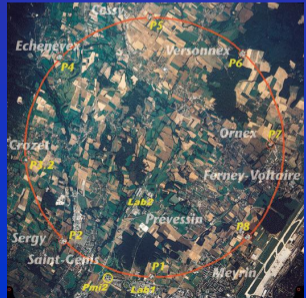
E' APERTA LA CACCIA

DAL 1966 IL **BOSONE DI HIGGS** (AMMESSO CHE ESISTA!) NON E' ANCORA STATO RILEVATO A CAUSA DELLA SUA **GRANDE MASSA**

CHI E' IN GARA?

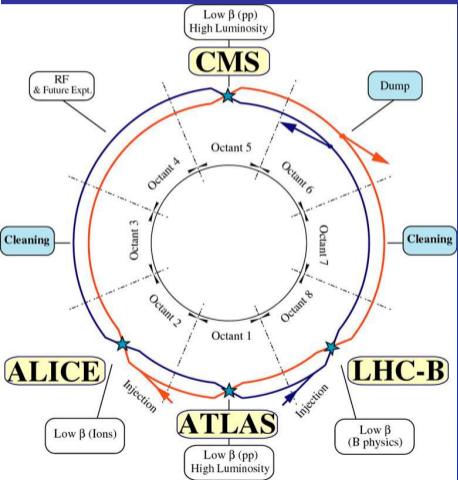
TEVATRON 2 TeV

LHC 14 TeV





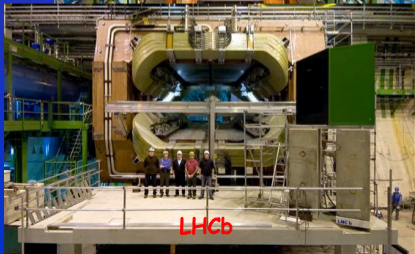
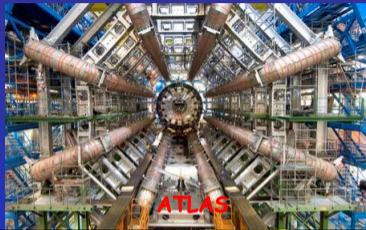
LHC AL LAVORO



RAPPRESENTAZIONE SCHEMATICA DEL LHC E DEI QUATTRO PRINCIPALI ESPERIMENTI ALICE, ATLAS, CMS E LHCb



LE TRAPPOLE PER HIGGS





*GRAZIE PER
L'ATTENZIONE!!!*

DOMANDE?