

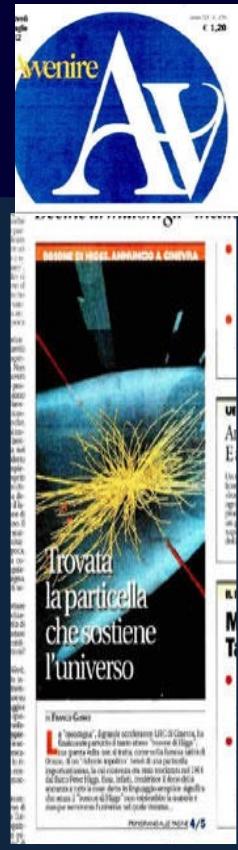
# Storia del Modello Standard: dal ‘900 al bosone di Higgs ... e poi?

Italian Teacher Programme, CERN, 21/11/2023

Isabella Masina

Università degli Studi di Ferrara & INFN Sez. Ferrara

# 4 luglio 2012: scoperta al CERN una nuova particella chiamata BOSONE DI HIGGS



La particella che può svelare i segreti dell'universo

La particella che può svelare i segreti dell'universo



Lo scienziato inglese Peter Higgs abbraccia la collega Fabiola Gianotti, a destra, la collaudatrice tra santi e nel suo accerchiamento i tre del Cern.



**di GIULIO CIORELLO** A PAGINA 34  
**di FABIO LA GIANOVA** A PAGINA 35

## **Tagli, la lista degli ospedali**

Rischio chiusura per oltre 100. Ci sono anche 33 tribuna



Il confronto sulle nuove misure europee

# Vi sarete chiesti:

Cos'è questo bosone di Higgs?

...se avete cercato su wikipedia avete letto:

Il bosone di Higgs è un **bosone scalare, elementare e massivo** associato al **campo** di Higgs,  
che svolge un ruolo fondamentale nel Modello Standard  
conferendo la massa alle **particelle elementari**  
tramite il fenomeno della **rottura spontanea di simmetria**. [...]

# Vi sarete chiesti:

Cos'è questo bosone di Higgs?



domani lezione (tecnica)

$$\mathcal{L} \simeq -\frac{1}{4}F_{\mu\nu}F^{\mu\nu}$$

$$+i\bar{\Psi}\not{D}\Psi$$

$$+y_{ij}\Psi_i\Psi_j\phi$$

$$+|D_\mu\phi|^2 - V(\phi)$$

$$y_{ij}\Psi_i\Psi_j \frac{1}{\sqrt{2}}(v+h) \rightsquigarrow \frac{y_\mu v}{\sqrt{2}}\mu\mu + \frac{y_\mu}{\sqrt{2}}\mu\mu h = \frac{\mu}{\mu} + \frac{y_\mu/\sqrt{2}}{h}$$

$$M_W$$

$$|D_\mu\phi|^2 \rightsquigarrow \frac{g v}{2}W^+W^-$$

$$V(\phi) \rightsquigarrow \frac{1}{2}(2\lambda v^2)hh$$

$$\phi = \frac{1}{\sqrt{2}}(v+h)$$

Diagram illustrating the decomposition of the scalar field  $\phi$  into its vacuum expectation value  $v$  and the fluctuation  $h$ . The field  $\phi$  is shown as a dashed line, and the fluctuation  $h$  is shown as a solid line. The coupling constant  $y_\mu/\sqrt{2}$  is indicated by a red arrow.

# Vi sarete chiesti:

Cos'è questo bosone di Higgs?



Come l'hanno scoperto?



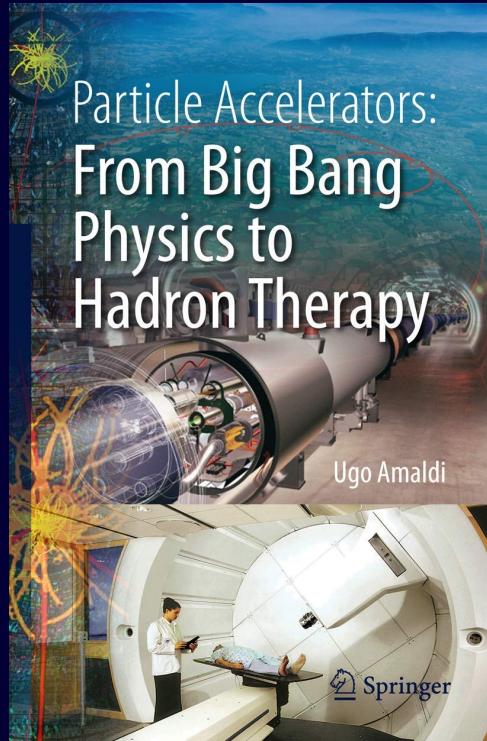
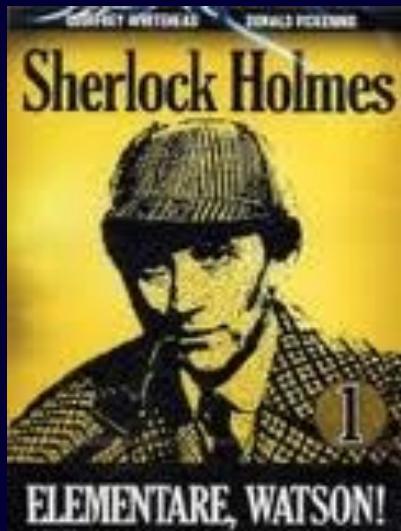
A cosa serve scoprire il bosone?  
...e quanto ci è costato?



Perché e da quando si cercava?

Ha fornito indizi su altro da scoprire?

# INDAGHIAMO LA STORIA DELLE PARTICELLE ELEMENTARI (PE)

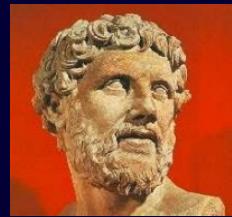


Perché e da quando si cercava?  
Ha fornito indizi su altro da scoprire?

# INDAGHIAMO LA STORIA DELLE **PARTICELLE ELEMENTARI (PE)**

oggetti **INDIVISIBILI**  
(o meglio, ritenuti tali al momento)

Sono particelle “alla Democrito” (460-370 a.C.)?



Atomismo:  
Atomi = indivisibili e immutabili  
in moto nel Vuoto

...almeno partiamo da fine ‘800!



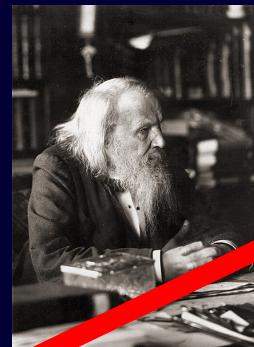
Elettromagnetismo  
OK

1865



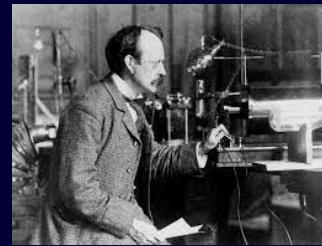
Maxwell

elettromagnetismo



1869

Mendeleev



$\downarrow e^-$   
1897-99

J.J. Thomson

→ gli atomi di Mendeleev  
non sono indivisibili!

Gruppe I. $R^2O$	Gruppe II. $RO$	Gruppe III. $R^2O_3$	Gruppe IV. $RO_2$	Gruppe V. $RH_3$	Gruppe VI. $RH_2O_3$	Gruppe VII. $RH_2O_7$	Gruppe VIII. $RO_4$
1 H=1	Be=9,4	B=11	C=	N=14	O=16	F=19	
2 Li=7							
3 Na=23	Mg=24	Al=13	Si=28	P=31	S=32	Cl=35,5	
4 K=39	Ca=40	Cr=24	Ti=48	V=51	Cr=52	Mn=55	Fe=56, Co=59, Ni=59, Cu=63
5 (Cu=63)		As=55	—=68	—=72	As=75	Se=78	Br=80
6 Rb=85	—=87	? Yt=88	Zr=90	Nb=94	Mo=96	—=100	Ru=104, Rh=104, Pd=106, Ag=108
7 (Ag=108)	Cd=112	In=113	Sn=118	Sb=122	Te=125	J=127	— — —
8 (As=133)	Ba=137	? Di=138	? Co=140	—	—	—	— — —
9 (—)	—	? Er=178	? La=180	Ta=182	W=184	—	Os=195, Ir=197, Pt=198, Au=199
10 (Au=199)	Hg=200	Tl=204	Pb=207	Bi=208	—	—	— — —
11 (—)	—	Th=231	—	U=240	—	—	— — —

elementi chimici = ATOMI alla Democrito

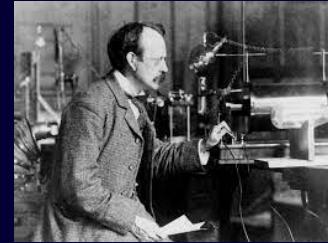


Elettroma-  
gnetismo  
OK

1865



Maxwell

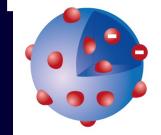


J.J. Thomson

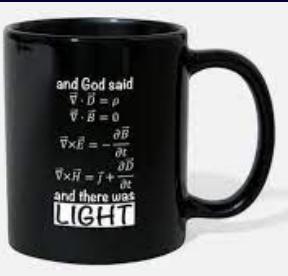


1897-99

atomo  
«a panettone»



elettromagnetismo



PARTICELLE ELEMENTARI

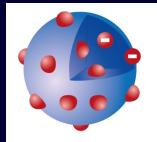
ONDE

CORPUSCOLI

- A) I primi 50 anni del 900
- B) Gli ultimi 50 anni del 900: la corsa agli acceleratori
- C) Dal 90 al 12: la caccia al bosone
- D) Indizi per il futuro?

Sopra: scoperte sperimentali

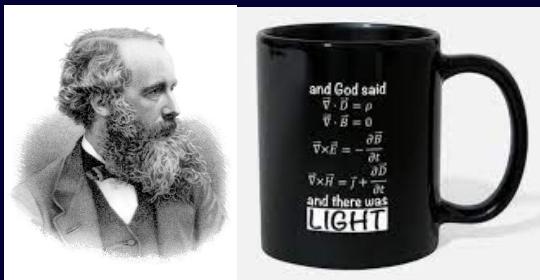
1900



## Thomson atomo «a panettone»

## Sotto: teorie

## elettromagnetismo

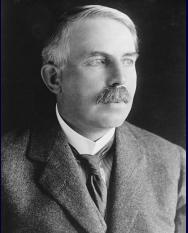


e<sup>-</sup>

## PARTICELLE ELEMENTARI

CORPUSCOLI

ONDE

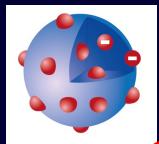


## E. Rutherford

## Particelle α

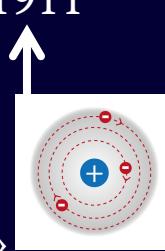
$\downarrow$   $p = H^+$

1917-19

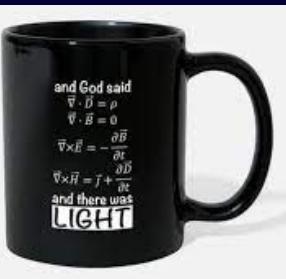
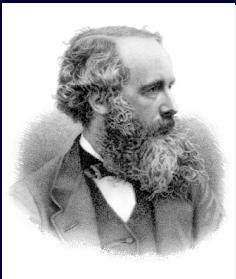


# ~~Thomson atomo «? panettone»~~

# Rutherford «planetario»



# elettromagnetismo



$$\uparrow n = (p - e^-)$$

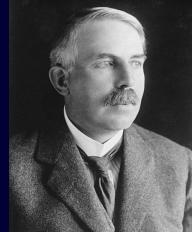
E. Rutherford

A diagram illustrating a particle interaction. On the left, a blue circle contains the symbol  $e^-$ , representing an electron. On the right, another blue circle contains the symbol  $p$ , representing a proton. The background is dark blue.

## PARTICELLE ELEMENTARI

# CORPUSCOLI

ONDE



E. Rutherford

Particelle  $\alpha$

$\downarrow P$

1917-19

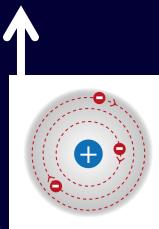
A. Compton natura  
corpuscolare  
(ipotesi Planck, Einstein)

$\downarrow \gamma$

1923

1911

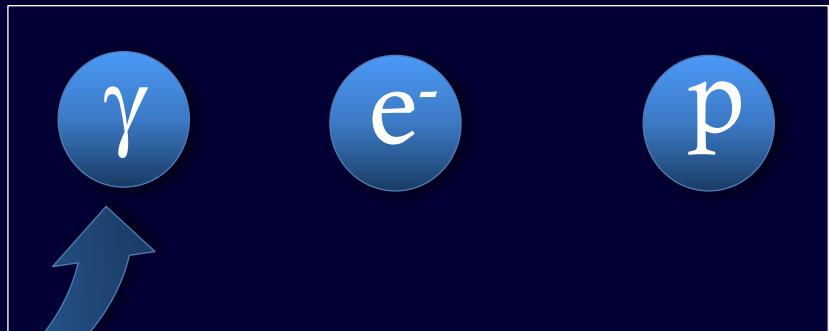
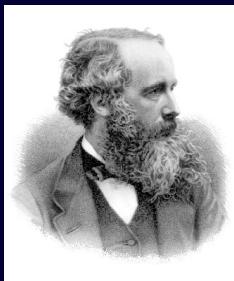
Rutherford  
«planetario»



1920

$\uparrow n = (p - e^-)$   
E. Rutherford

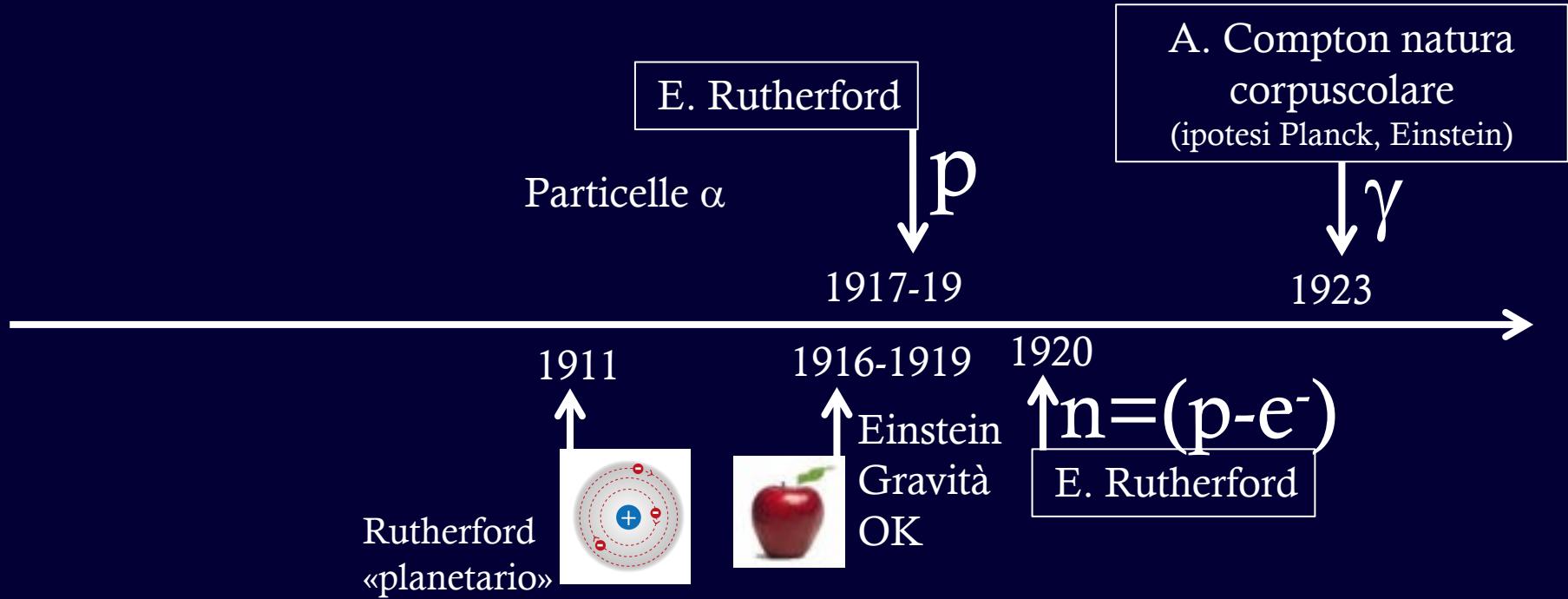
elettromagnetismo



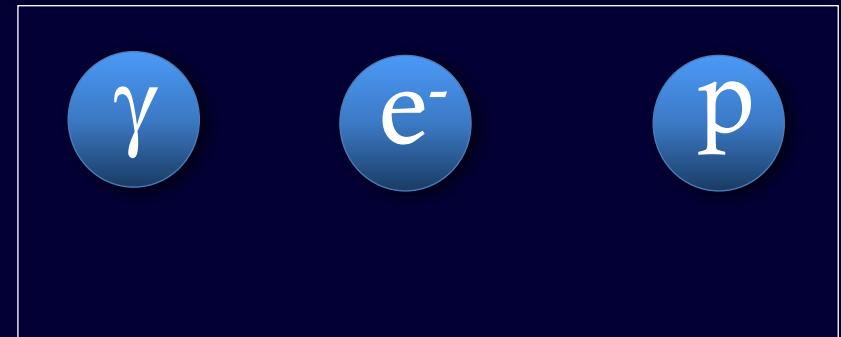
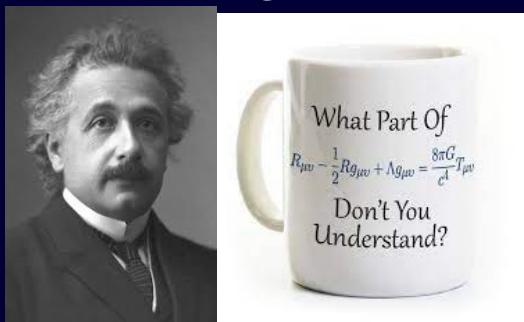
PARTICELLE ELEMENTARI

ONDE

CORPUSCOLI



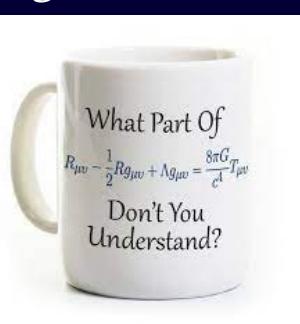
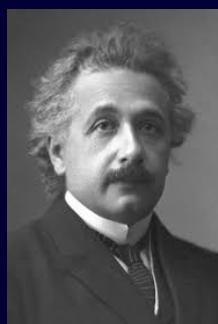
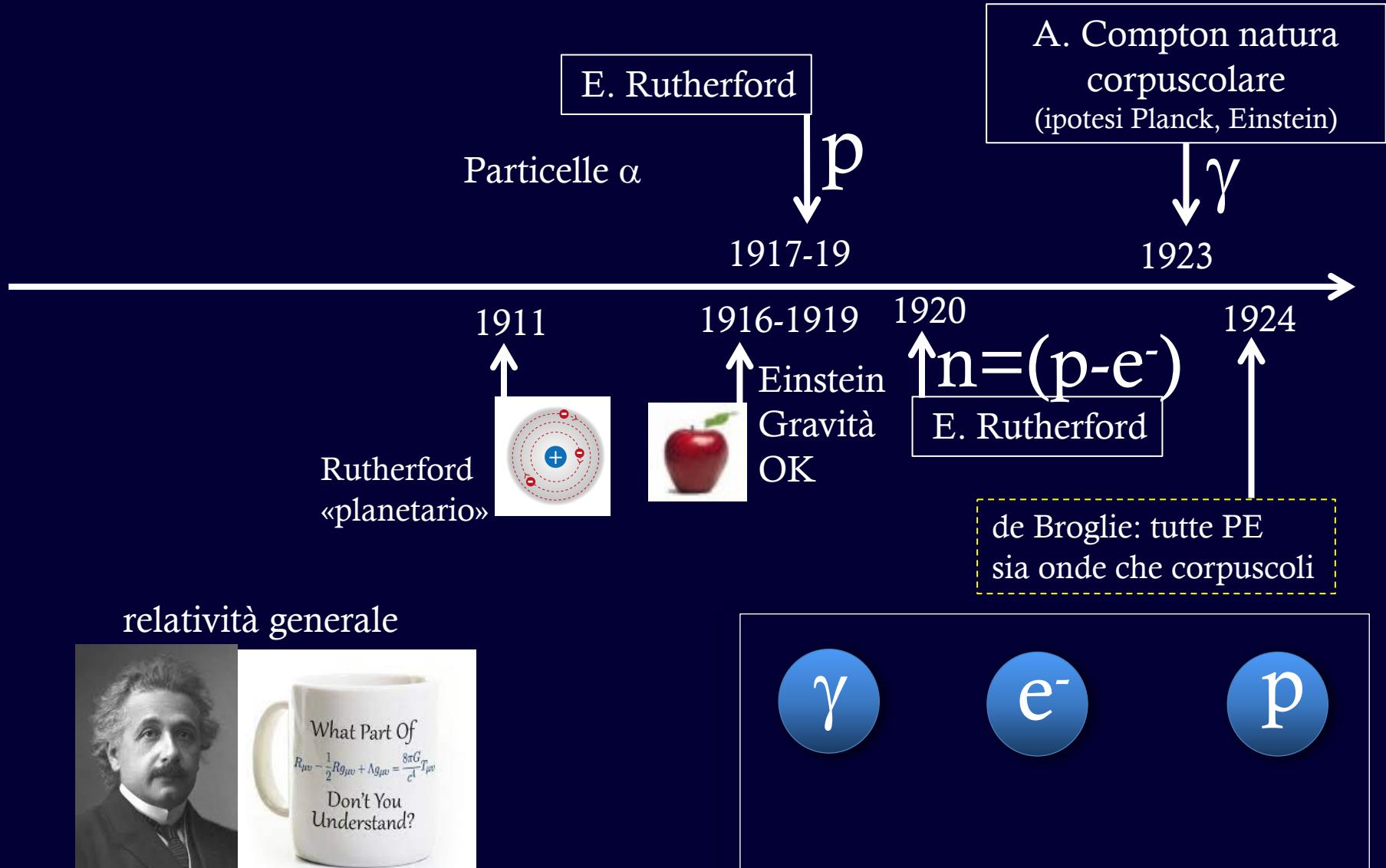
relatività generale



PARTICELLE ELEMENTARI

ONDE

CORPUSCOLI



ONDE

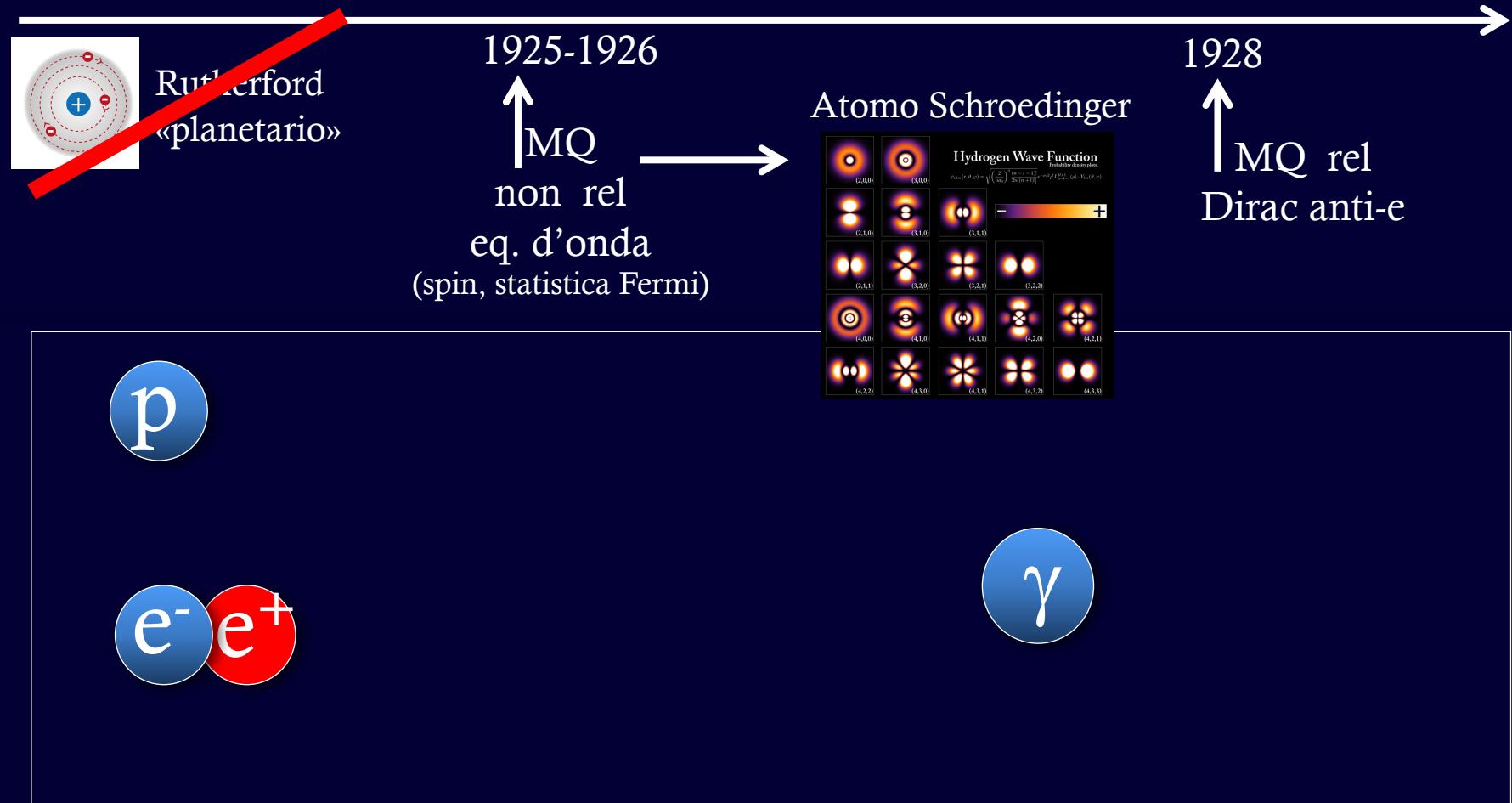
PARTICELLE ELEMENTARI

ONDE E CORPUSCOLI

Forze nucleari?

Si studiano i decadimenti  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$

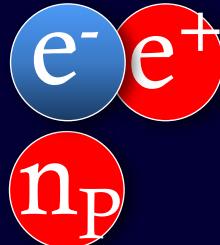
$\beta$  spettro continuo (Bohr: energia non conservata?)





1930

“neutrone”  
di Pauli per  $\beta$



Original - Photocopy of PCC 0393  
Abschrift/15.12.95 FM

Offener Brief an die Gruppe der Radioaktiven bei der  
Gauvereins-Tagung zu Tübingen.

Abschrift

Physikalisches Institut  
der Eidg. Technischen Hochschule  
Zürich

Zürich, 4. Dez. 1930  
Gloriastrasse

Liebe Radioaktive Damen und Herren,

Wie der Ueberbringer dieser Zeilen, den ich huldvollst  
anzuhören bitte, Ihnen des näheren auseinandersetzen wird, bin ich  
angesichts der "falschen" Statistik der N- und Li-6 Kerne, sowie  
des kontinuierlichen beta-Spektrums auf einen verzweifelten Ausweg  
verfallen um den "Wechselsatz" (1) der Statistik und den Energiesatz  
zu retten. Nämlich die Möglichkeit, es könnten elektrisch neutrale  
Teilchen, die ich Neutronen nennen will, in den Kernen existieren,  
welche den Spin 1/2 haben und das Ausschliessungsprinzip befolgen und  
sich von Lichtquanten wusserdem noch dadurch unterscheiden, dass sie  
nicht mit Lichtgeschwindigkeit laufen. Die Masse der Neutronen  
möchte von derselben Grossenordnung wie die Elektronenmasse sein und  
jedenfalls nicht grösser als 0,01 Protonenmasse.. Das kontinuierliche  
beta- Spektrum wäre dann verständlich unter der Annahme, dass beim  
beta- Zerfall mit dem Elektron jeweils noch ein Neutron emittiert  
wird, derart, dass die Summe der Energien von Neutron und Elektron  
konstant ist.





J. Chadwick

n  
↓

1932

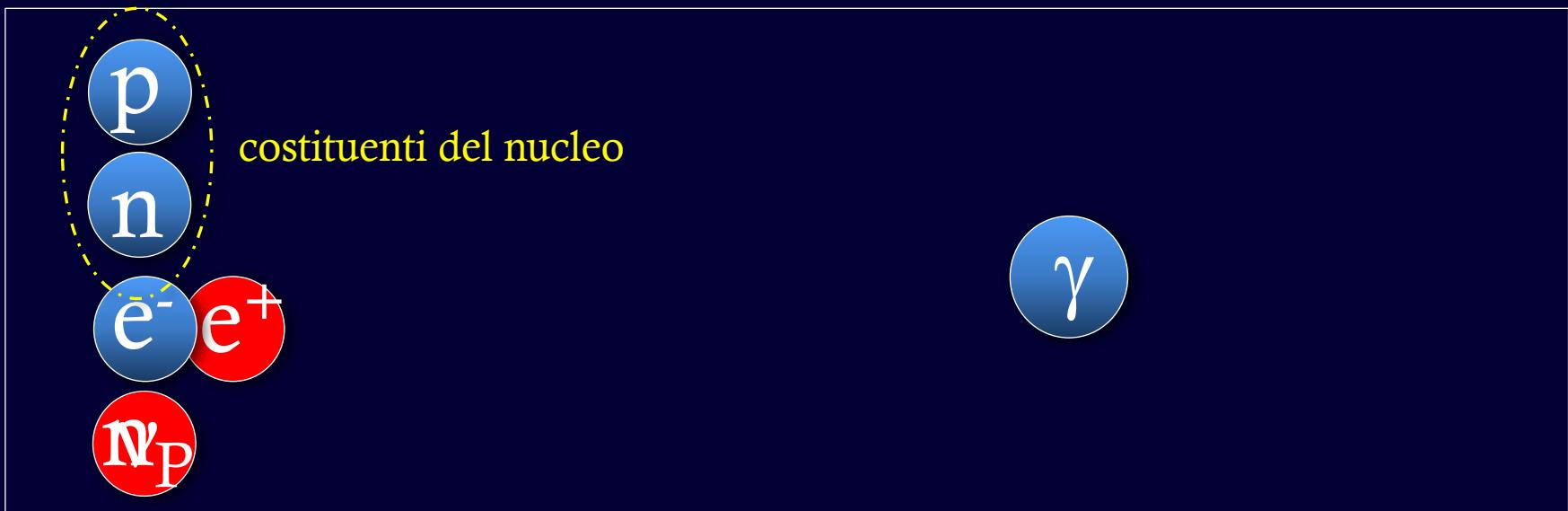


1930



“neutrone”  
di Pauli per  $\beta$

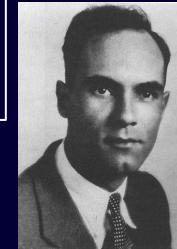
«neutrino»  
Amaldi-Fermi



J. Chadwick

C.D. Anderson  
raggi cosmici

n  
↓  
e<sup>+</sup>  
1932



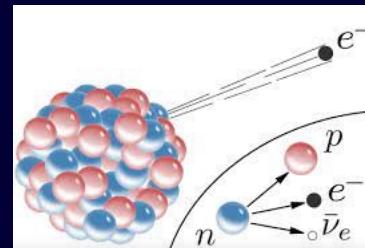
1930

“neutrino”  
di Pauli per  $\beta$

1933

$n \rightarrow p e^- \nu$

Fermi: forza debole per  $\beta$ .  
PE si trasformano le une nelle altre



p  
n  
 $e^- e^+$   
 $\nu$



PE non «alla Democrito»!

TENTATIVO DI UNA TEORIA DEI RAGGI  $\beta$

Nota <sup>(1)</sup> di ENRICO FERMI

Sunto. - Si propone una teoria quantitativa dell'emissione dei raggi  $\beta$  in cui si ammette l'esistenza del «neutrino» e si tratta l'emissione degli elettroni e dei neutrini da un nucleo all'atto della disintegrazione  $\beta$  con un procedimento simile a quello seguito nella teoria dell'irradiazione per descrivere l'emissione di un quanto di luce da un atomo eccitato. Vengono dedotte delle formule per la vita media e per la forma dello spettro continuo dei raggi  $\beta$ , e le si confrontano coi dati sperimentali.

C.D. Anderson raggi cosmici  
per 10 anni scambiato per  $\pi$

$\downarrow \mu^{+,-}$

1937

1935

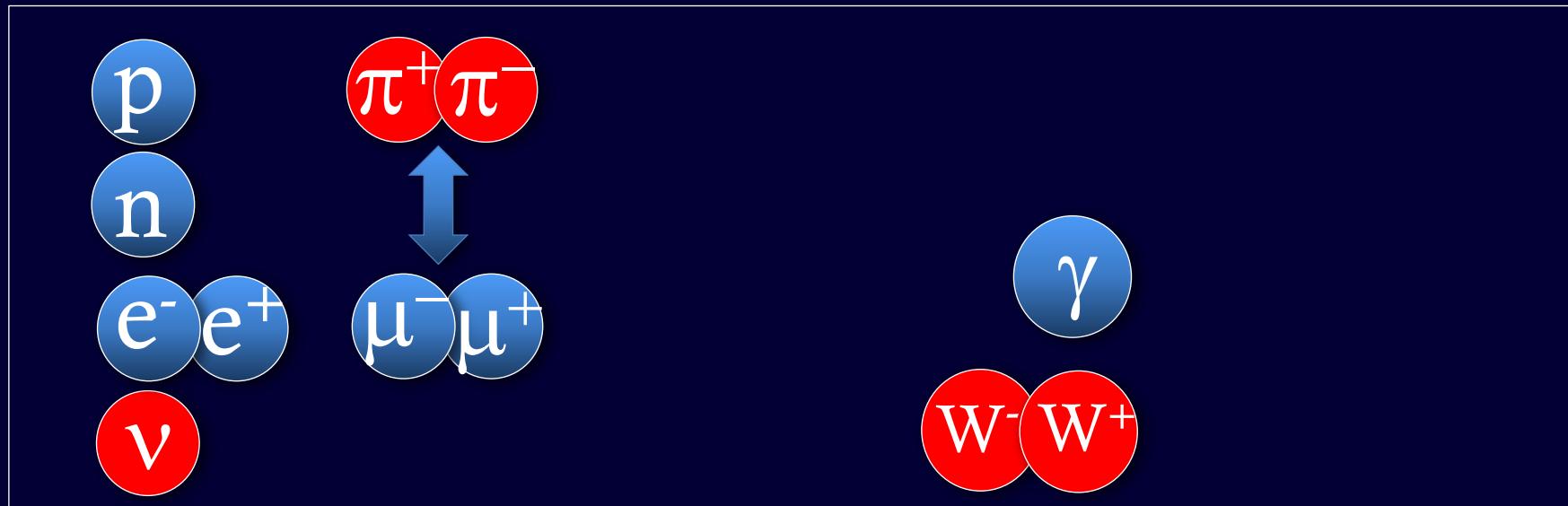
$\uparrow \pi^{+-}$

Yukawa: PE-forza  
massive per int forti

1938

$\uparrow W^{+-}$

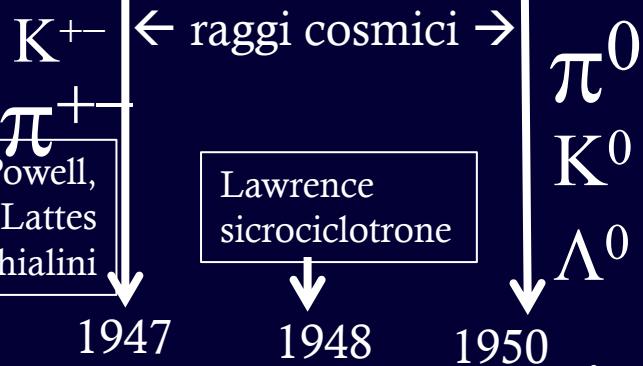
Klein: PE-forza  
massive per int deboli



C.D. Anderson raggi cosmici  
per 10 anni scambiato per  $\pi$

$\downarrow \mu^{+,-}$

1937



1935

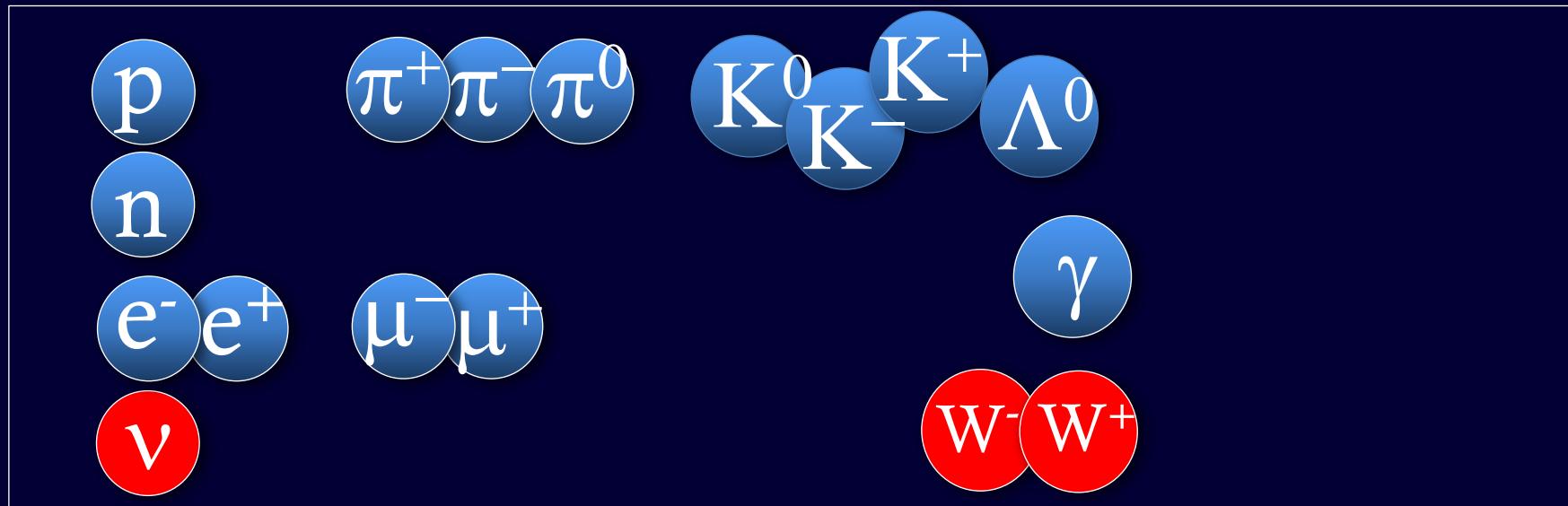
$\uparrow \pi^{+-}$

Yukawa: PE-forza  
massive per int forti

1938

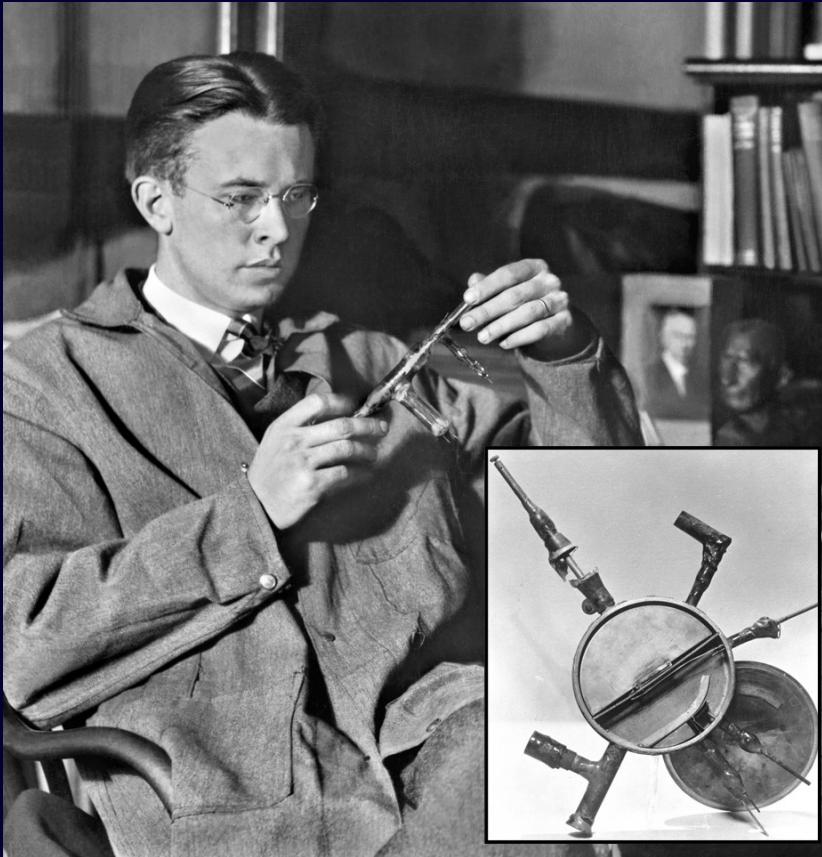
$\uparrow W^{+-}$

Klein: PE-forza  
massive per int deboli



# I CICLOTRONI DI LAWRENCE

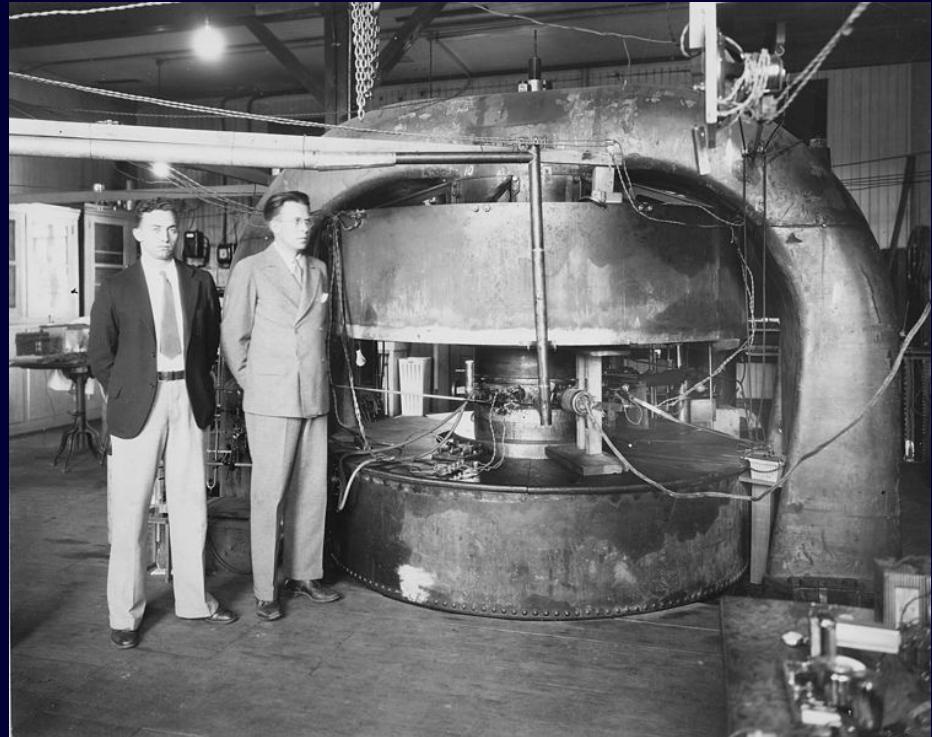
1930:  
Ciclotrone da 5 pollici  
(costava 25 dollari)



# I CICLOTRONI DI LAWRENCE

1930:  
Ciclotrone da 5 pollici  
(costava 25 dollari)

1932:  
Ciclotrone da 27 pollici



# I CICLOTRONI DI LAWRENCE

1930:  
Ciclotrone da 5 pollici  
(costava 25 dollari)

1932:  
Ciclotrone da 27 pollici

1942: progetto  
Manhattan: ciclotrone  
da 184 pollici per produrre  
Uranio (usato per bomba  
Hiroshima del 1945)

1946: upgrade del ciclotrone da 184 pollici che diventa un sincrociclotrone

1948: arriva a 200 MeV e produce muoni e pioni che osserva con camere a nebbia,  
come erano stati osservati 1 anno prima nei raggi cosmici



NASCE LA FISICA DELLE ALTE ENERGIE  
ITP 21/11/2023 - I.Masina

- A) I primi 50 anni del 900: perché Democrito è superato
- B) Dagli anni 50 ai 90: la corsa agli acceleratori
- C) Dal 90 ad 12: la caccia al bosone
- D) Indizi per il futuro?

# Vengono costruiti dappertutto SINCROTRONI (evoluzione del sincrociclotrone)

1950: Bevatron, negli USA. Energia di 6.3 GeV

Dopo la II guerra mondiale si sentì il bisogno di fondare un centro europeo per la ricerca. Nel 1952, 12 Paesi europei riuniscono un consiglio di scienziati, il Consiglio Europeo per la Ricerca Nucleare (CERN). Il segretario generale è Edoardo Amaldi. L'accordo è firmato nel 1954.



1957: Il **Synchro-cyclotron (SC)** del CERN.  
Energia di 600 MeV (15.7 m circ)



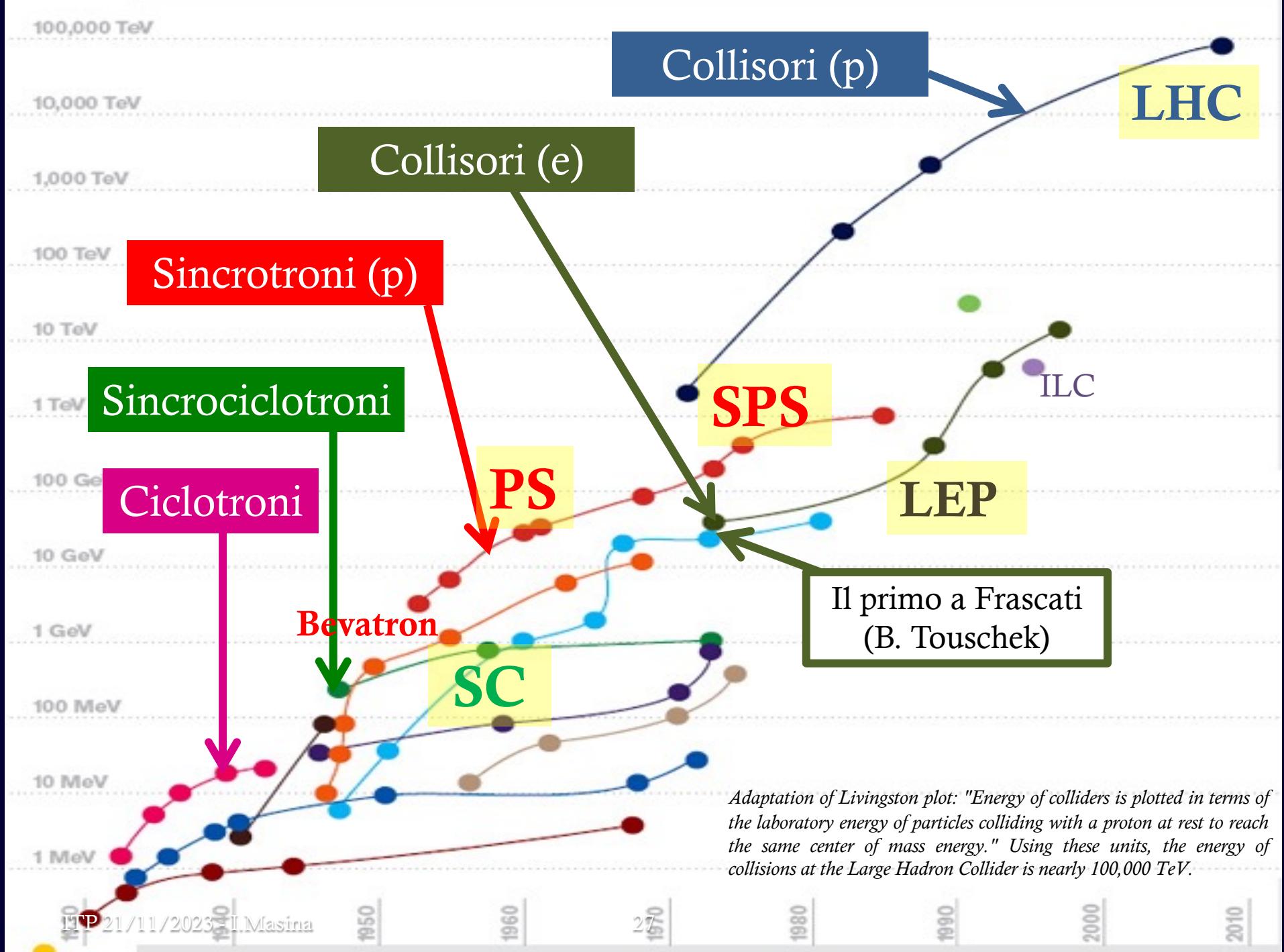
Maria Cervasi e Giuseppe Fidecaro

1959: Il **Proton Synchrotron (PS)** del CERN.  
Energia di 28 GeV (628 m circ)

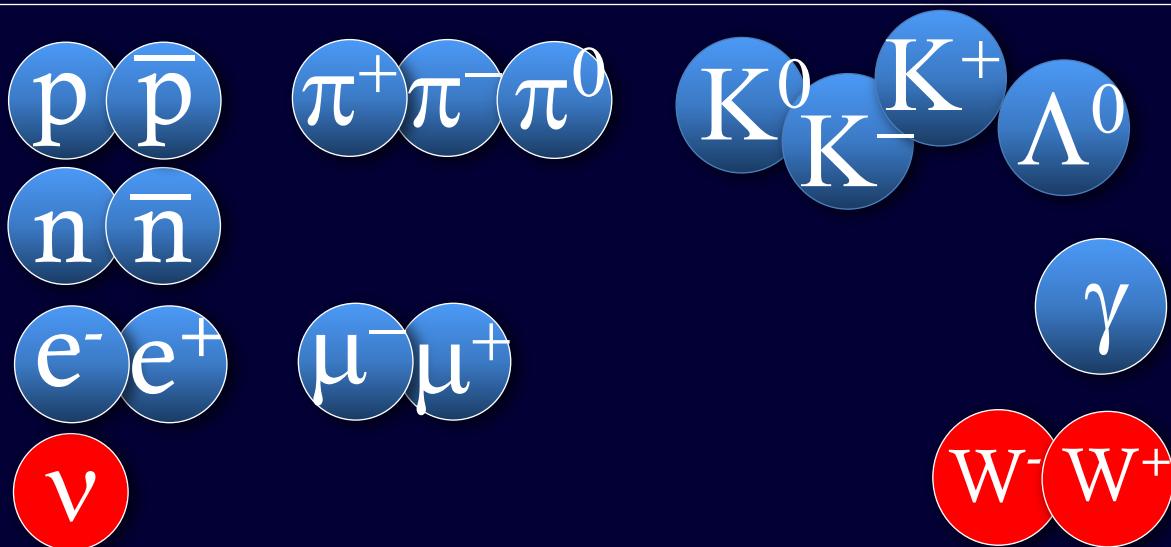
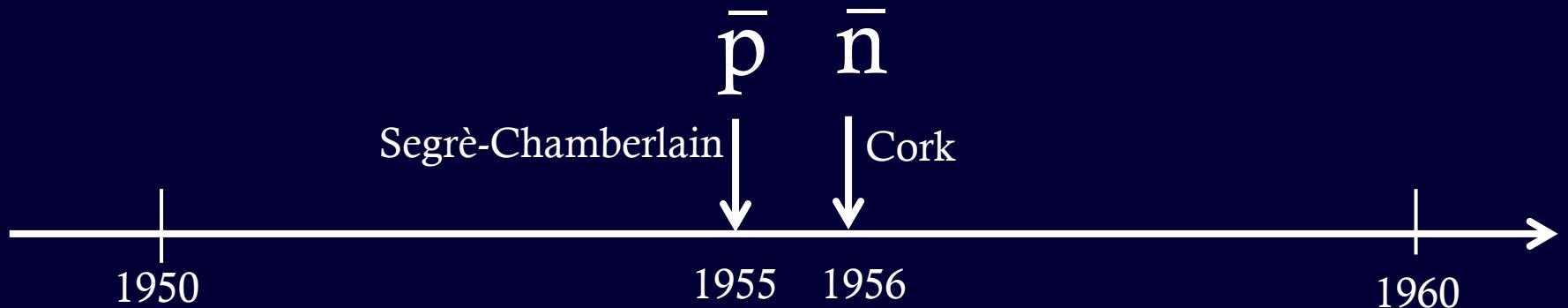


Ugo Amaldi

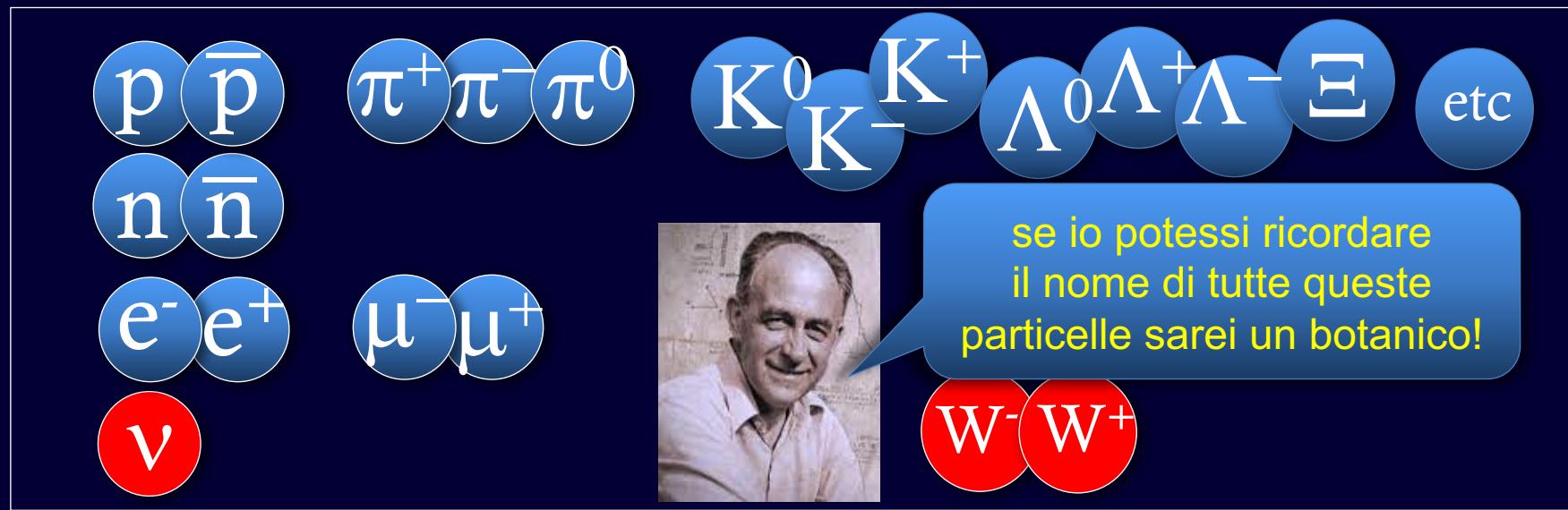
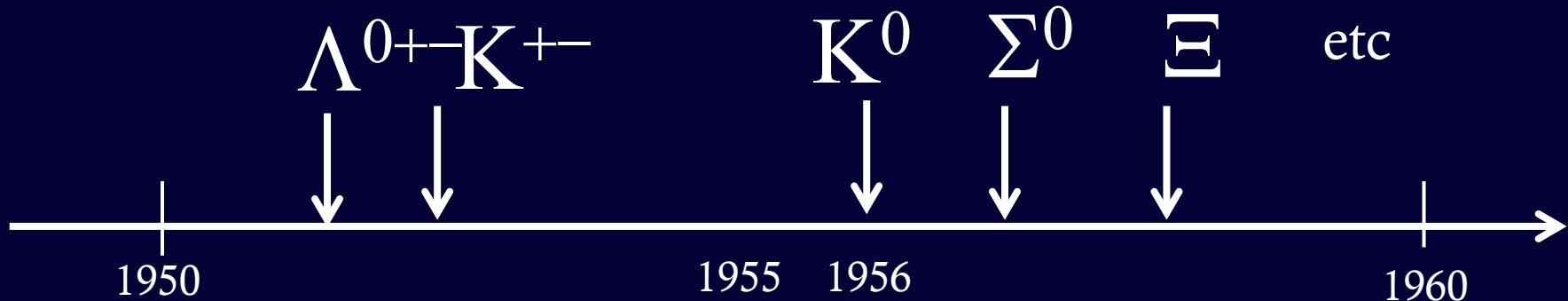
1976: Il **Super Proton Synchrotron (SPS)** del CERN.  
Energia di 400 GeV (7 km circ)



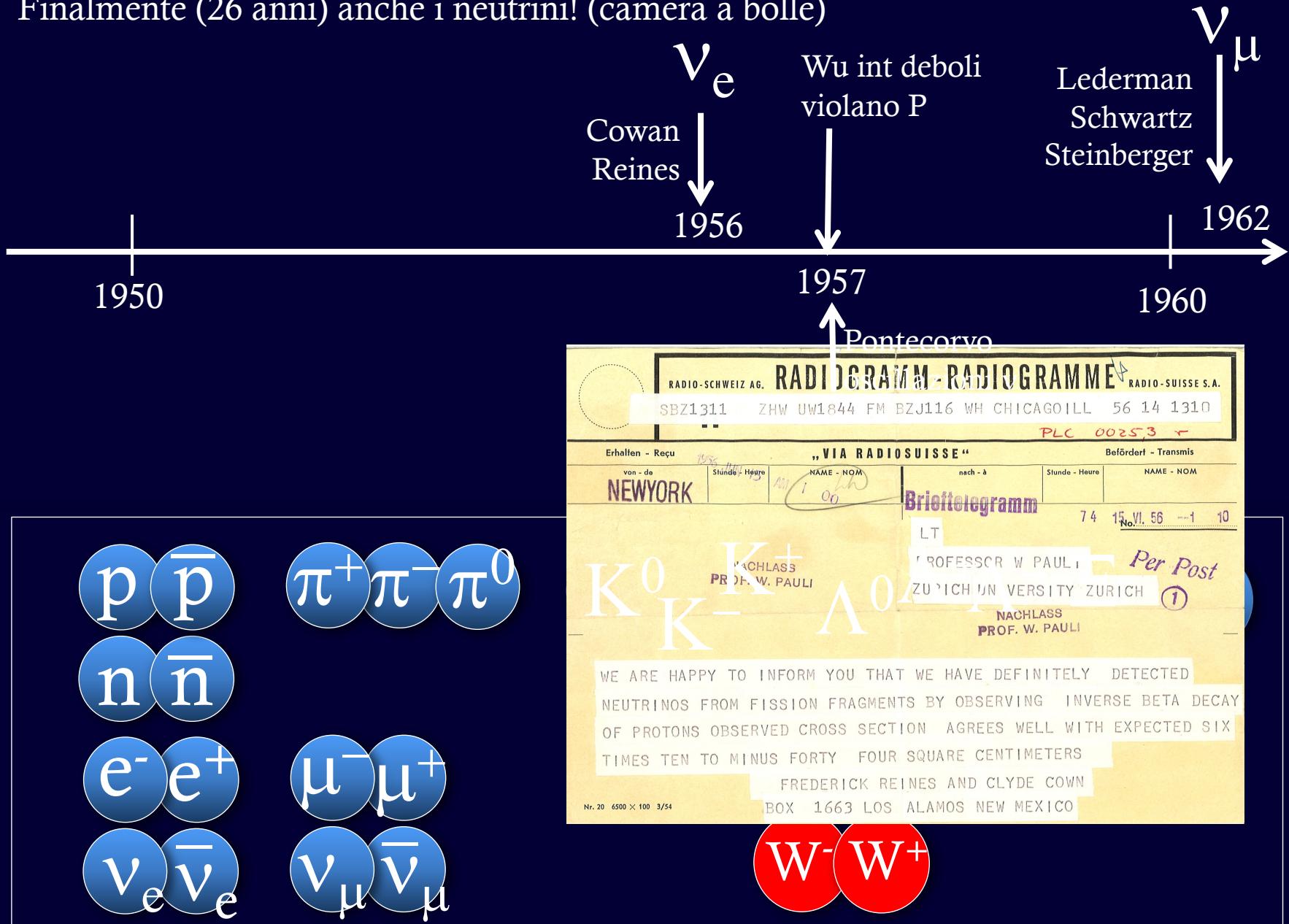
# Particelle scoperte con il sincrotrone Bevatron, LBNL



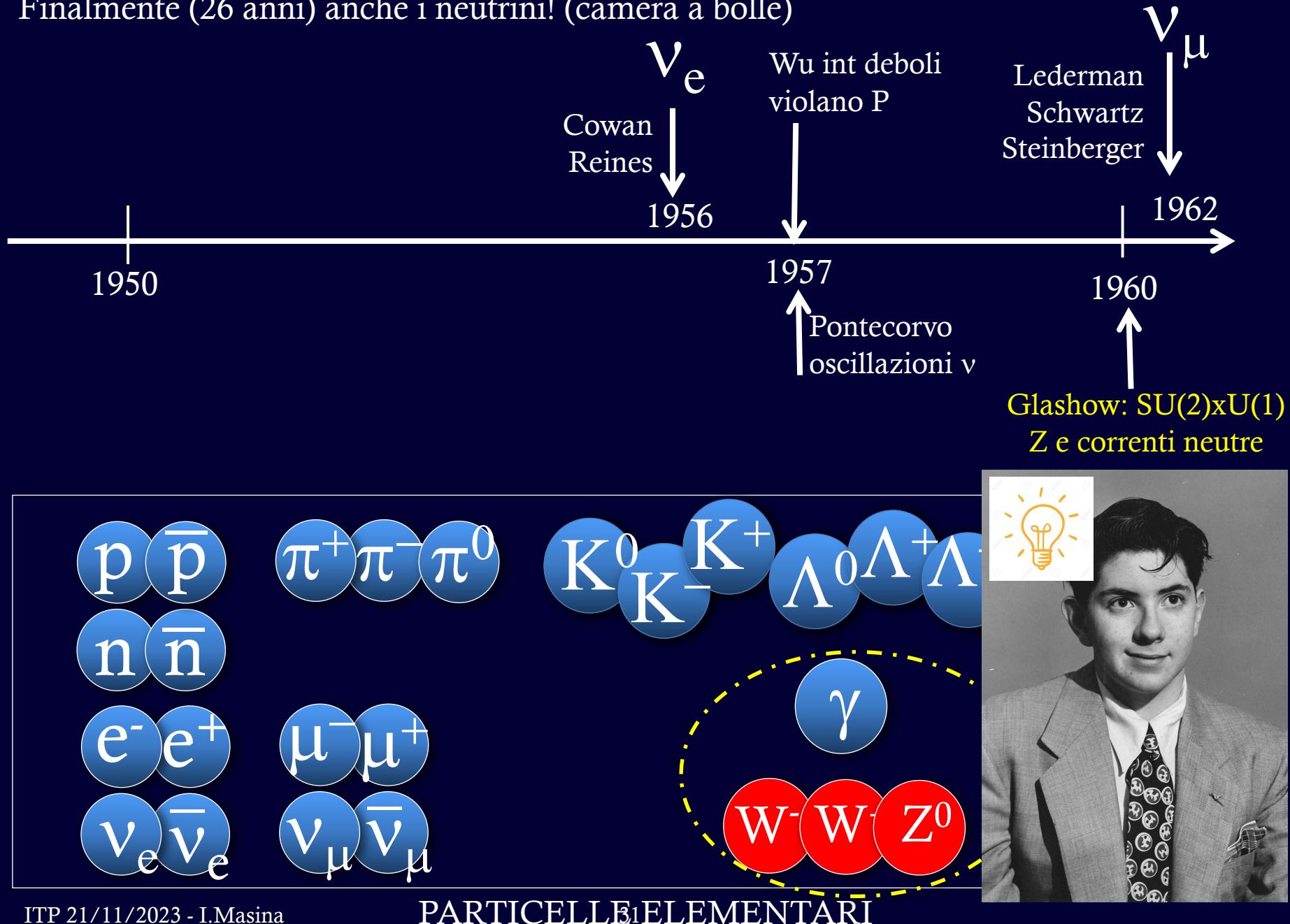
# Particelle “strane” (ri)scoperte con sincrotroni (raggi cosmici)



Finalmente (26 anni) anche i neutrini! (camera a bolle)



Finalmente (26 anni) anche i neutrini! (camera a bolle)



Cabibbo (aff CERN)  
angolo per transizioni  
“strane” delle int deboli



LBN:  $\Omega^-$

SLAC conferma  
modello quark

1960

1963

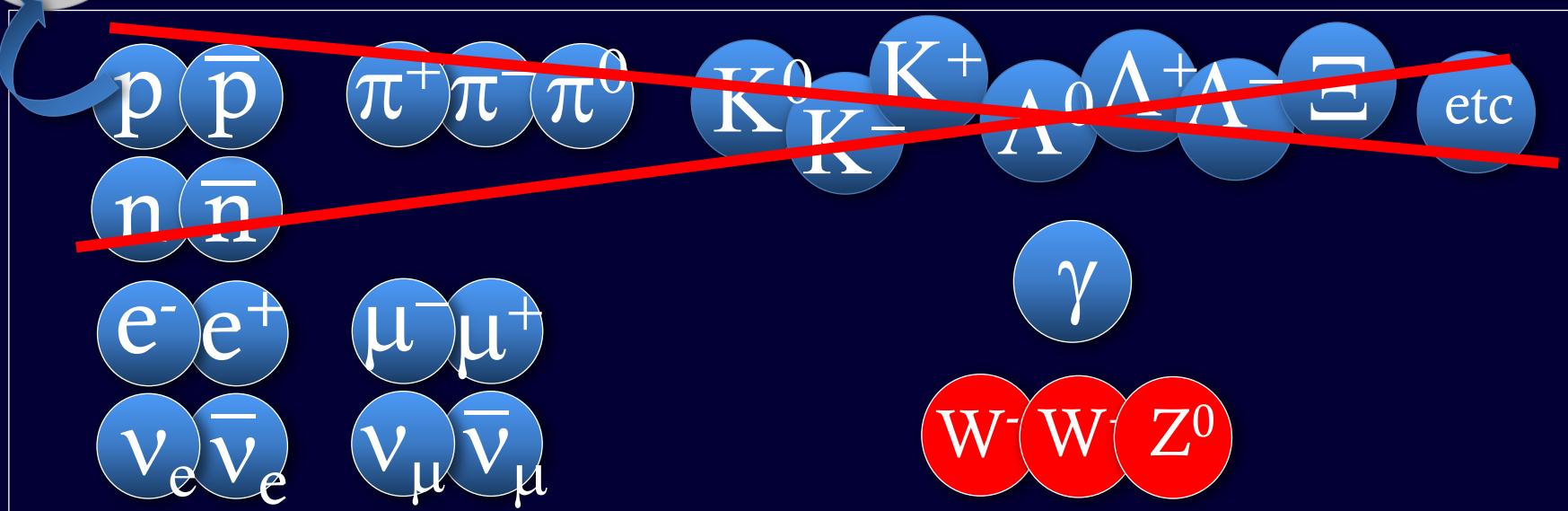
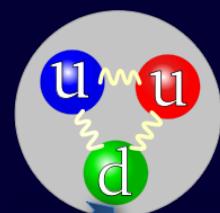
1964

1969

1970

M.Gell-Mann Zweig  
(Sakata) modello a quark  
(u d s) e gluoni (g)

Greenberg Han  
Nambu: SU(3) colore

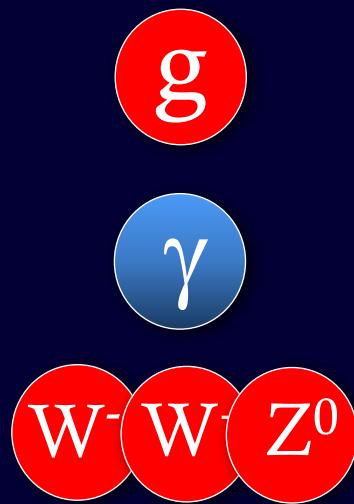


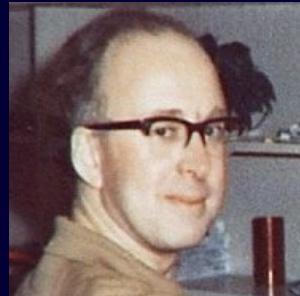
Cabibbo (aff CERN)  
angolo per transizioni  
“strane” delle int deboli



LBN:  $\Omega^-$   
(sss)

SLAC conferma  
modello quark





## Modello Standard

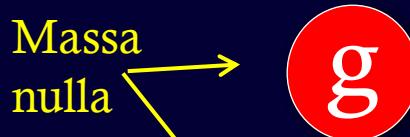
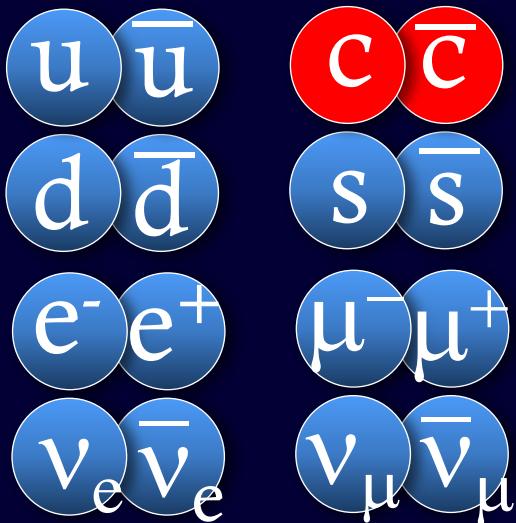
mod Glashow+mecc Higgs  
(Glashow Weinberg Salam)

1967

Fino al '64 si pensava ("teorema di Goldstone")  
**non ci fosse modo di costruire teorie  
con portatori della forza massivi**  
(senza rompere esplicitamente le simmetrie di gauge)

1964

P. Higgs smentisce questo teorema: **possono essere massivi** se esiste un "campo di Higgs" (che rompe spontaneamente la simmetria). Ciò implica  
1) un bosone ( $s=0$ ) elementare, noto come "bosone di Higgs"  
2) dare la **massa alle particelle di materia**



Correnti neutre da Z  
Gargamelle  
(CERN)

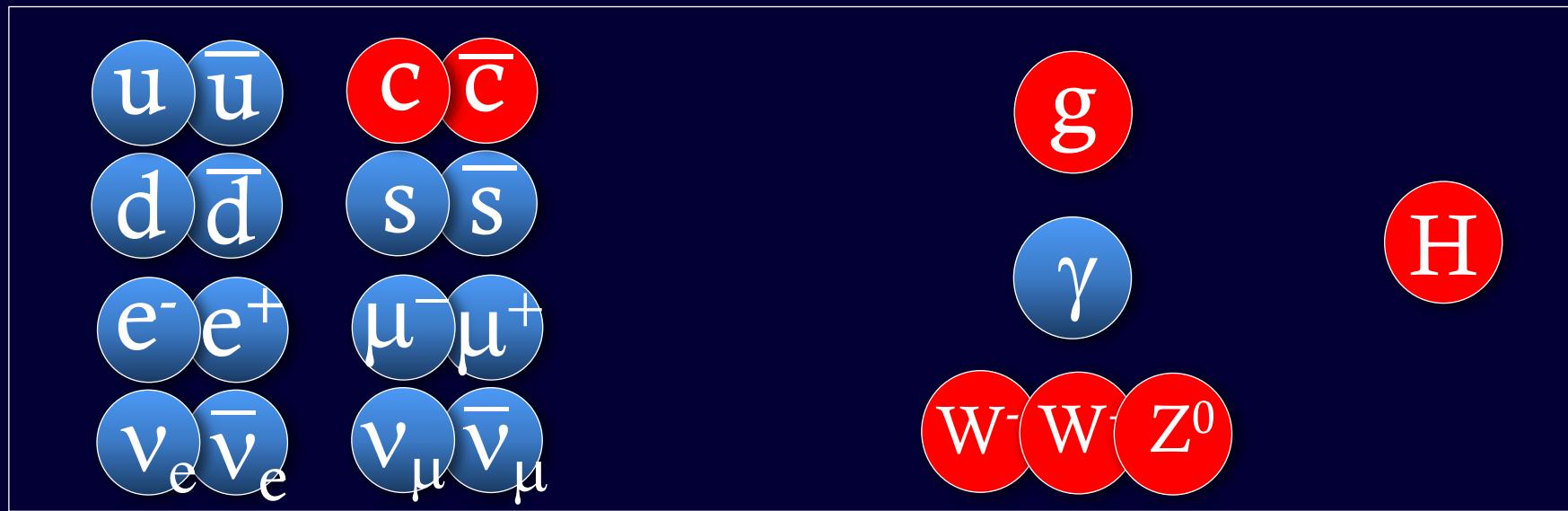


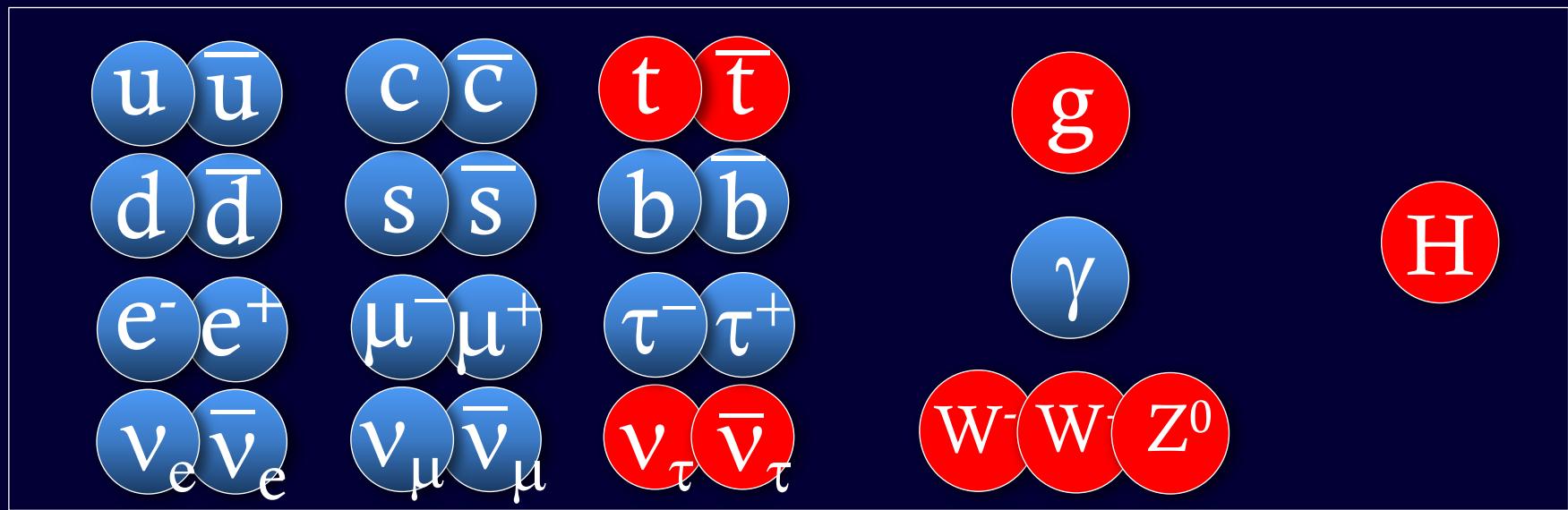
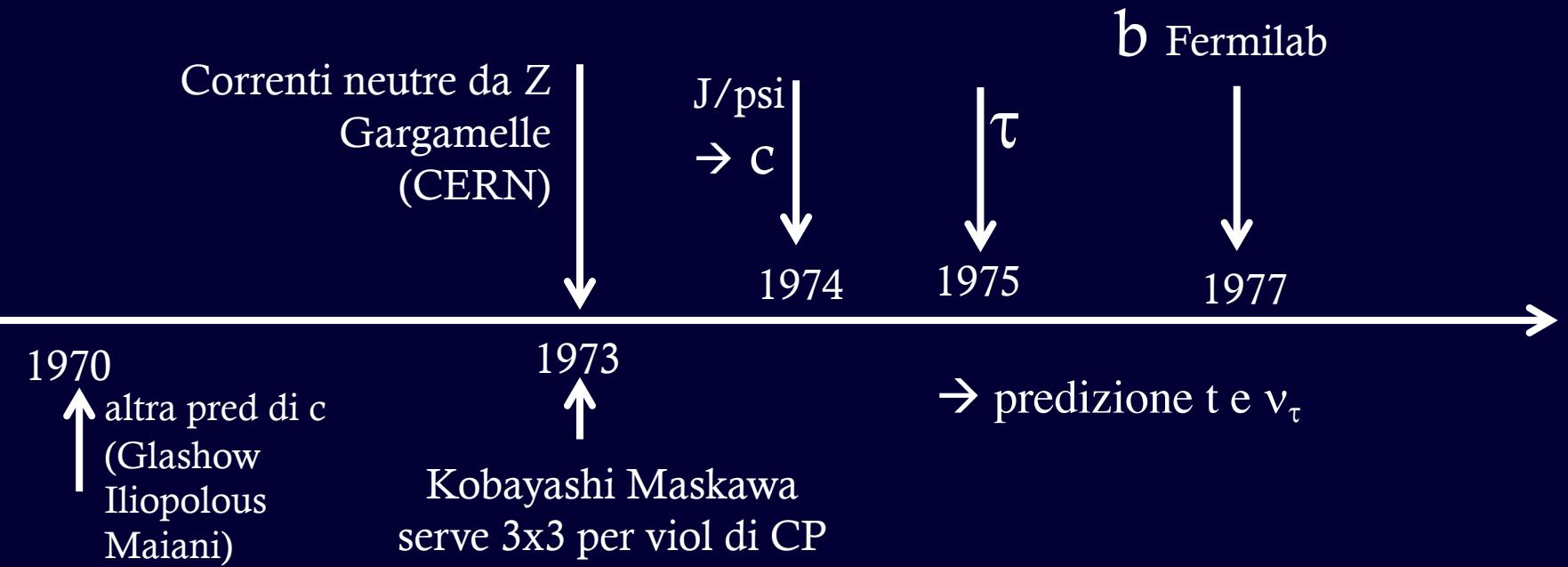
1970

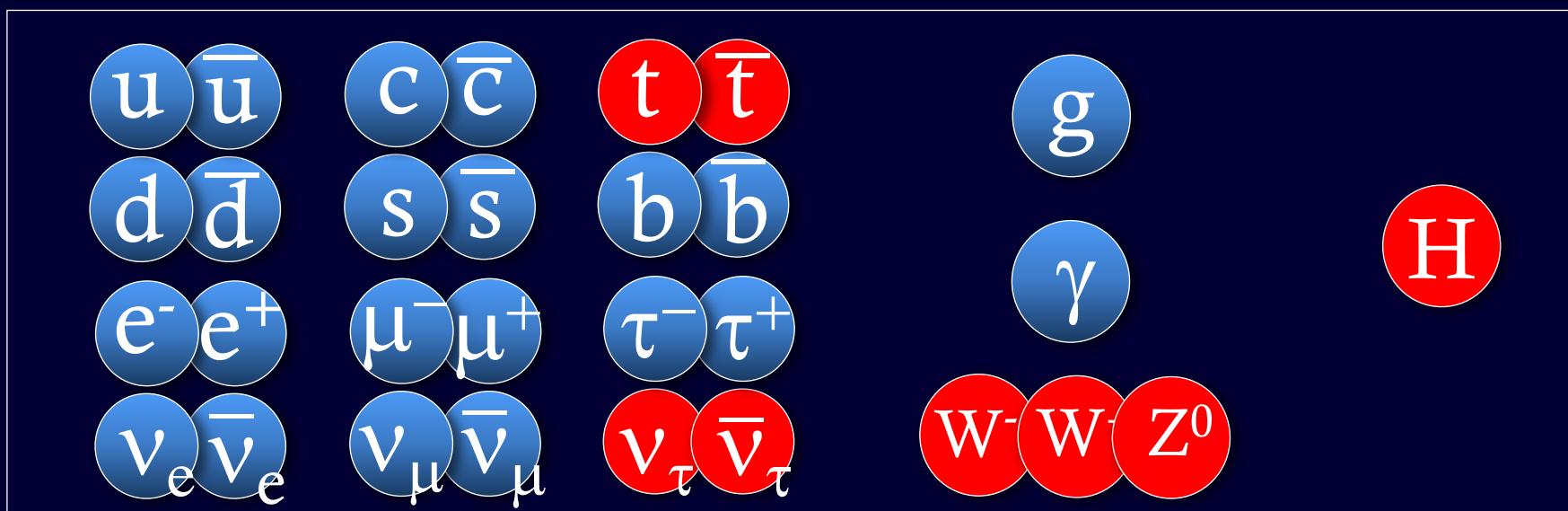
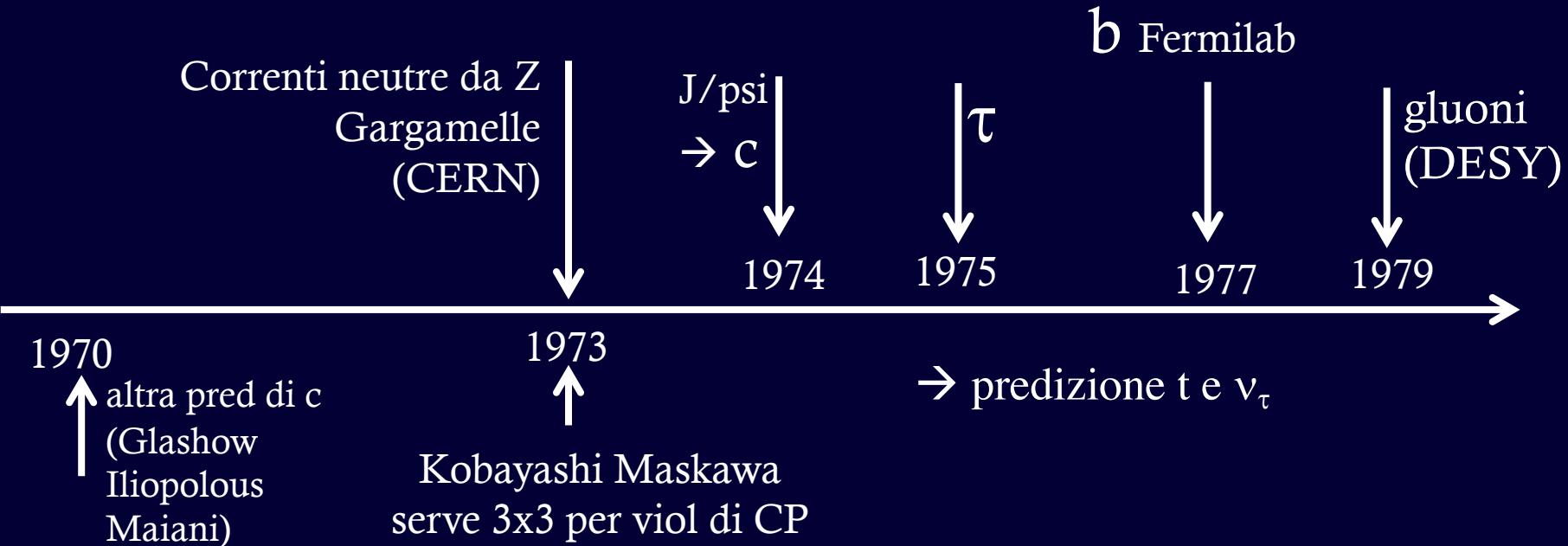
↑ altra pred di c  
(Glashow  
Iliopolous  
Maiani)

1973

Kobayashi Maskawa  
serve 3x3 per viol di CP







C. Rubbia e  
S. van der  
Meeer  
(SPS,CERN)  
W e Z

Inizio LEP  
(CERN)

Anti-H (CERN)  
t Fermilab

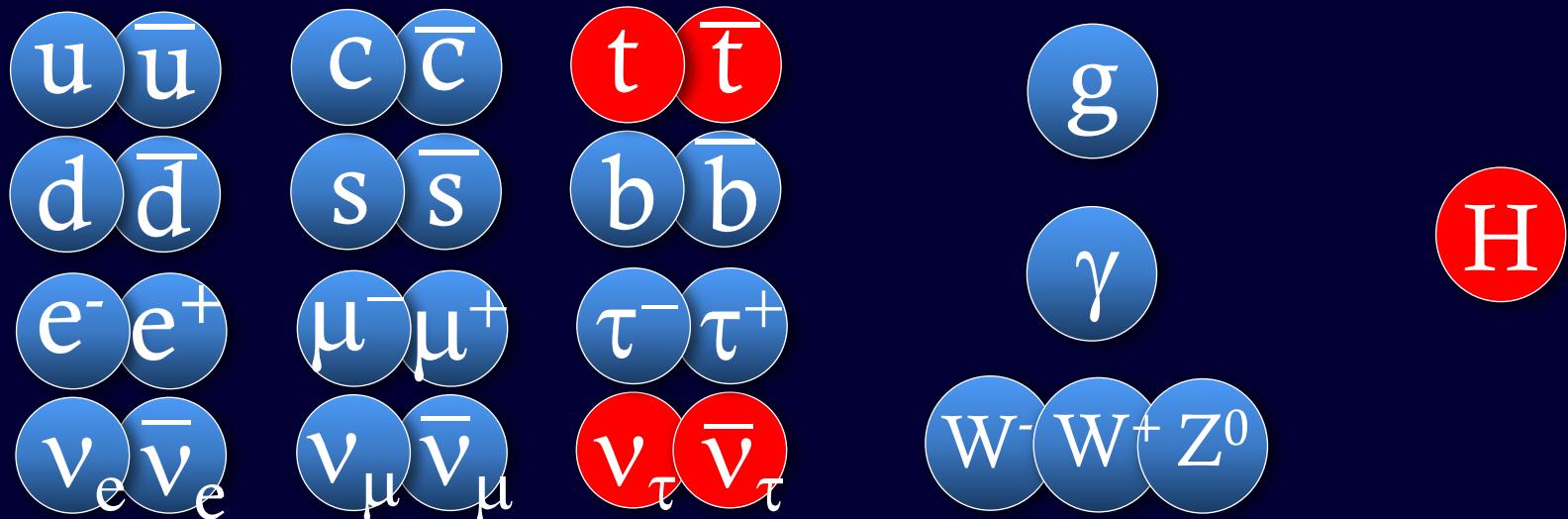
1983

1989

1995

I valori delle masse di W e  
Z erano predetti dal MS!

Non per H!



C. Rubbia e  
S. van der  
Meeer  
(SPS,CERN)  
 $W$  e  $Z$

Inizio LEP  
(CERN)

↓  
1989

Anti-H (CERN)  
 $t$  Fermilab

Chiusura LEP  
 $\nu_\tau$  Fermilab

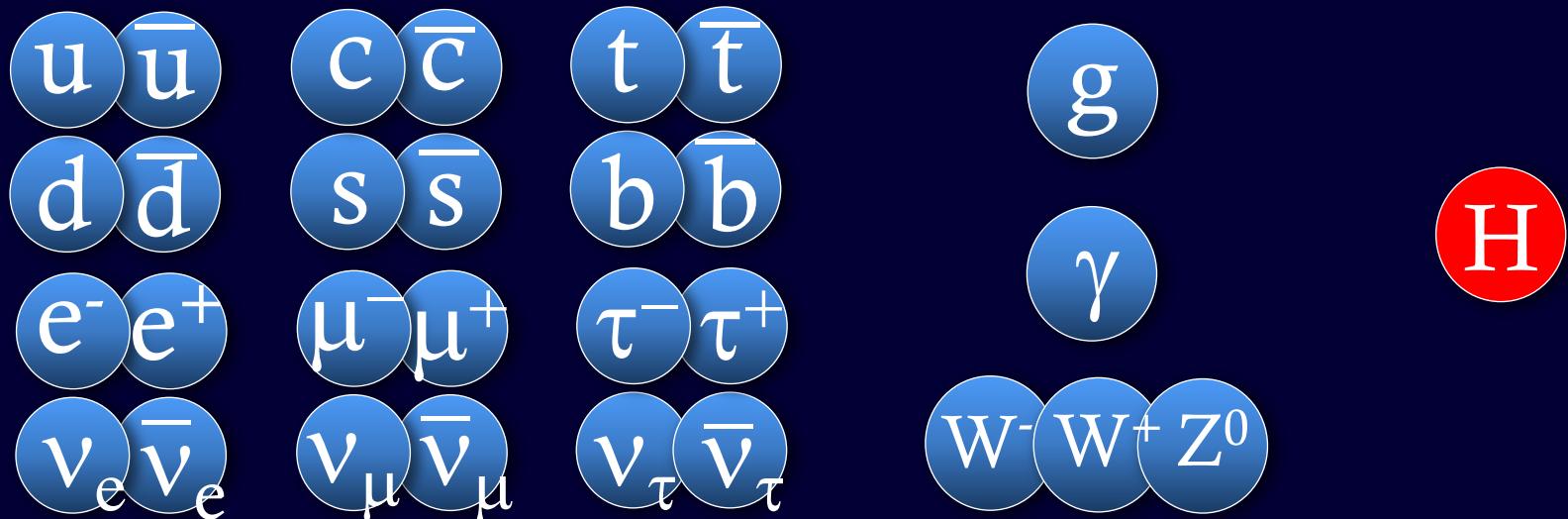
1983

1995

2000

I valori delle masse di  $W$  e  
 $Z$  erano predetti dal MS!

Non per  $H$ !

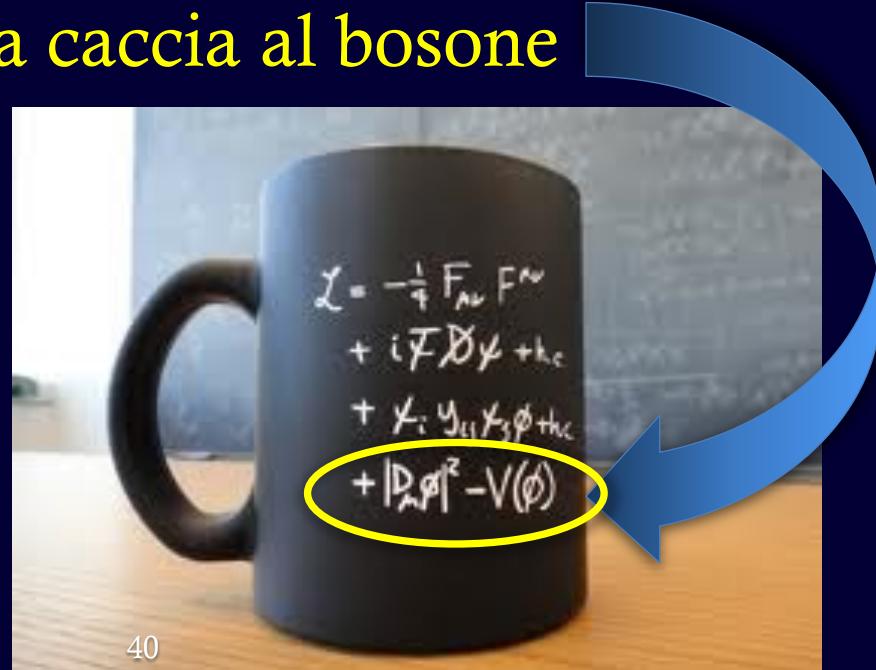


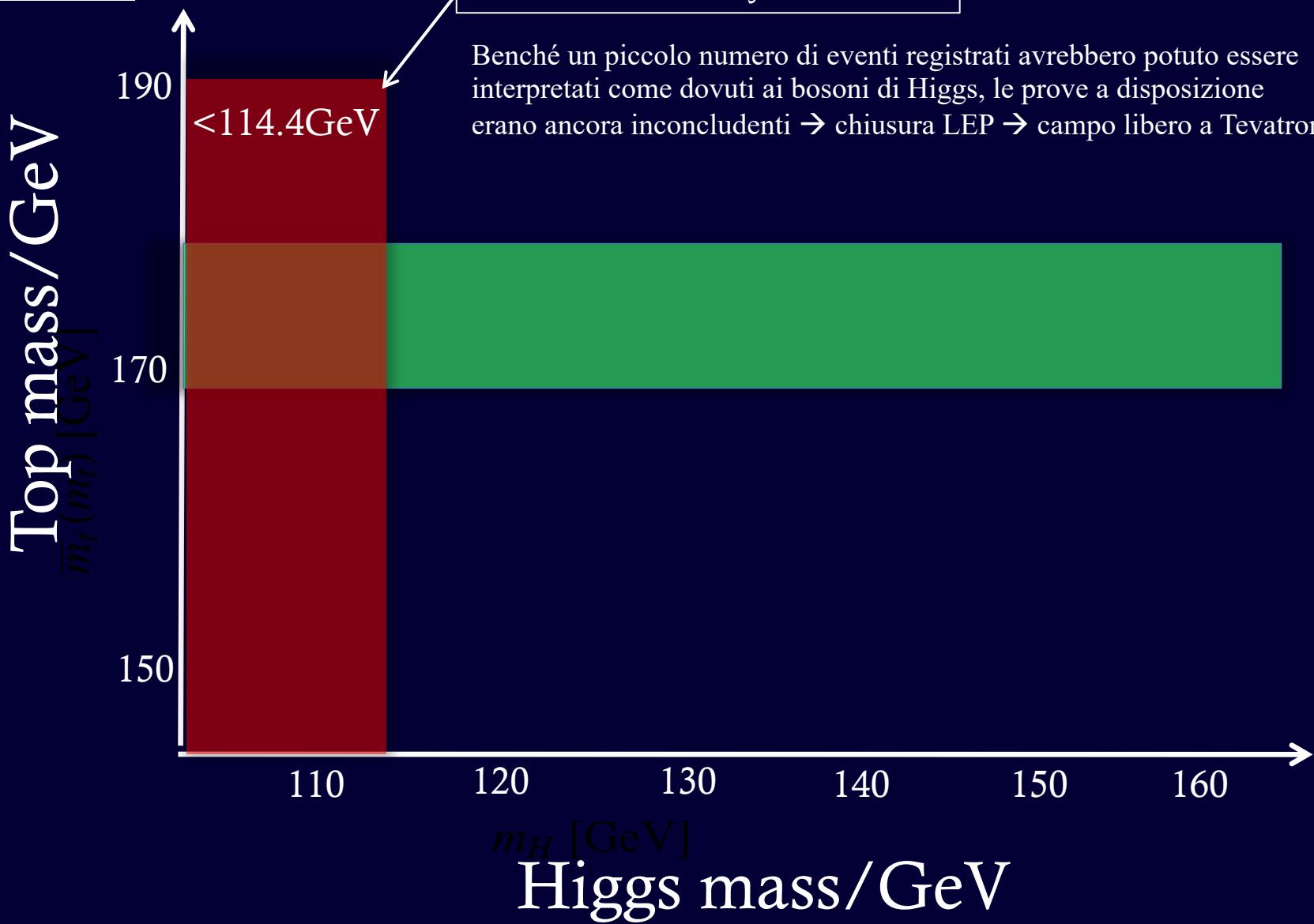
A) I primi 50 anni del 900: perché Democrito è superato

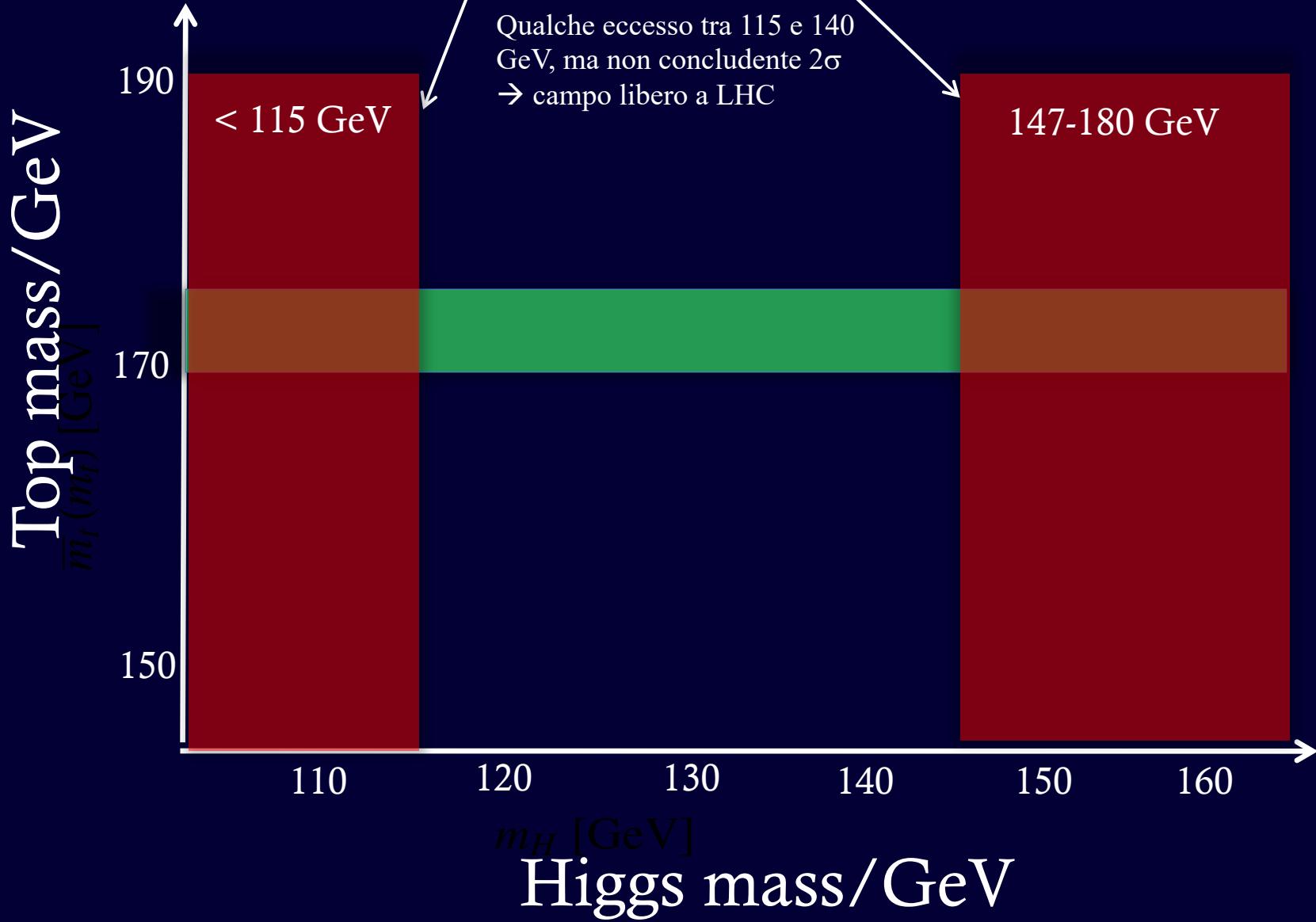
B) Dagli anni 50 ai 90: la corsa agli acceleratori

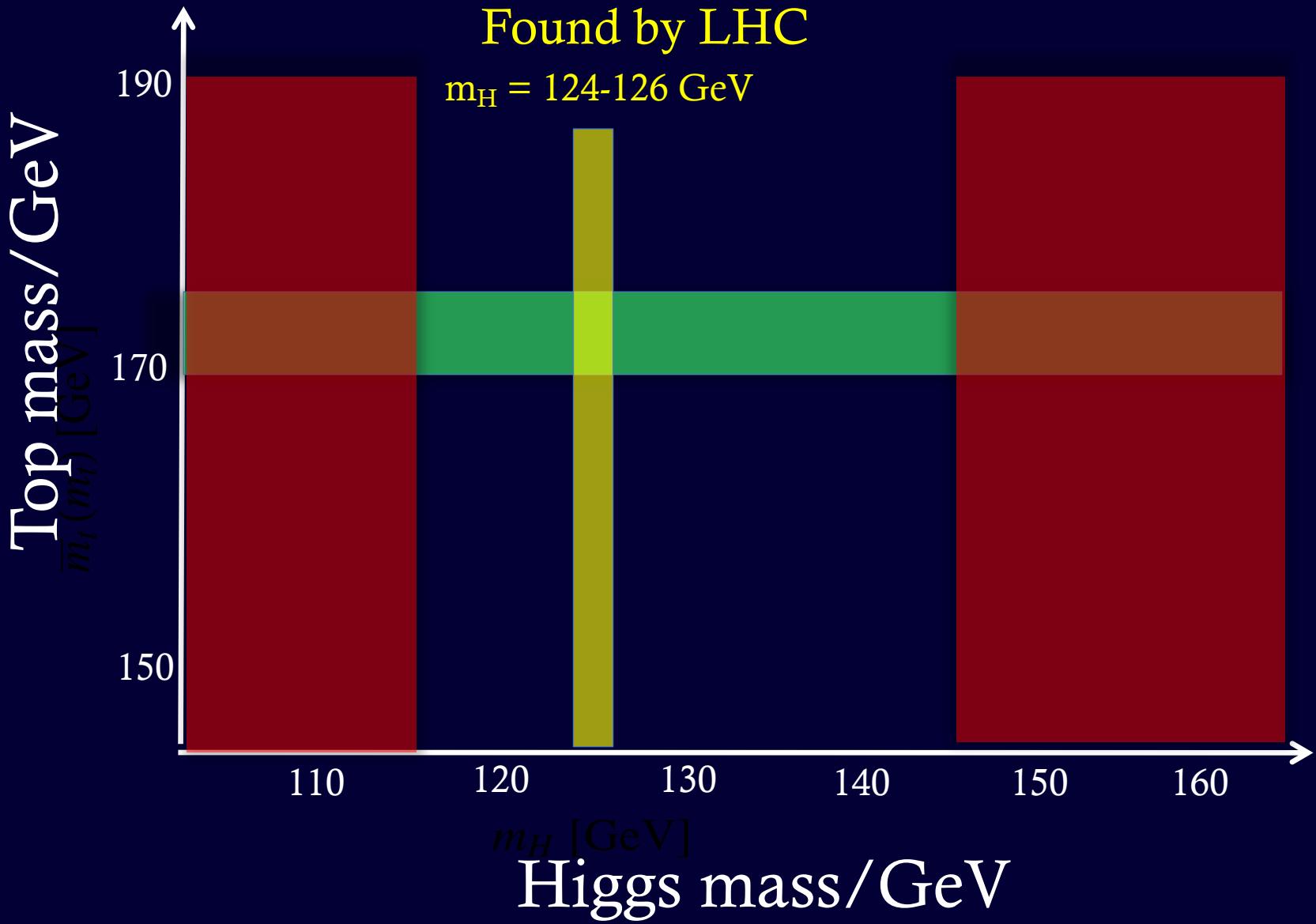
C) Dal 90 ad 12: la caccia al bosone

D) Indizi per il futuro?





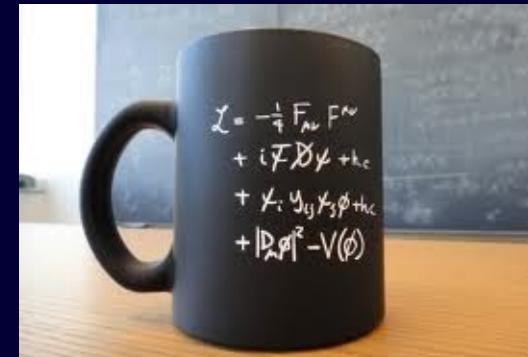




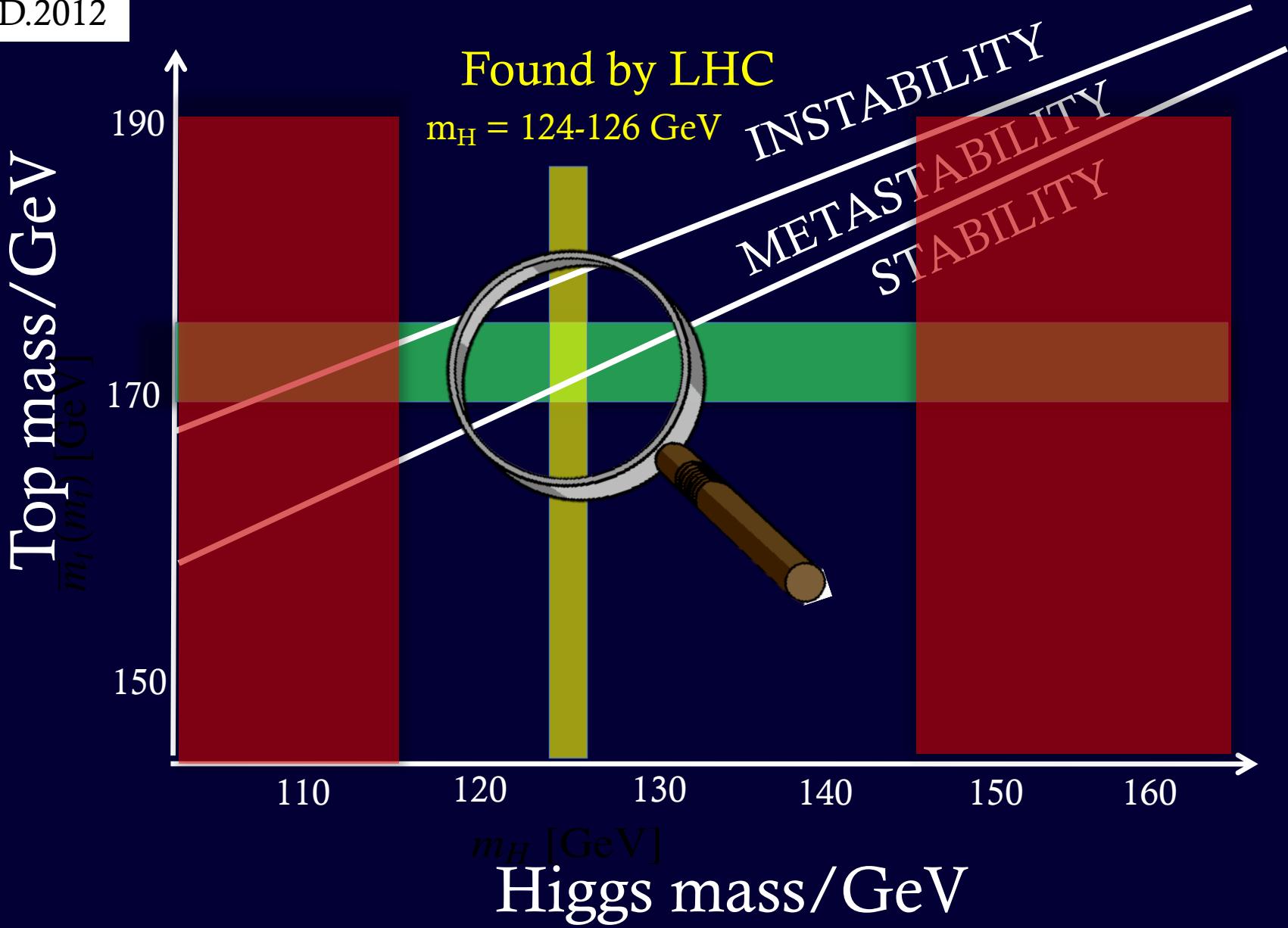
# CONCLUSIONI

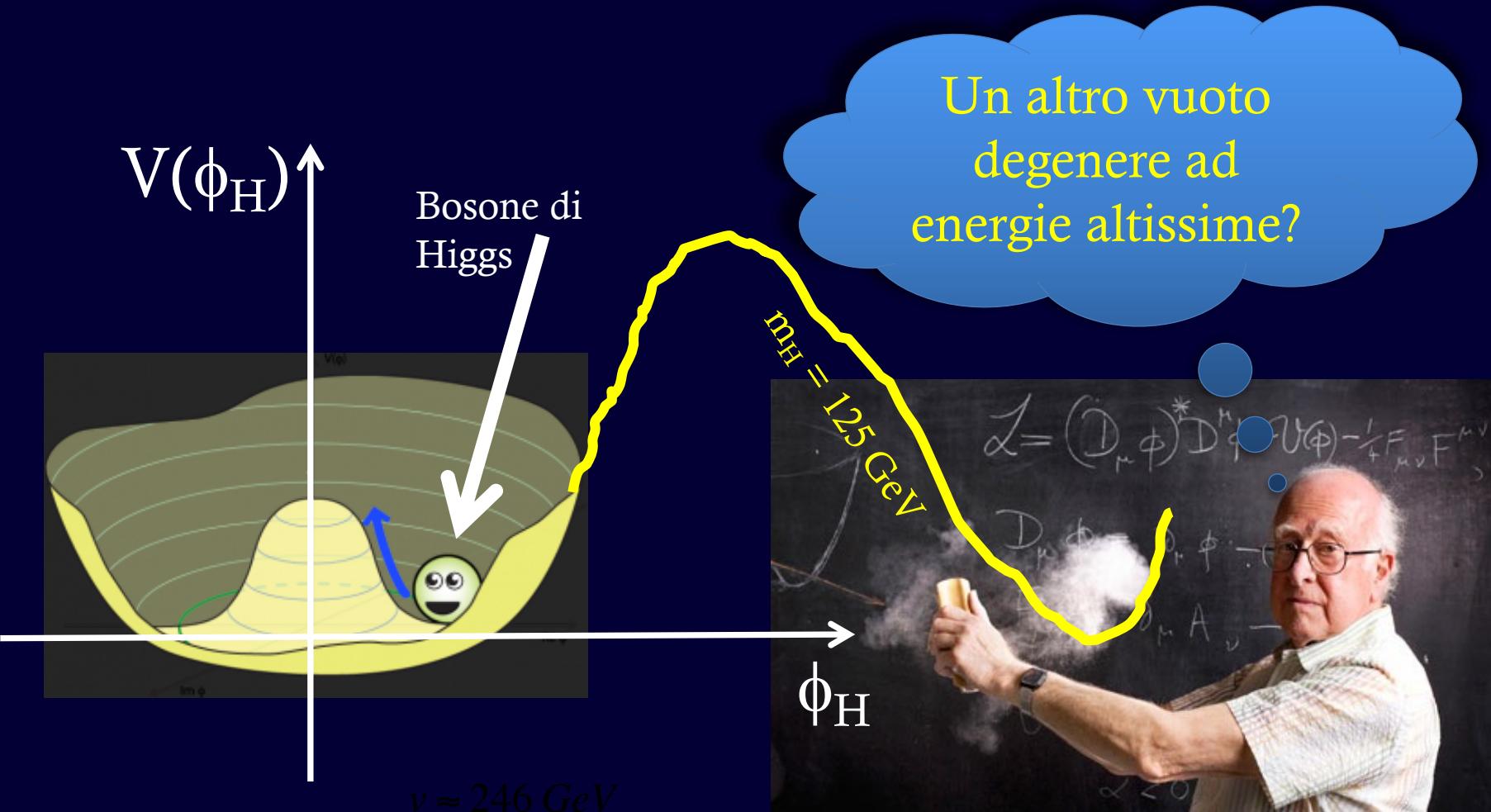


Congratulations, Mr. Higgs

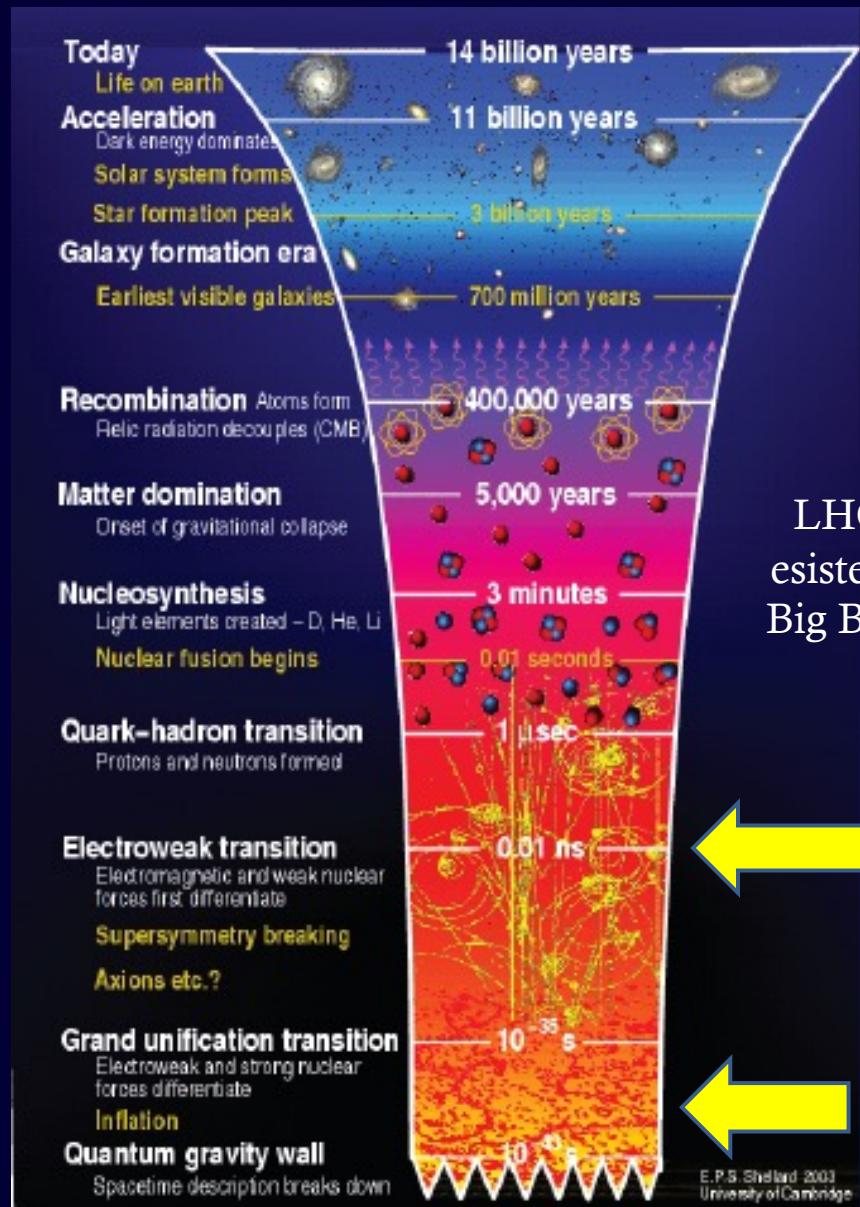


- A) I primi 50 anni del 900: perché Democrito è superato
- B) Dagli anni 50 ai 90: la corsa agli acceleratori
- C) Dal 90 ad 12: la caccia al bosone
- D) Indizi per il futuro?





Forse il bosone di Higgs ha un ruolo «cosmologico» nell'inflazione primordiale?



LHC può produrre particelle che esistevano immediatamente dopo il Big Bang e che oggi non ci sono più perché sono decadute

**questa è l'energia  
di LHC!**

# **inflazione primordiale**

# BIG BANG<sub>48</sub>