#### What next in particle physics

## Fulvio Piccinini (parte 1) Lorenzo Pezzotti (parte 2)





Pavia, 5 novembre 2019

# Fisica delle particelle di che si tratta?

da Wikipedia: "la branca **sperimentale** della fisica moderna che studia i costituenti e le interazioni fondamentali della materia e della radiazione"

aggiungerei: "e teorica"

# Fisica delle particelle di che si tratta?

da Wikipedia: "la branca **sperimentale** della fisica moderna che studia i costituenti e le interazioni fondamentali della materia e della radiazione"

aggiungerei: "e teorica"

# Fisica delle particelle di che si tratta?

da Wikipedia: "la branca **sperimentale** della fisica moderna che studia i costituenti e le interazioni fondamentali della materia e della radiazione"

aggiungerei: "e teorica"

# la particella elementare che conosciamo meglio:

 oggi ne conosciamo 12+5, molte delle quali vivono per intervalli di tempo brevissimi

## la particella elementare che conosciamo meglio: l'elettrone

 oggi ne conosciamo 12+5, molte delle quali vivono per intervalli di tempo brevissimi

## la particella elementare che conosciamo meglio: l'elettrone

 oggi ne conosciamo 12+5, molte delle quali vivono per intervalli di tempo brevissimi

# metodi per studiare le particelle elementari

• utilizzando l'universo come un laboratorio (e.g. studiando la radiazione dal cosmo)

studiando le collisioni fra particelle in laboratorio (riproducibilità degli esperimenti)

# metodi per studiare le particelle elementari

 utilizzando l'universo come un laboratorio (e.g. studiando la radiazione dal cosmo)

studiando le collisioni fra particelle in laboratorio (riproducibilità degli esperimenti)

metodi per studiare le particelle elementari

 utilizzando l'universo come un laboratorio (e.g. studiando la radiazione dal cosmo)

 studiando le collisioni fra particelle in laboratorio (riproducibilità degli esperimenti)

#### particelle dal cosmo (astroparticelle)

• I raggi cosmici interagiscono con l'atmosfera terrestre e molti vengono assorbiti prima di arrivare alla superficie terrestre





- Scoperta dell'antimateria (positrone) nel 1932
- Scoperta inattesa del muone (1936)





- cosa vuol dire vedere un oggetto? I nostri occhi raccolgono la luce diffusa dall'oggetto
- parametro determinante: potere risolutivo (distanza minima tra due punti di un oggetto che riusciamo a distinguere):  $\delta \sim \lambda \sim 1/\nu$
- con radiazione elettromagnetica visibile  $\delta \sim$  frazione di  $\mu m$
- per risolvere strutture più piccole occorre aumentare la frequenza della radiazione, oppure cambiare tipo di radiazione
- anche le particelle materiali si comportano come onde  $\Rightarrow$  microscopio elettronico ( $\delta \sim$  frazioni di nm)
- poiché  $\lambda \sim 1/p$  possiamo diminuire  $\delta$  aumentando p
- → acceleratori di particelle: sfruttando il fatto che una carica elettrica può essere accelerata in un campo elettromagnetico
- inoltre se facciamo collidere materia e antimateria possiamo mettere a disposizione tutta l'energia per produrre coppie di nuove particelle ( $E = mc^2$ )

- cosa vuol dire vedere un oggetto? I nostri occhi raccolgono la luce diffusa dall'oggetto
- parametro determinante: potere risolutivo (distanza minima tra due punti di un oggetto che riusciamo a distinguere):  $\delta \sim \lambda \sim 1/\nu$
- con radiazione elettromagnetica visibile  $\delta \sim$  frazione di  $\mu m$
- per risolvere strutture più piccole occorre aumentare la frequenza della radiazione, oppure cambiare tipo di radiazione
- anche le particelle materiali si comportano come onde  $\Rightarrow$  microscopio elettronico ( $\delta \sim$  frazioni di nm)
- poiché  $\lambda \sim 1/p$  possiamo diminuire  $\delta$  aumentando p
- → acceleratori di particelle: sfruttando il fatto che una carica elettrica può essere accelerata in un campo elettromagnetico
- inoltre se facciamo collidere materia e antimateria possiamo mettere a disposizione tutta l'energia per produrre coppie di nuove particelle ( $E = mc^2$ )

- cosa vuol dire vedere un oggetto? I nostri occhi raccolgono la luce diffusa dall'oggetto
- parametro determinante: potere risolutivo (distanza minima tra due punti di un oggetto che riusciamo a distinguere):  $\delta \sim \lambda \sim 1/\nu$
- con radiazione elettromagnetica visibile  $\delta \sim$  frazione di  $\mu m$
- per risolvere strutture più piccole occorre aumentare la frequenza della radiazione, oppure cambiare tipo di radiazione
- anche le particelle materiali si comportano come onde  $\Rightarrow$  microscopio elettronico ( $\delta \sim$  frazioni di nm)
- poiché  $\lambda \sim 1/p$  possiamo diminuire  $\delta$  aumentando p
- → acceleratori di particelle: sfruttando il fatto che una carica elettrica può essere accelerata in un campo elettromagnetico
- inoltre se facciamo collidere materia e antimateria possiamo mettere a disposizione tutta l'energia per produrre coppie di nuove particelle ( $E = mc^2$ )

- cosa vuol dire vedere un oggetto? I nostri occhi raccolgono la luce diffusa dall'oggetto
- parametro determinante: potere risolutivo (distanza minima tra due punti di un oggetto che riusciamo a distinguere):  $\delta \sim \lambda \sim 1/\nu$
- con radiazione elettromagnetica visibile  $\delta \sim$  frazione di  $\mu m$
- per risolvere strutture più piccole occorre aumentare la frequenza della radiazione, oppure cambiare tipo di radiazione
- anche le particelle materiali si comportano come onde  $\Rightarrow$  microscopio elettronico ( $\delta \sim$  frazioni di nm)
- poiché  $\lambda \sim 1/p$  possiamo diminuire  $\delta$  aumentando p
- → acceleratori di particelle: sfruttando il fatto che una carica elettrica può essere accelerata in un campo elettromagnetico
- inoltre se facciamo collidere materia e antimateria possiamo mettere a disposizione tutta l'energia per produrre coppie di nuove particelle ( $E = mc^2$ )

#### First collider ever built: AdA, LNF (Italy), 1961-64



energia nel c.m.: 500 MeV; circonferenza  $\sim 4~{\rm m}$ 

- VEP-1 collider, Novosibirsk (Russia)
- collider più potente oggi: LHC, CERN, 2010  $\Longrightarrow \sim 2040$

energia nel c.m.: 14 TeV; circonferenza  $\sim 27$  km

#### First collider ever built: AdA, LNF (Italy), 1961-64



energia nel c.m.: 500 MeV; circonferenza  $\sim 4$  m

- VEP-1 collider, Novosibirsk (Russia)
- collider più potente oggi: LHC, CERN, 2010  $\Longrightarrow \sim 2040$

energia nel c.m.: 14 TeV; circonferenza  $\sim 27~{\rm km}$ 

- paradigma teorico di riferimento: teoria quantistica dei campi (sorta dal connubio tra meccanica quantistica e relatività ristretta)
- particelle: eccitazioni dei campi sullo stato fondamentale (vuoto)
- dinamica dei campi e loro interazioni specificate dalla (densità di) Lagrangiana
  - principi di simmetria alla radice della forma delle interazioni
  - es.: la QED può essere ottenuta partendo dall'elettrone libero e richiedendo l'invarianza locale per trasformazioni locali dei campi
  - interazioni mediate dallo scambio di bosoni di gauge
- in questo quadro, la massa delle particelle (elementari) viene descritta mediante un'interazione con il campo di Higgs

- paradigma teorico di riferimento: teoria quantistica dei campi (sorta dal connubio tra meccanica quantistica e relatività ristretta)
- particelle: eccitazioni dei campi sullo stato fondamentale (vuoto)
- dinamica dei campi e loro interazioni specificate dalla (densità di) Lagrangiana
  - principi di simmetria alla radice della forma delle interazioni
  - es.: la QED può essere ottenuta partendo dall'elettrone libero e richiedendo l'invarianza locale per trasformazioni locali dei campi
  - interazioni mediate dallo scambio di bosoni di gauge
- in questo quadro, la massa delle particelle (elementari) viene descritta mediante un'interazione con il campo di Higgs

- paradigma teorico di riferimento: teoria quantistica dei campi (sorta dal connubio tra meccanica quantistica e relatività ristretta)
- particelle: eccitazioni dei campi sullo stato fondamentale (vuoto)
- dinamica dei campi e loro interazioni specificate dalla (densità di) Lagrangiana
  - principi di simmetria alla radice della forma delle interazioni
  - es.: la QED può essere ottenuta partendo dall'elettrone libero e richiedendo l'invarianza locale per trasformazioni locali dei campi
  - interazioni mediate dallo scambio di bosoni di gauge
- in questo quadro, la massa delle particelle (elementari) viene descritta mediante un'interazione con il campo di Higgs

- paradigma teorico di riferimento: teoria quantistica dei campi (sorta dal connubio tra meccanica quantistica e relatività ristretta)
- particelle: eccitazioni dei campi sullo stato fondamentale (vuoto)
- dinamica dei campi e loro interazioni specificate dalla (densità di) Lagrangiana
  - principi di simmetria alla radice della forma delle interazioni
  - es.: la QED può essere ottenuta partendo dall'elettrone libero e richiedendo l'invarianza locale per trasformazioni locali dei campi
  - interazioni mediate dallo scambio di bosoni di gauge
- in questo quadro, la massa delle particelle (elementari) viene descritta mediante un'interazione con il campo di Higgs

VOLUME 19, NUMBER 21

PHYSICAL REVIEW LETTERS

20 NOVEMBER 1967

<sup>11</sup> In obtaining the expression (11) the mass difference between the charged and neutral has been ignored. <sup>12</sup>M. Ademollo and R. Gatto, Nuovo Cimento <u>44A</u>, 282 (1966); see also J. Pasupathy and R. E. Marshak, Phys. Rev. Letters <u>17</u>, 888 (1966). <sup>13</sup>Other amplitude action (10)) from the guarant also.

<sup>13</sup>The predicted ratio [eq. (12)] from the current alge-

bra is slightly larger than that (0.23%) obtained from the  $\rho$ -dominance model of Ref. 2. This seems to be true also in the other case of the ratio  $\Gamma(\eta \to \pi^+\pi^-\gamma)/$  $\Gamma(\gamma\gamma)$  calculated in Refs. 12 and 14. <sup>14</sup>L. M. Brown and P. Singer, Phys. Rev. Letters <u>8</u>, 460 (1962).

#### A MODEL OF LEPTONS\*

Steven Weinberg† Laboratory for Nuclear Science and Physics Department, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts (Received 17 October 1967)

Leptons interact only with photons, and with the intermediate bosons that presumably mediate weak interactions. What could be more natural than to unite<sup>1</sup> these spin-one bosons and on a right-handed singlet

 $R \equiv \left[\frac{1}{2}(1-\gamma_r)\right]e.$ (2)

 $\mathfrak{L} = -\frac{1}{4} (\vartheta_{\mu} \vec{\mathrm{A}}_{\nu} - \vartheta_{\nu} \vec{\mathrm{A}}_{\mu} + g \vec{\mathrm{A}}_{\mu} \times \vec{\mathrm{A}}_{\nu})^{2} - \frac{1}{4} (\vartheta_{\mu} B_{\nu} - \vartheta_{\nu} B_{\mu})^{2} - \overline{R} \gamma^{\mu} (\vartheta_{\mu} - ig' B_{\mu}) R - L \gamma^{\mu} (\vartheta_{\mu} ig \vec{\mathfrak{t}} \cdot \vec{\mathrm{A}}_{\mu} - i \frac{1}{2} g' B_{\mu}) L$ 

$$-\frac{1}{2} |\partial_{\mu} \varphi - ig \vec{A}_{\mu} \cdot \vec{t} \varphi + i \frac{1}{2} g' B_{\mu} \varphi |^2 - G_e(\overline{L} \varphi R + \overline{R} \varphi^{\dagger} L) - M_1^2 \varphi^{\dagger} \varphi + h(\varphi^{\dagger} \varphi)^2.$$
(4)





 negli ultimi decenni il settore di gauge del MS è stato sottoposto a verifiche di alta precisione mediante collider di tipo leptonico e adronico



 negli ultimi decenni il settore di gauge del MS è stato sottoposto a verifiche di alta precisione mediante collider di tipo leptonico e adronico

## l'ultimo ingrediente, il bosone di Higgs, LHC (2012)

#### confermato in due canali di decadimento:

- coppie di fotoni
- 4 leptoni (e.g. e<sup>+</sup>e<sup>-</sup>μ<sup>+</sup>μ<sup>-</sup>)



Citation: C. Patrignani et al. (Particle Data Group), Chin. Phys. C, 40, 100001 (2016)

#### $H^0$

#### J = 0

In the following  $H^0$  refers to the signal that has been discovered in the Higgs searches. Whereas the observed signal is tabled as a spin 0 particle and is called a Higgs Boson, the detailed properties of  $H^0$  and its role in the context of electroweak symmetry breaking need to be further clarified. These issues are addressed by the measurements listed below.

Concerning mass limits and cross section limits that have been obtained in the searches for neutral and charged Higgs bosons, see the sections "Searches for Neutral Higgs Bosons" and "Searches for Charged Higgs Bosons ( $H^{\pm}$  and  $H^{\pm\pm}$ )", respectively.

#### H<sup>0</sup> MASS

VALUE (GeV)	DOCUMENT	D	TECN	COMMENT	
$125.09 \pm 0.21 \pm 0.11$	<sup>1,2</sup> AAD	15B	LHC	pp, 7, 8 TeV	
P	article Datc	ı Grc	up,	2016	

#### intensità dell'interazione con altre particelle



- il Modello Standard prevede un'interazione a 3 e una a 4 bosoni di Higgs con intensità calcolabile
  - ad oggi il settore di Higgs autointeragente rimane inesplorato
  - non sappiamo se sia veramente una particella elementare
- numero di famiglie fermioniche; pattern di massa dei fermioni
- masse dei neutrini, campi di Dirac o di Majorana?
- momento magnetico anomalo del muone discrepanza TH-EXP significativa

- il Modello Standard prevede un'interazione a 3 e una a 4 bosoni di Higgs con intensità calcolabile
  - ad oggi il settore di Higgs autointeragente rimane inesplorato
  - non sappiamo se sia veramente una particella elementare
- numero di famiglie fermioniche; pattern di massa dei fermioni
- masse dei neutrini, campi di Dirac o di Majorana?
- momento magnetico anomalo del muone discrepanza TH-EXP significativa

- il Modello Standard prevede un'interazione a 3 e una a 4 bosoni di Higgs con intensità calcolabile
  - ad oggi il settore di Higgs autointeragente rimane inesplorato
  - non sappiamo se sia veramente una particella elementare
- numero di famiglie fermioniche; pattern di massa dei fermioni
- masse dei neutrini, campi di Dirac o di Majorana?
- momento magnetico anomalo del muone discrepanza TH-EXP significativa

- il Modello Standard prevede un'interazione a 3 e una a 4 bosoni di Higgs con intensità calcolabile
  - ad oggi il settore di Higgs autointeragente rimane inesplorato
  - non sappiamo se sia veramente una particella elementare
- numero di famiglie fermioniche; pattern di massa dei fermioni
- masse dei neutrini, campi di Dirac o di Majorana?
- momento magnetico anomalo del muone discrepanza TH-EXP significativa

$$\vec{\mu}_e = -g_e \frac{e\hbar}{2m} \vec{s}$$

• in elettrodinamica relativistica senza fluttuazioni quantistiche

$$g_e = 2$$

• in realtà la misura di  $\vec{\mu}_e$  ci dice

$$a_e^{\exp} \equiv \frac{g_e - 2}{2} = 1159652180.73(28) \times 10^{-12}$$

considerando i contributi delle fluttuazioni quantistiche

 $a_e^{\rm SM} = 1159652181.606(229)(11)(12) \times 10^{-12}$ 

•  $\Delta(\text{Th} - \text{Exp}) = +0.88 \pm 36 \times 10^{-12}$  ~2

$$\vec{\mu}_e = -\frac{g_e}{2m} \vec{s}$$

• in elettrodinamica relativistica senza fluttuazioni quantistiche

$$g_e = 2$$

• in realtà la misura di  $\vec{\mu}_e$  ci dice

$$a_e^{\exp} \equiv \frac{g_e - 2}{2} = 1159652180.73(28) \times 10^{-12}$$

considerando i contributi delle fluttuazioni quantistiche

 $a_e^{\rm SM} = 1159652181.606(229)(11)(12) \times 10^{-12}$ 

•  $\Delta(\text{Th} - \text{Exp}) = +0.88 \pm 36 \times 10^{-12}$  ~2

$$\vec{\mu}_e = -\frac{g_e}{2m} \vec{s}$$

• in elettrodinamica relativistica senza fluttuazioni quantistiche

$$g_e = 2$$

• in realtà la misura di  $\vec{\mu}_e$  ci dice

$$a_e^{\exp} \equiv \frac{g_e - 2}{2} = 1159652180.73(28) \times 10^{-12}$$

considerando i contributi delle fluttuazioni quantistiche

 $a_e^{\rm SM} = 1159652181.606(229)(11)(12) \times 10^{-12}$ 

•  $\Delta(\text{Th} - \text{Exp}) = +0.88 \pm 36 \times 10^{-12}$ 

$$\vec{\mu}_e = -\frac{g_e}{2m} \vec{s}$$

• in elettrodinamica relativistica senza fluttuazioni quantistiche

$$g_e = 2$$

• in realtà la misura di  $\vec{\mu}_e$  ci dice

$$a_e^{\exp} \equiv \frac{g_e - 2}{2} = 1159652180.73(28) \times 10^{-12}$$

considerando i contributi delle fluttuazioni quantistiche

$$a_e^{\rm SM} = 1159652181.606(229)(11)(12) \times 10^{-12}$$

•  $\Delta(\text{Th} - \text{Exp}) = +0.88 \pm 36 \times 10^{-12}$  ~2.4 $\sigma$ 

#### nel caso del muone: $a_{\mu} = (g_{\mu} - 2)/2$

misura di E821@BNL con un errore di 0.54 ppm

 $a_{\mu}^{\exp} = 116592089(63) \times 10^{-11}$ 

- prevista una riduzione dell'errore di un fattore 4 (E989@FNAL)
- predizione teorica

 $a_{\mu}^{\rm SM} = 116591783(35) \times 10^{-11}$ 

- $\Delta(\text{Th} \text{Exp}) = -306(72) \times 10^{-11} \sim -4\sigma$ 
  - New Physics?
  - errore sistematico della misura?
  - incertezza sistematica nella predizione teorica?

misura di E821@BNL con un errore di 0.54 ppm

 $a_{\mu}^{\exp} = 116592089(63) \times 10^{-11}$ 

- prevista una riduzione dell'errore di un fattore 4 (E989@FNAL)
- predizione teorica

 $a_{\mu}^{\rm SM} = 116591783(35) \times 10^{-11}$ 

- $\Delta(\text{Th} \text{Exp}) = -306(72) \times 10^{-11} \sim 4\sigma$ 
  - New Physics?
  - errore sistematico della misura?
  - incertezza sistematica nella predizione teorica?

misura di E821@BNL con un errore di 0.54 ppm

 $a_{\mu}^{\exp} = 116592089(63) \times 10^{-11}$ 

- prevista una riduzione dell'errore di un fattore 4 (E989@FNAL)
- predizione teorica

$$a_{\mu}^{\rm SM} = 116591783(35) \times 10^{-11}$$

- $\Delta(\text{Th} \text{Exp}) = -306(72) \times 10^{-11} \sim 4\sigma$ 
  - New Physics?
  - errore sistematico della misura?
  - incertezza sistematica nella predizione teorica?

#### dal 1933..: problema della materia oscura





• il MS non fornisce un candidato "particellare" per la materia oscura

#### dal 1933..: problema della materia oscura





• il MS non fornisce un candidato "particellare" per la materia oscura

## Quali proprietà ha la materia oscura?

- vediamo solo i suoi effetti gravitazionali
- per effetto gravitazionale si addensa nelle galassie
- è costituita da particelle "pesanti" almeno quanto un atomo di ferro
- <u>cerchiamo evidenze sperimentali</u> della materia oscura nei laboratori "underground" (e.g. LNGS dell'INFN), al riparo dai raggi cosmici e in ambiente a bassa radioattività
- <u>cerchiamo evidenze sperimentali</u> di produzione diretta a LHC, a patto di avere energia sufficiente nel c.m.s.

#### uno sguardo ai progetti di futuri collider

## Quali proprietà ha la materia oscura?

- vediamo solo i suoi effetti gravitazionali
- per effetto gravitazionale si addensa nelle galassie
- è costituita da particelle "pesanti" almeno quanto un atomo di ferro
- <u>cerchiamo evidenze sperimentali</u> della materia oscura nei laboratori "underground" (e.g. LNGS dell'INFN), al riparo dai raggi cosmici e in ambiente a bassa radioattività
- <u>cerchiamo evidenze sperimentali</u> di produzione diretta a LHC, a patto di avere energia sufficiente nel c.m.s.

#### uno sguardo ai progetti di futuri collider

#### Relevant parameters for collider maximum energy

 energy loss by sincrotron radiation of charged particles bent by a magnetic field

$$\Delta E \sim \left(\frac{E}{m}\right)^4 \times \frac{1}{R}$$

• limiting factor for  $e^+e^-$  collider. E.g. at LEP @ $\sqrt{s} = 210 \text{ GeV}$ 

$$E_{\text{beam}} = 105 \text{ GeV} \Longrightarrow P \sim 22 \text{ MW} \to 800 \frac{\text{W}}{\text{m}}$$

- for comparison, proton beam at LHC of 6.5 TeV  $\Longrightarrow P \sim 0.2 \text{ W/m}$ 

• achievable magnetic field in dipoles with available technologies

$$E_{\text{beam(TeV)}} = 0.3R(\text{km})B(\text{Tesla})$$

- main limiting factor in pushing up LHC energy
- achievable accelerating e.m. field gradient G on a distance l

$$E = eGl$$

#### Other relevant parameter: luminosity

$$\frac{dN_{\exp}}{dt} = \mathcal{L}\sigma$$

$$\mathcal{L} = f\frac{N_1N_2}{A}$$

$$f = \text{collision frequency}$$

$$N_i = \text{particles in colliding bunches}$$

$$A = \text{effective overlap area of the beams}$$

• time integrated luminosity  $L \Longrightarrow$  total number of collected events

## Time evolution of maximum energy and luminosity



## What next after HL-LHC? Without a clue on the next relevant energy scale

- push the energy frontier as much as we can
- consistently with the (today) conceivable technological progress



 in a complementary way, precision machine where to study Higgs couplings (and also electroweak physics) with great accuracy, looking for discrepancies with SM theory predictions

F. Piccinini (INFN Sezione di Pavia)

What next in particle physics

#### • Europe (CERN)

- **HE-LHC**: pp collider at  $\sqrt{s} \simeq 27 30$  TeV, in the same tunnel as LHC, by using new dipoles giving 16-20 Tesla magnetic field
- FCC
  - FCC-hh: pp collider at  $\sqrt{s}\simeq 100$  TeV, within a 100 Km tunnel
  - FCC-ee: very high luminosity  $e^+e^-$  machine within the 100 Km tunnel, from the Z boson mass to the  $t\bar{t}$  threshold
  - FCC-he: pe collider (50 TeV proton beam and 60 GeV electron beam)
- CLIC:  $e^+e^-$  linear collider reaching the multi-TeV energy scale
- China
  - CEPC: similar to FCC-ee, with less lumi performance and maximum  $\sqrt{s}\sim 240~{\rm GeV}$
  - SppC: similar to FCC-hh
- Japan
  - ILC: linear  $e^+e^-$  collider, c.m. energy from 250 GeV up to  $\sim$ 1 TeV

## $\mu^+\mu^-$ collider

- $m_{\mu} \sim 200 m_e \Longrightarrow$  bremsstrahlung would be suppressed w.r.t. a circular  $e^+e^-$  collider by a factor  $(m_e/m_{\mu})^4$
- $\mu$  lifetime  $\sim 2.2\mu$ s but longer when accelerated
- it would enable
  - direct Higgs resonance production
  - multi-TeV "compact" leptonic collider



- Current acceleration techniques are based on RF fields  $f\sim 10-30~{\rm GHz},$  which allow field gradients of the order of 100 MV/m
- ongoing studies on new more effective techniques
  - acceleration in dielectric structures  $\Longrightarrow \sim 1 3 \text{ GV/m}$
  - acceleration in ionized plasma  $\implies \sim 30 100 \text{ GV/m}$
  - acceleration in solid crystals  $\implies \sim 0.1 = 10 \text{ TV/m}$

# ⇒ più dettagli da Lorenzo

#### Chi siamo e cosa facciamo a Pavia

- Carlo M. Carloni Calame
- Guido Montagna
- Oreste Nicrosini
- F.P.
  - in collaborazione con altri gruppi nazionali e internazionali
- argomenti principali di ricerca
  - fisica di precisione a LHC
  - fisica del bosone di Higgs a futuri collider
  - $\mu e$  scattering di altissima precisione ( $\Longrightarrow$  ultima slide)
- strumenti
  - sviluppo e utilizzo di metodi di simulazione Monte Carlo (link tra densità di Lagrangiana e osservabili misurate)
  - strumenti di calcolo simbolico

#### Chi siamo e cosa facciamo a Pavia

- Carlo M. Carloni Calame
- Guido Montagna
- Oreste Nicrosini
- F.P.
  - in collaborazione con altri gruppi nazionali e internazionali
- argomenti principali di ricerca
  - fisica di precisione a LHC
  - fisica del bosone di Higgs a futuri collider
  - $\mu e$  scattering di altissima precisione ( $\Longrightarrow$  ultima slide)
- strumenti
  - sviluppo e utilizzo di metodi di simulazione Monte Carlo (link tra densità di Lagrangiana e osservabili misurate)
  - strumenti di calcolo simbolico

#### Chi siamo e cosa facciamo a Pavia

- Carlo M. Carloni Calame
- Guido Montagna
- Oreste Nicrosini
- F.P.
  - in collaborazione con altri gruppi nazionali e internazionali
- argomenti principali di ricerca
  - fisica di precisione a LHC
  - fisica del bosone di Higgs a futuri collider
  - $\mu e$  scattering di altissima precisione ( $\Longrightarrow$  ultima slide)
- strumenti
  - sviluppo e utilizzo di metodi di simulazione Monte Carlo (link tra densità di Lagrangiana e osservabili misurate)
  - strumenti di calcolo simbolico

#### proposta di esperimento al CERN

• in collaborazione con colleghi teorici e sperimentali





 ora stiamo lavorando sul fronte dei calcoli teorici per dimostrare che può funzionare!

### proposta di esperimento al CERN

• in collaborazione con colleghi teorici e sperimentali





 ora stiamo lavorando sul fronte dei calcoli teorici per dimostrare che può funzionare!