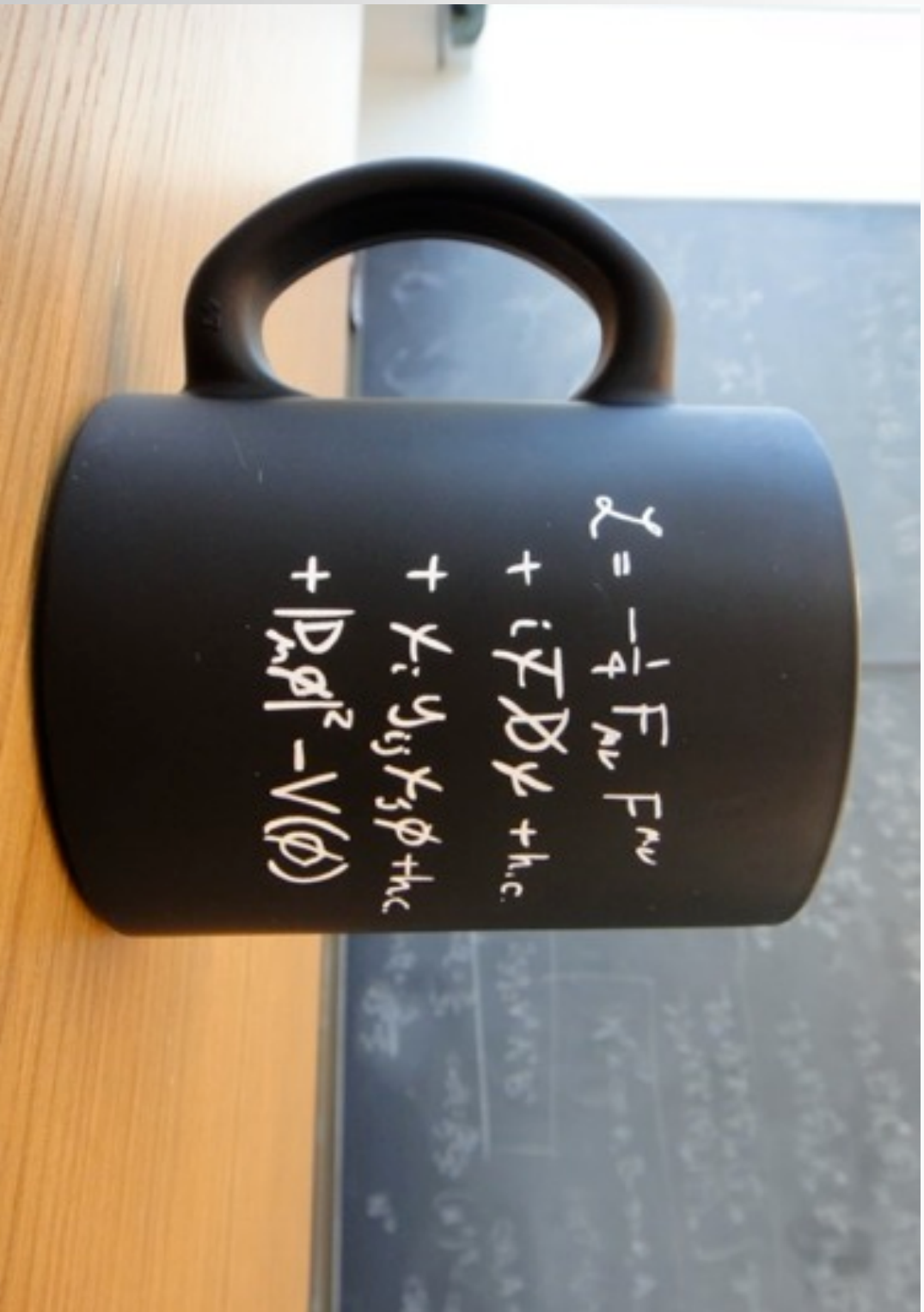




Lagrangiana del Modello Standard





Lagrangiana del Modello Standard

The blackboard contains the following Lagrangian terms:

$$\mathcal{L} = -\frac{1}{4} F_{\mu\nu} F^{\mu\nu} + i\bar{\psi} \not{D} \psi + h.c. + \bar{\psi}_i \gamma_5 \psi_j \phi + h.c. + |D_\mu \phi|^2 - V(\phi)$$

Surrounding the text are several Feynman diagrams:

- A diagram showing a photon (γ) interacting with two electrons (e).
- A diagram showing a W^+ boson decaying into a Z boson and a photon (γ).
- A diagram showing a W^+ boson decaying into a W^0 boson and a photon (γ).
- A diagram showing a photon (γ) interacting with a fermion line.
- A diagram showing a fermion line interacting with a scalar field (ϕ).
- A diagram showing a fermion line interacting with a scalar field (ϕ).



I diagrammi di Feynman al lavoro

Esempio 1: collisione e^+e^-

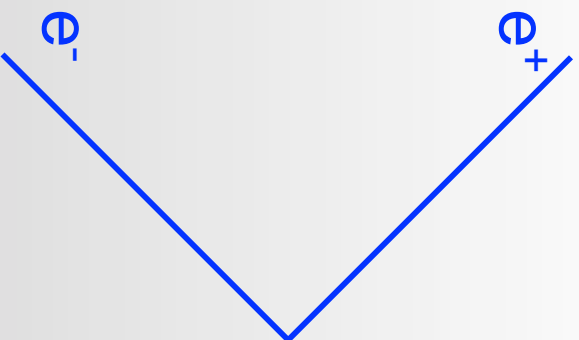
(semirigoroso)



I diagrammi di Feynman al lavoro

Esempio 1: collisione e^+e^-

(semirigoroso)



LEP

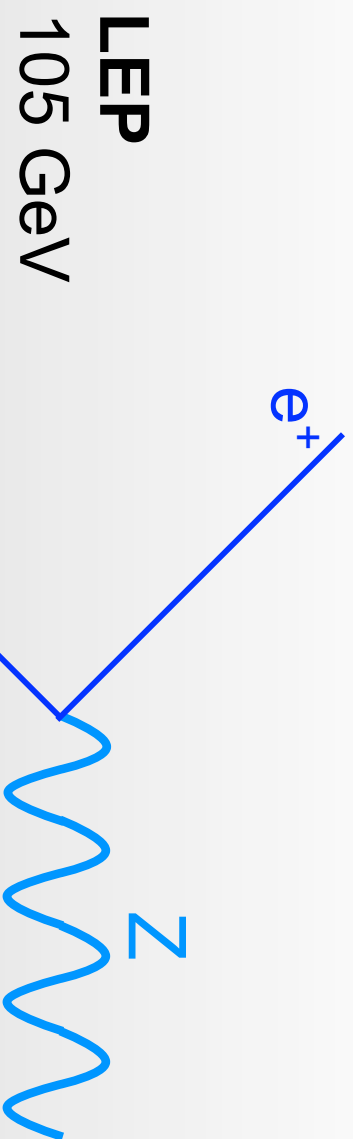
105 GeV



I diagrammi di Feynman al lavoro

Esempio 1: collisione e^+e^-

(semirigoroso)



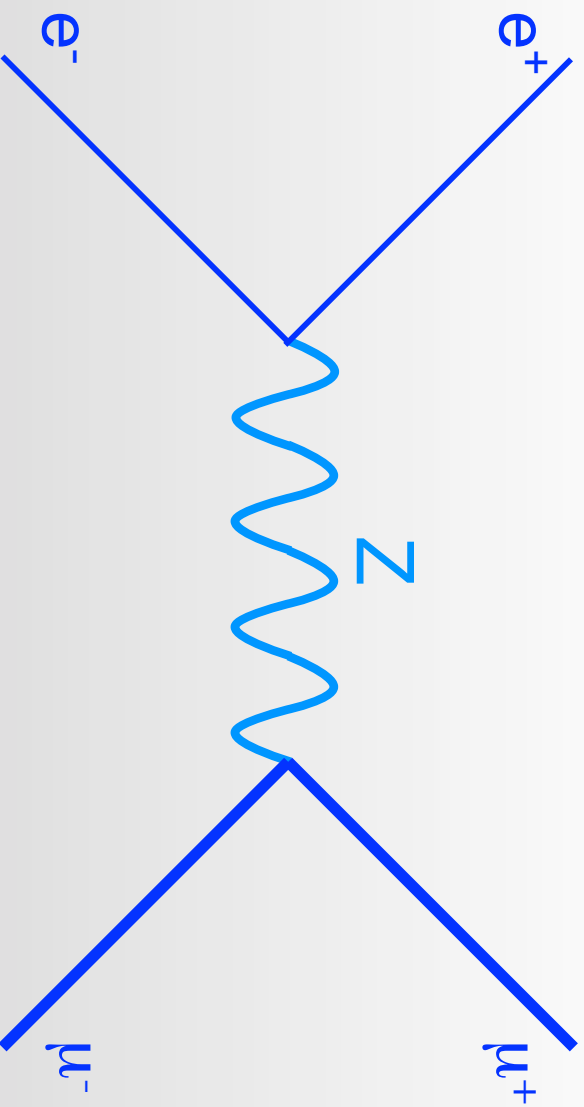


I diagrammi di Feynman al lavoro

Esempio 1: collisione e^+e^-

(semirigoroso)

LEP
105 GeV

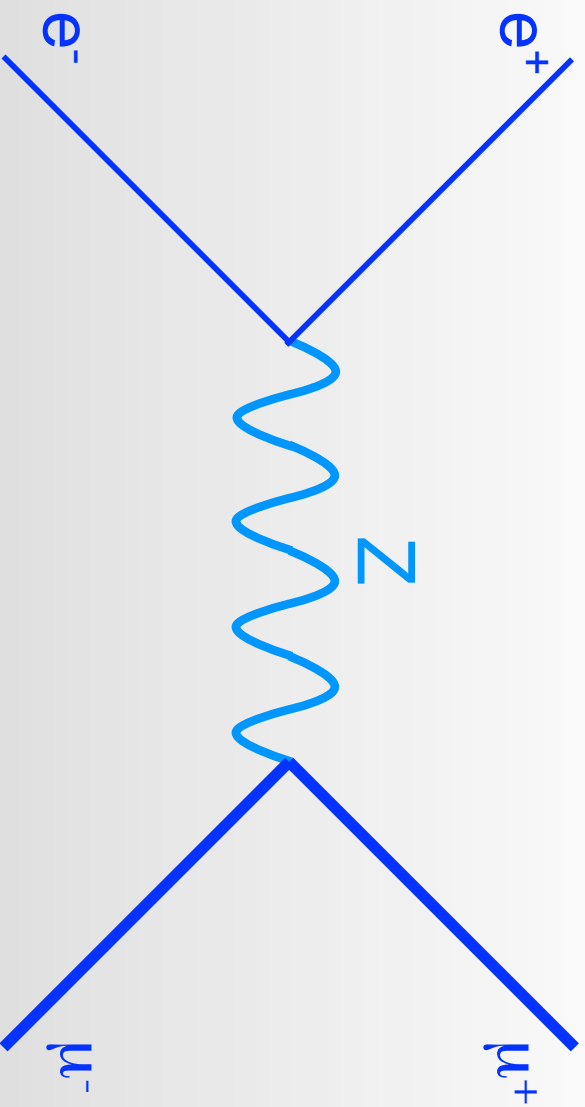




I diagrammi di Feynman al lavoro

Esempio 1: collisione e^+e^-

(semirigoroso)



LEP
105 GeV

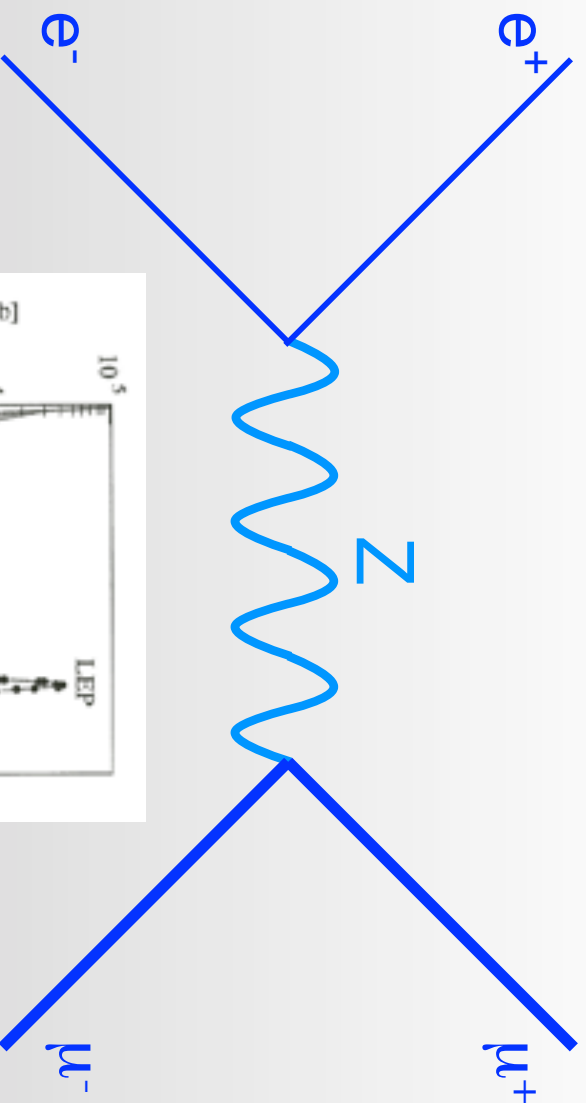
- carica elettrica
- sapore leptonico indiv.



I diagrammi di Feynman al lavoro

Esempio 1: collisione e^+e^-

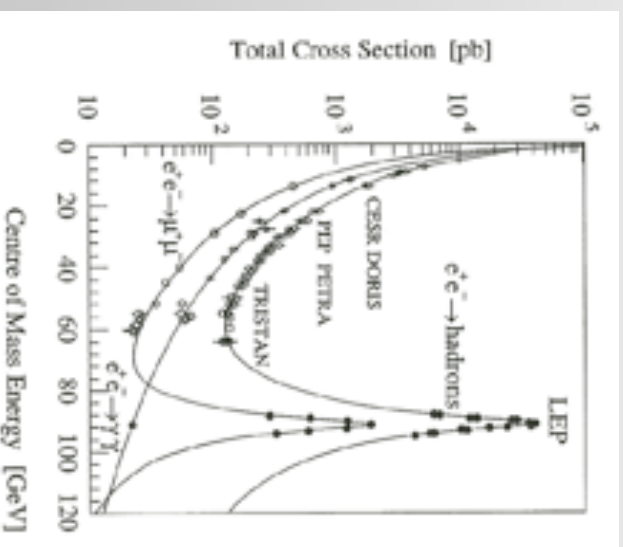
(semirigoroso)



LEP
105 GeV

La risonanza tradisce la produzione del mediatore.

Magari scopriremo così un nuovo mediatore.



- carica elettrica
- sapore leptonico indiv.

Domande per i più motivati:

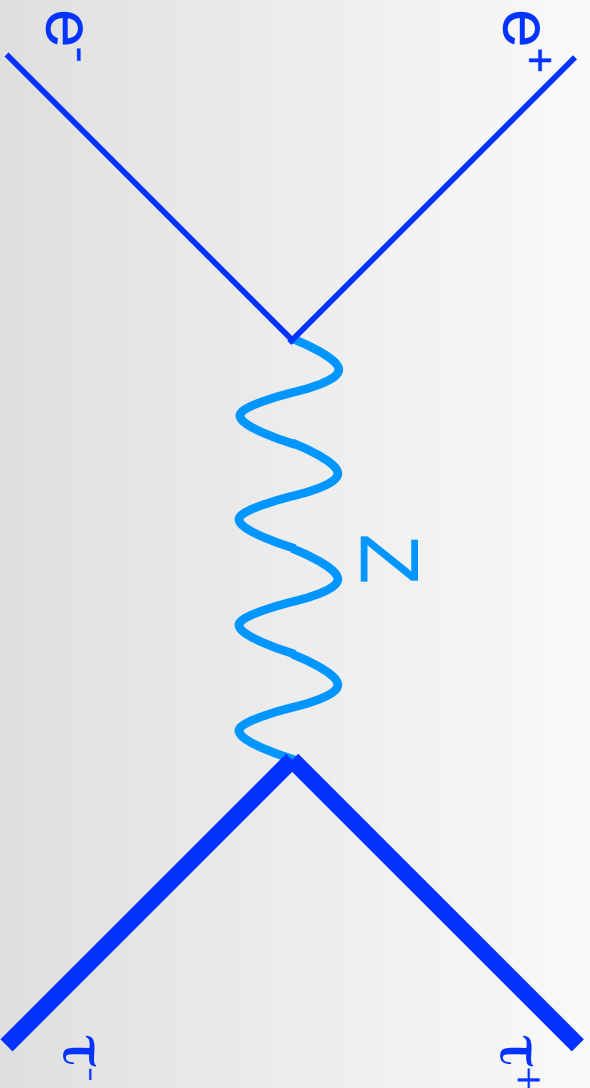
perché la sezione d'urto $e^+e^- \rightarrow \text{hadrons}$ è più grande di quella $e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-$?
 sai calcolare a priori il rapporto?
 e perché quella $e^+e^- \rightarrow \gamma\gamma$ si comporta diversamente?



I diagrammi di Feynman al lavoro

Esempio 1: collisione e^+e^-

(semirigoroso)



LEP
105 GeV

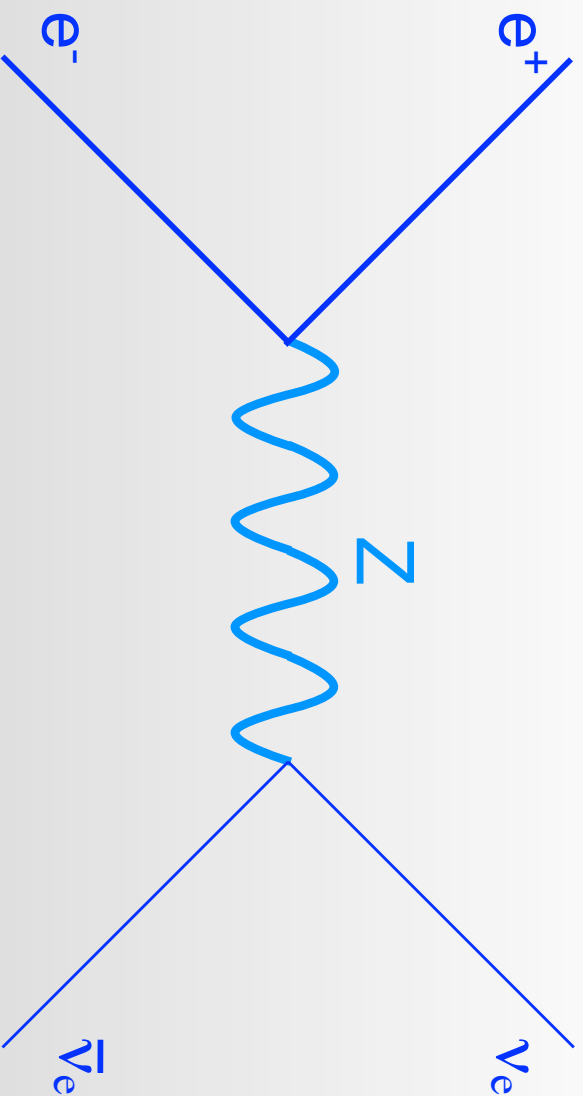
- carica elettrica
- sapore leptonico indiv.



I diagrammi di Feynman al lavoro

Esempio 1: collisione e^+e^-

(semirigoroso)



LEP
105 GeV

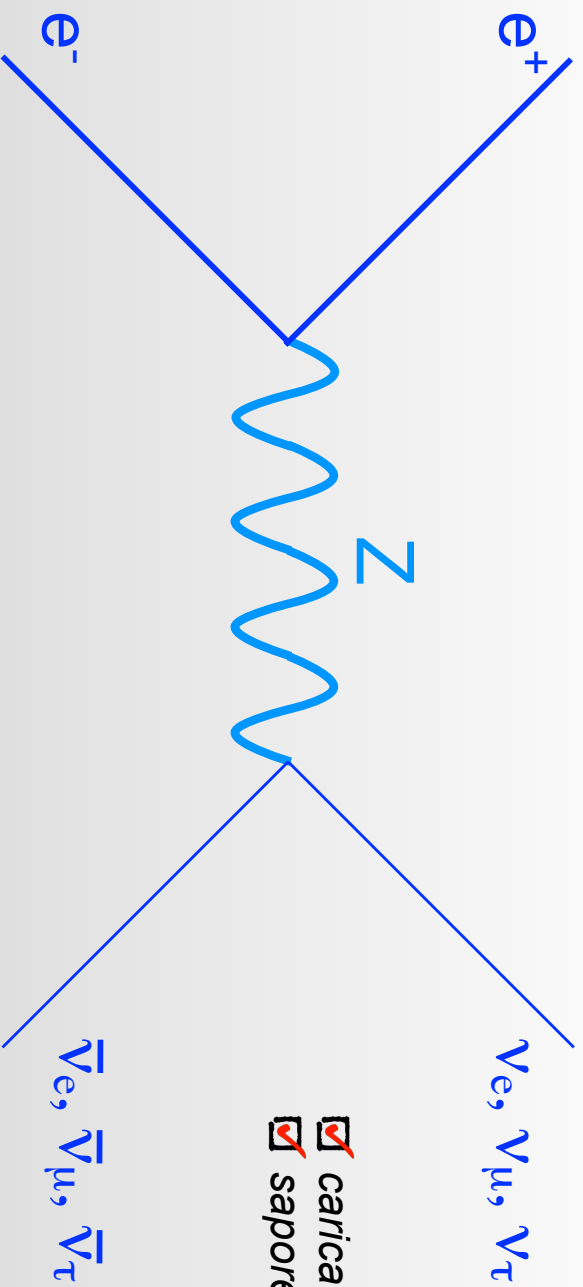
- carica elettrica
- sapore leptonico indiv.



I diagrammi di Feynman al lavoro

Esempio 1: collisione e^+e^-

(semirigoroso)



LEP
105 GeV

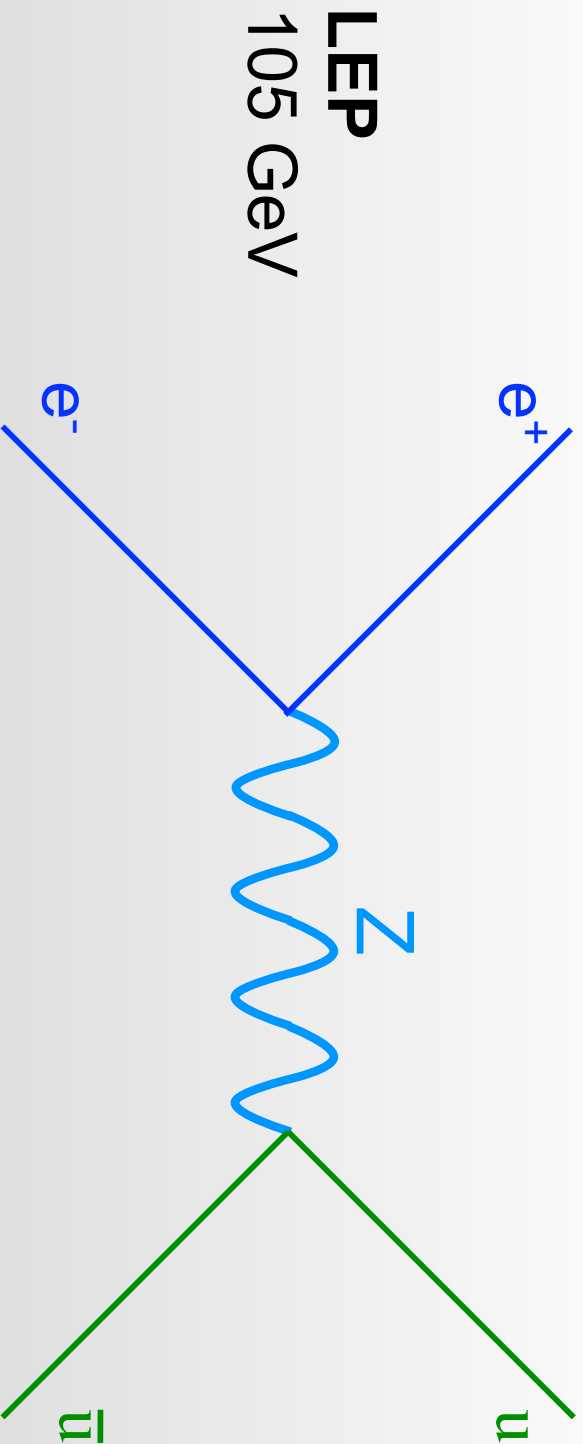
- carica elettrica
- sapore leptonico indiv.



I diagrammi di Feynman al lavoro

Esempio 1: collisione e^+e^-

(semirigoroso)



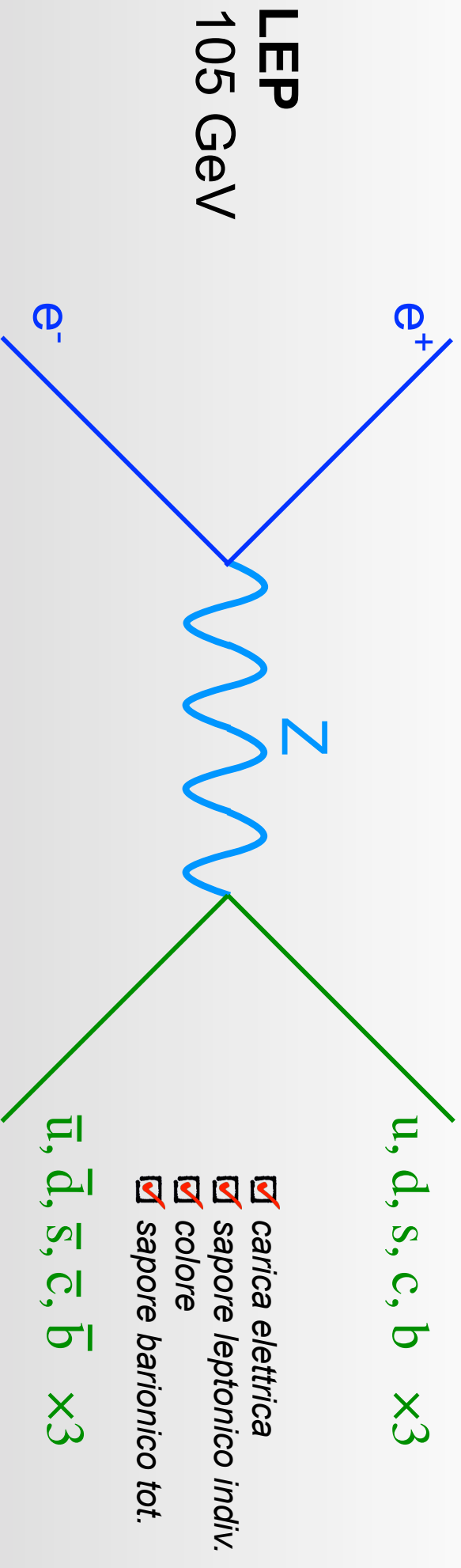
- carica elettrica
- sapore leptonico indiv.
- colore
- sapore barionico tot.



I diagrammi di Feynman al lavoro

Esempio 1: collisione e^+e^-

(semirigoroso)

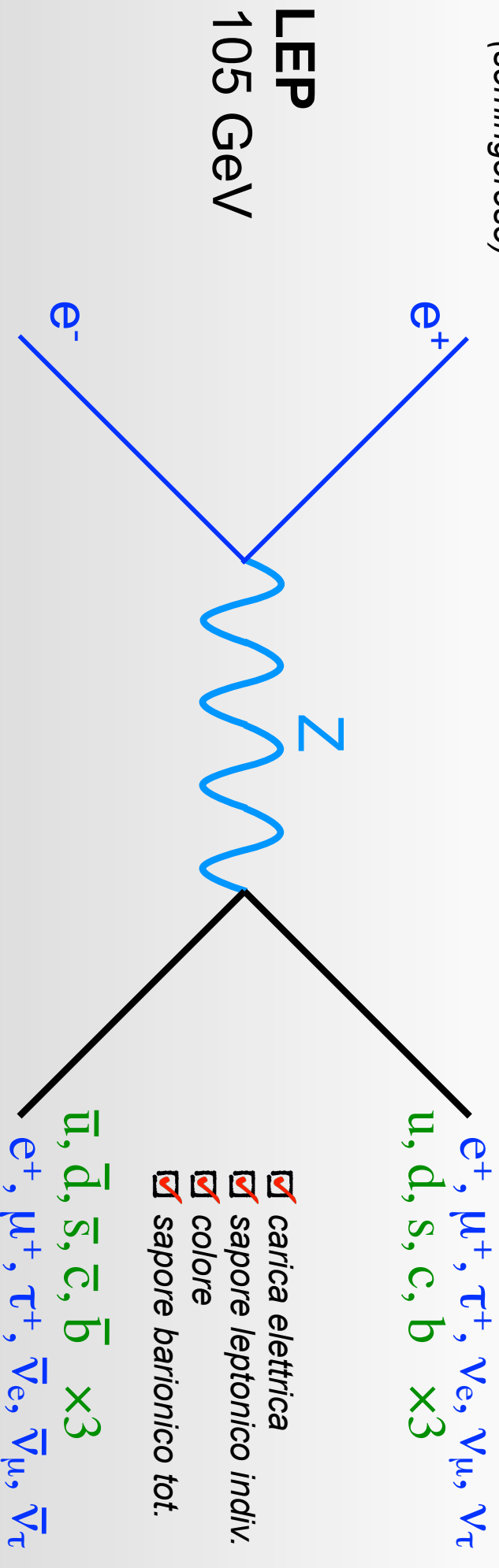




I diagrammi di Feynman al lavoro

Esempio 1: collisione e^+e^-

(semirigoroso)

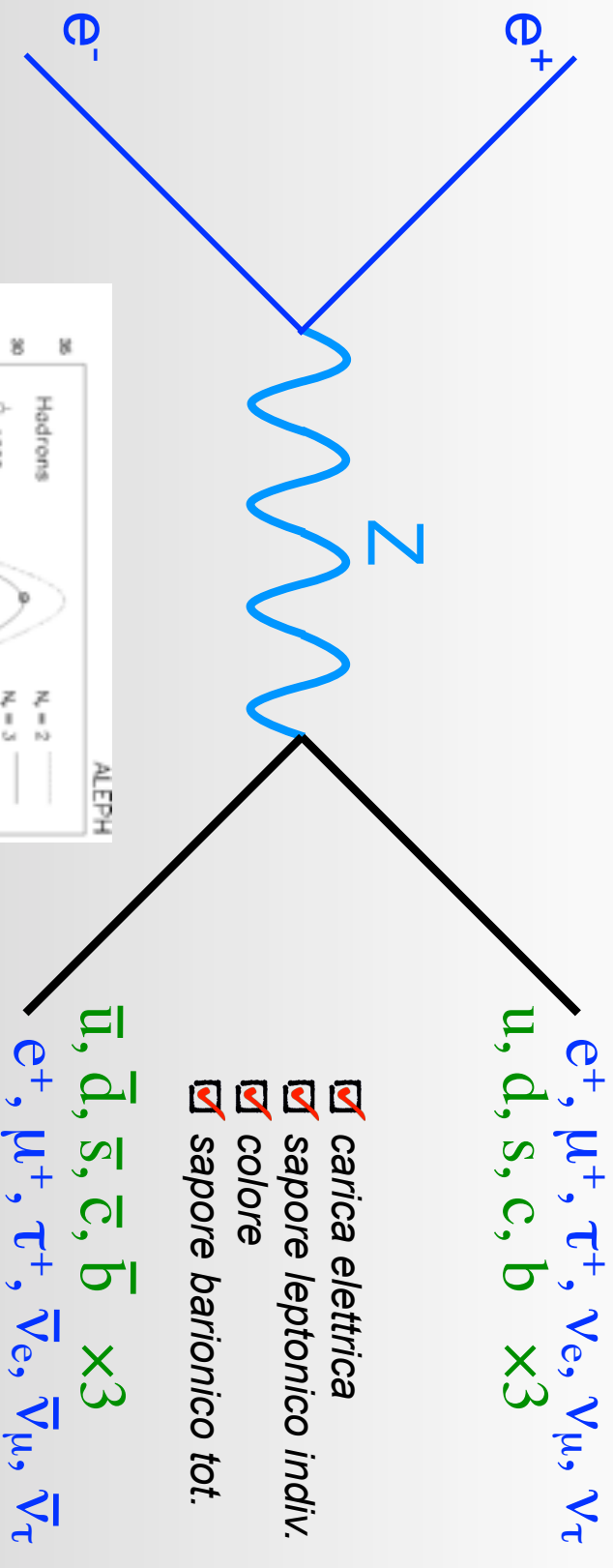




I diagrammi di Feynman al lavoro

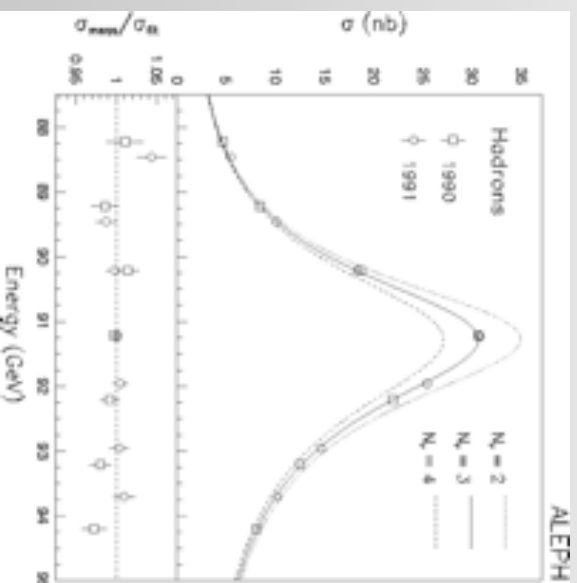
Esempio 1: collisione e^+e^-

(semirigoroso)



La larghezza della Z
permette di determinare
il numero di famiglie:

più canali aperti =
decadimento più veloce =
più larga



⇒ **3 famiglie!**

(a meno che il quarto neutrino
non abbia massa > ~45 GeV)



I diagrammi di Feynman al lavoro

Esempio 2: collisione $p\bar{p}$

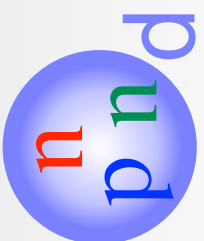
(semirigoroso)



I diagrammi di Feynman al lavoro

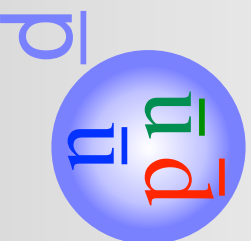
Esempio 2: collisione $p\bar{p}$

(semirigoroso)



TeVatron

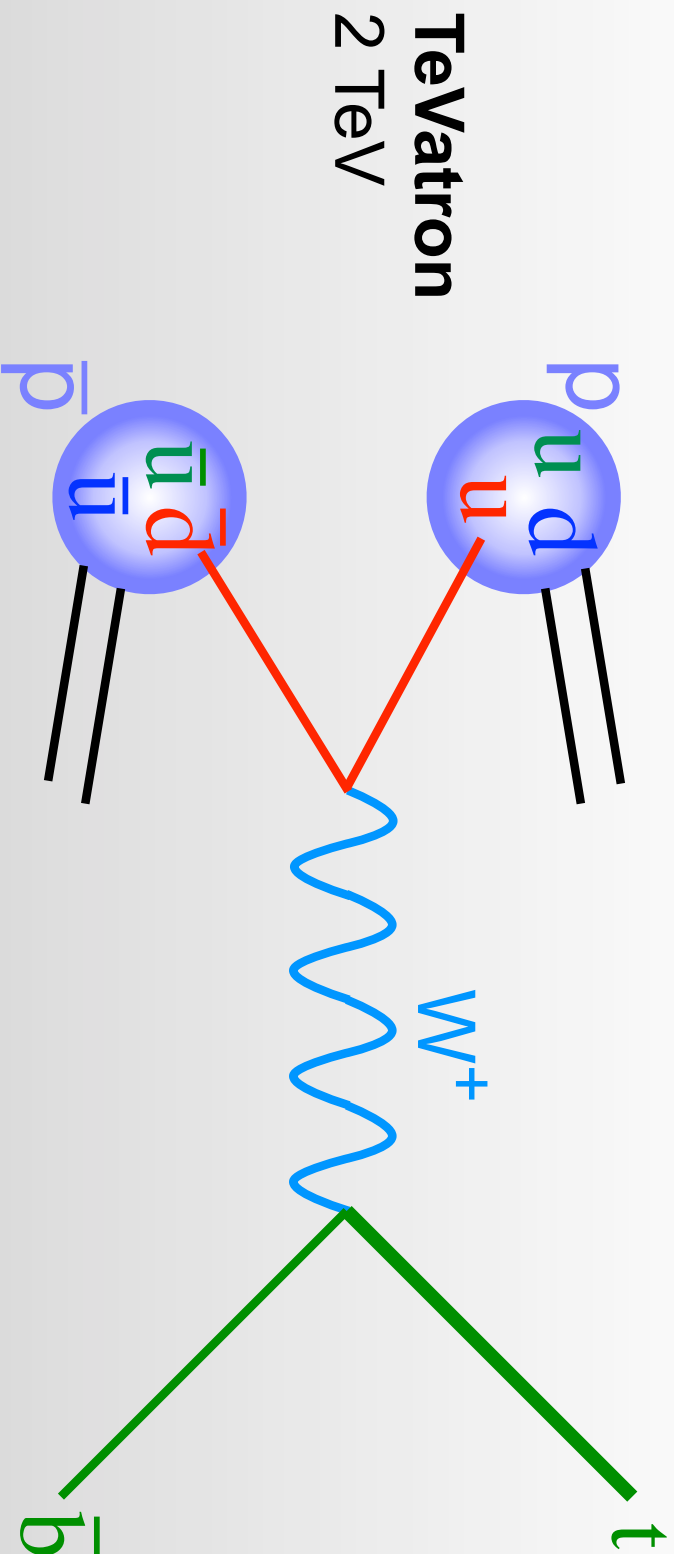
2 TeV





I diagrammi di Feynman al lavoro

Esempio 2: collisione $p\bar{p} \rightarrow$ produzione di quark top
(semirigoroso)

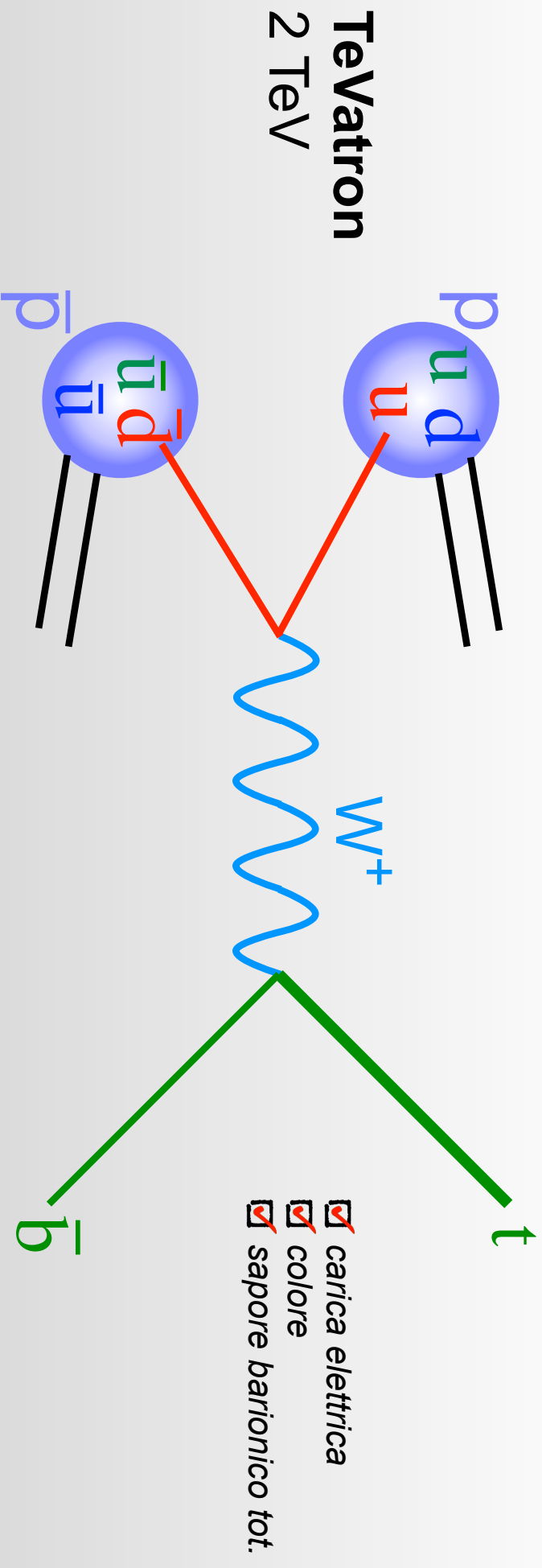


Nota: non è il canale più efficace per produrre un top quark al Tevatron, ma vabbè.



I diagrammi di Feynman al lavoro

Esempio 2: collisione $p\bar{p} \rightarrow$ produzione di quark top
(semirigoroso)

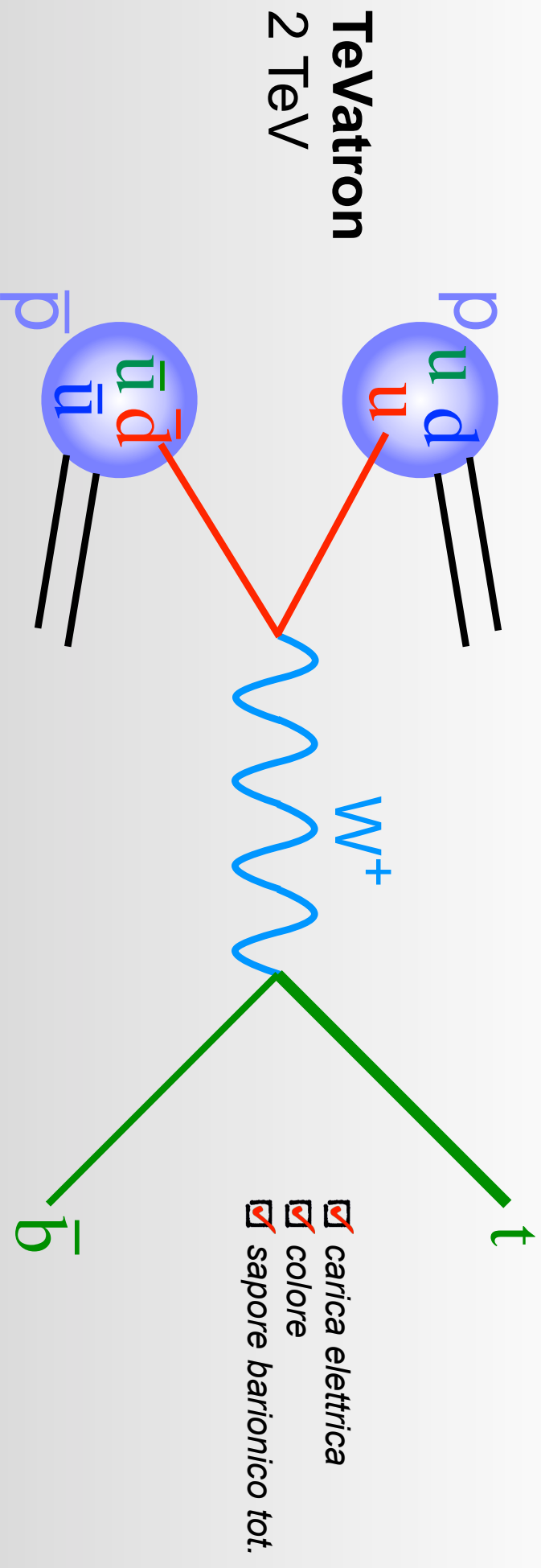


Nota: non è il canale più efficace per produrre un top quark al Tevatron, ma vabbè.



I diagrammi di Feynman al lavoro

Esempio 2: collisione $p\bar{p}$ \rightarrow produzione di quark top
(semirigoroso)



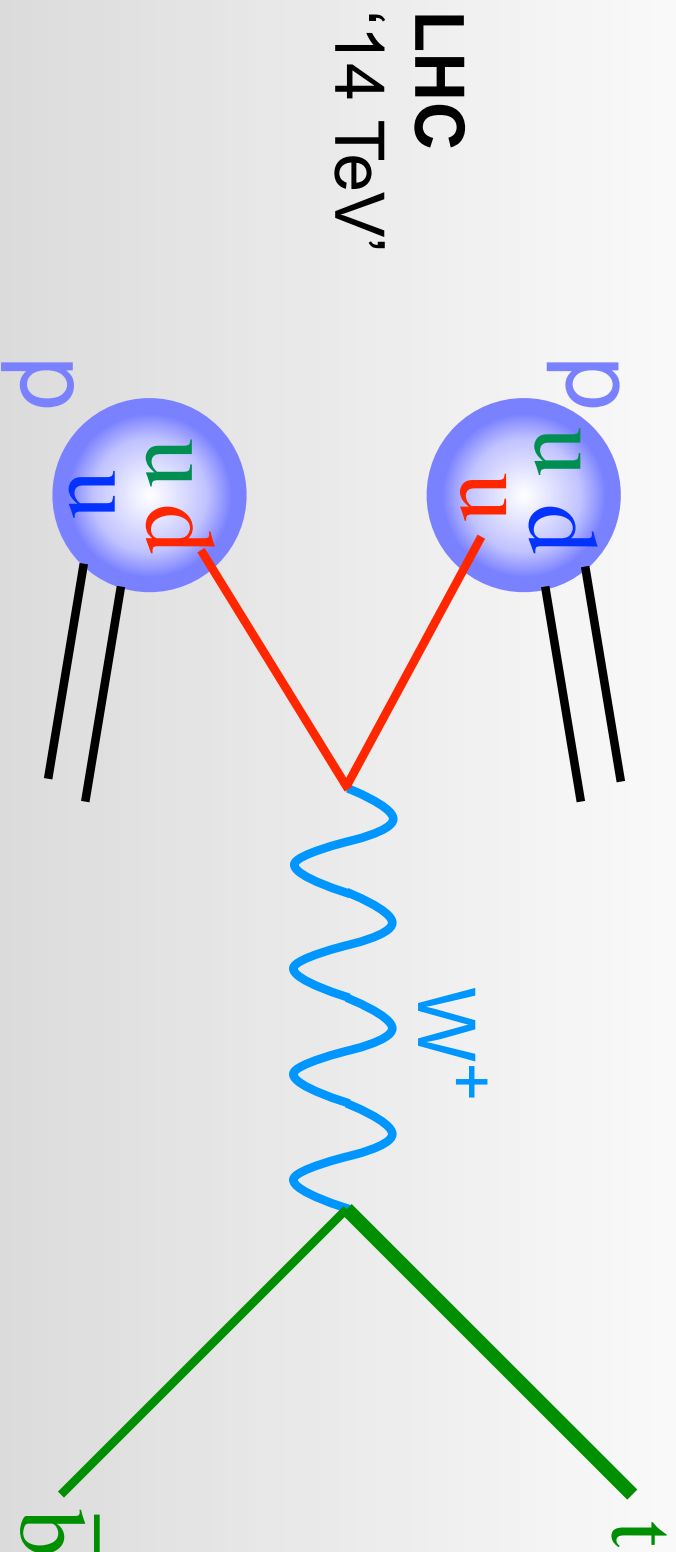
Ogni q porta una frazione del momento del p : serve una grande energia.

Magari scopriremo così una nuova particella pesante (un nuovo 'quark?').



I diagrammi di Feynman al lavoro

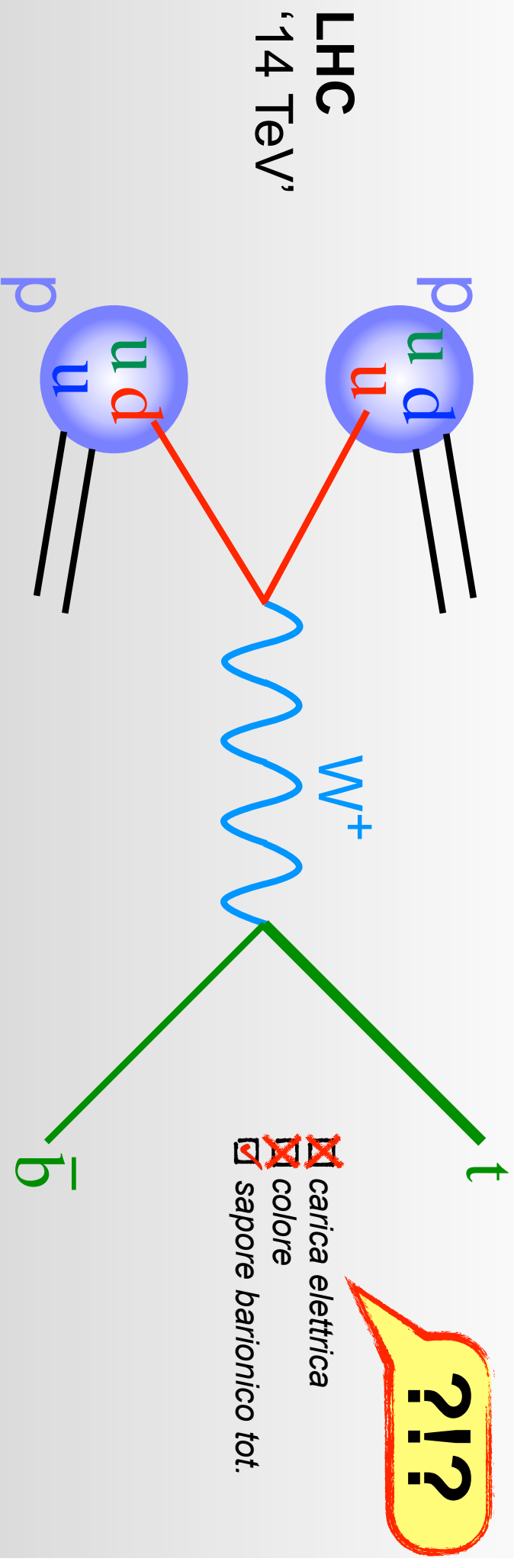
Esempio 2b: collisione $pp \rightarrow$ produzione di quark top
(semirigoroso)





I diagrammi di Feynman al lavoro

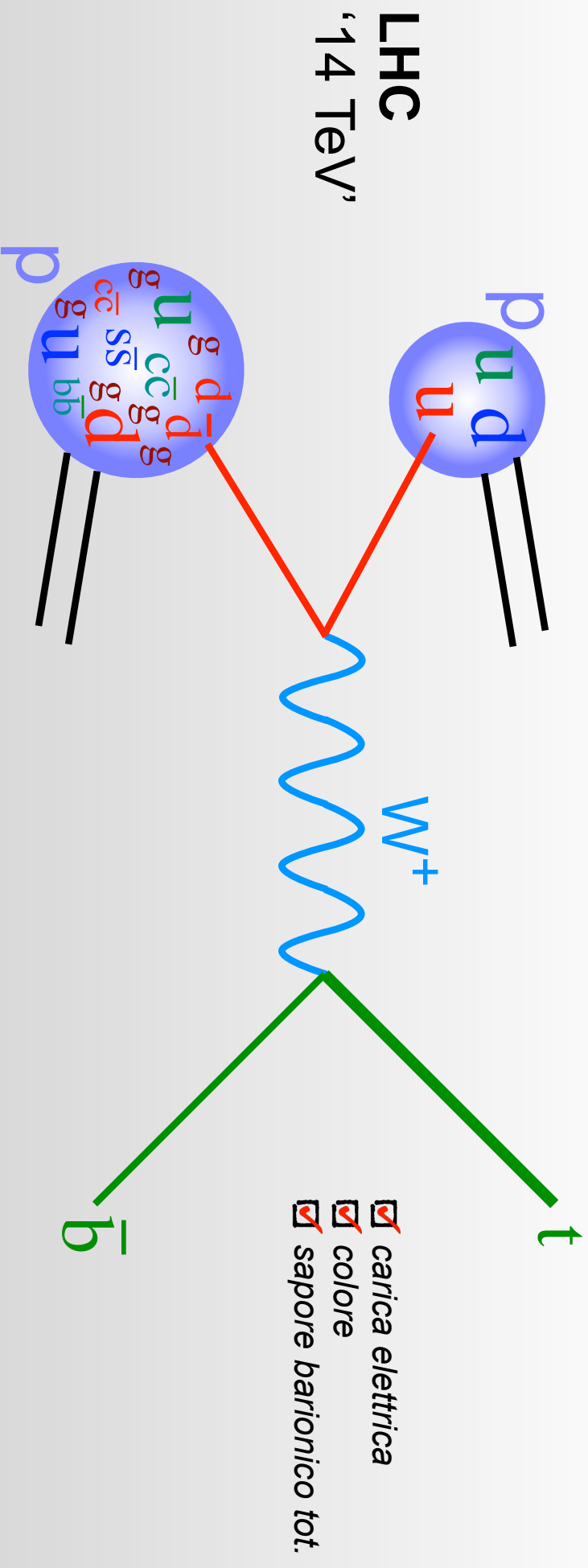
Esempio 2b: collisione $pp \rightarrow$ produzione di quark top
(semirigoroso)





I diagrammi di Feynman al lavoro

Esempio 2b: collisione $pp \rightarrow$ produzione di quark top
(semirigoroso)

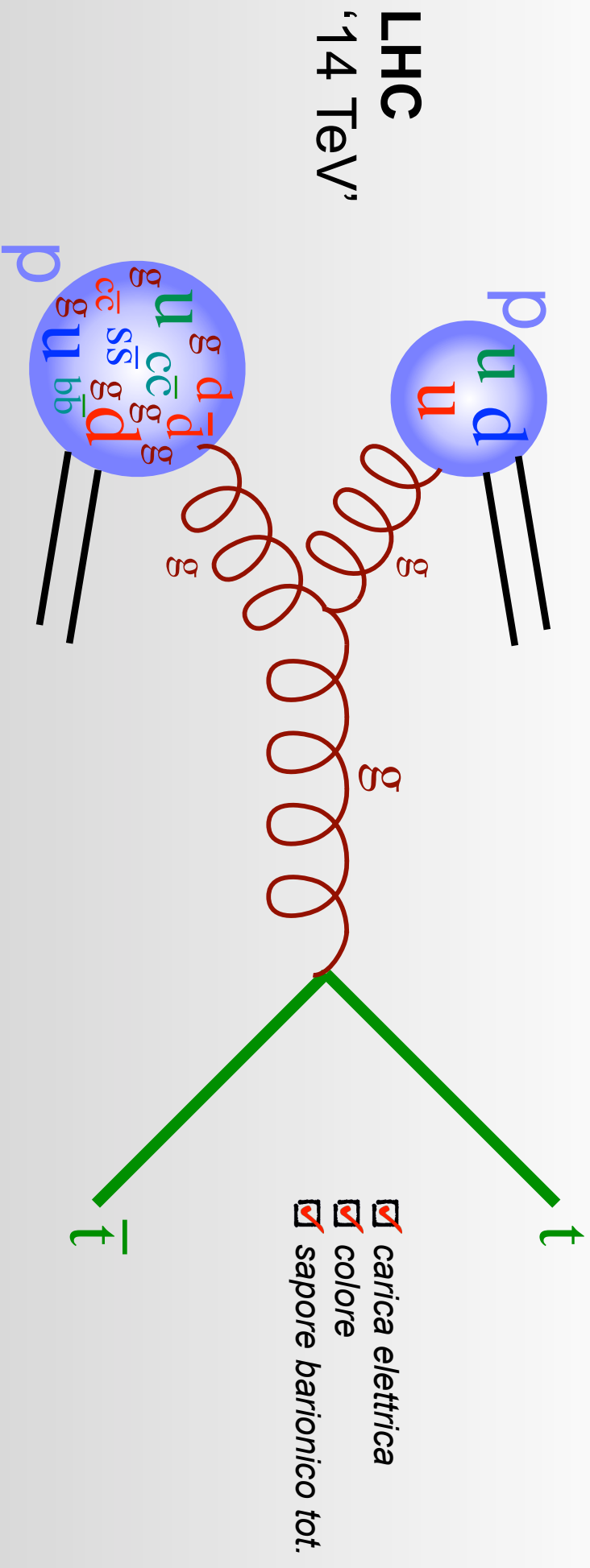


Un protone 'contiene' quarks, antiquarks di tutti i sapori (del mare, vs valenza), e gluoni, secondo una certa distribuzione di probabilità, funzione dell'energia.



I diagrammi di Feynman al lavoro

Esempio 2b: collisione $pp \rightarrow$ produzione di quark top (semirigoroso)



Un protone 'contiene' quarks, antiquarks di tutti i sapori (del mare, vs valenza), e gluoni, secondo una certa distribuzione di probabilità, funzione dell'energia.

By the way, ecco uno dei canali più efficaci per produrre un top quark a LHC.

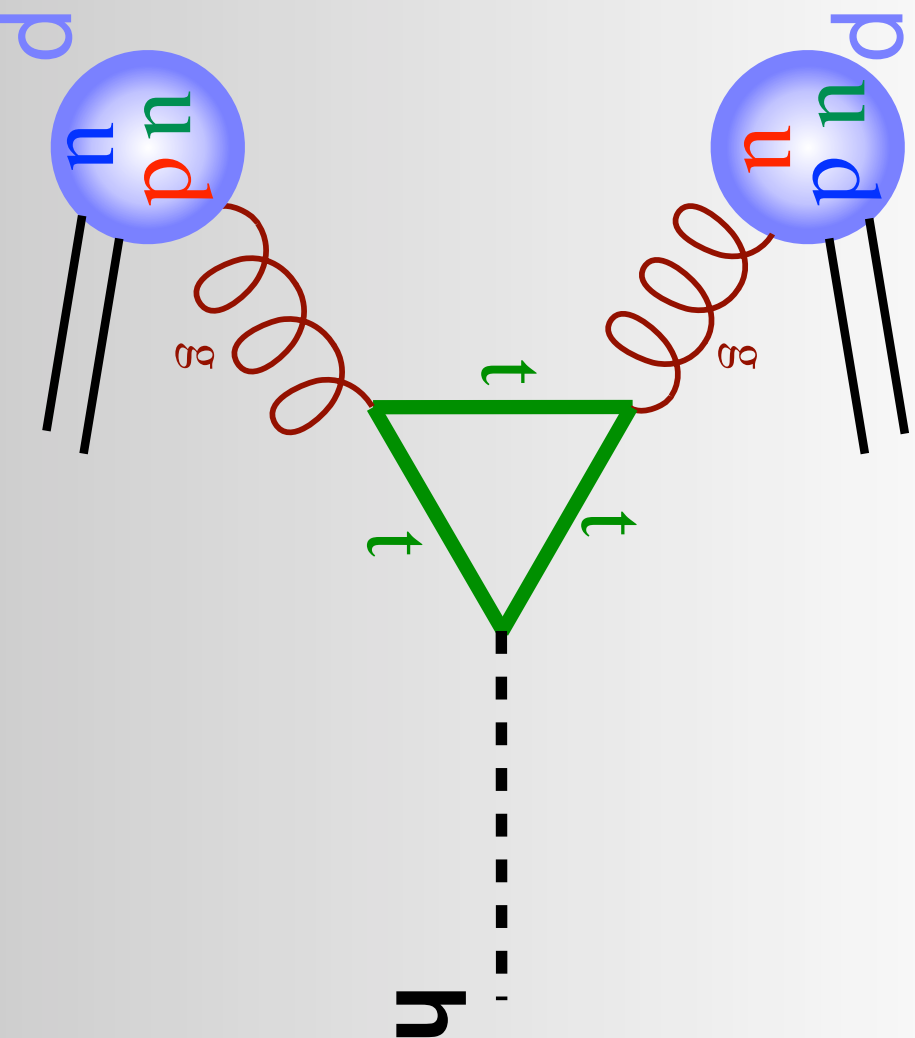


I diagrammi di Feynman al lavoro

Esempio 3: collisione $pp \rightarrow$ produzione di higgs

(semirigoroso)

LHC
'14 TeV'



- carica elettrica
- colore
- sapore barionico tot.

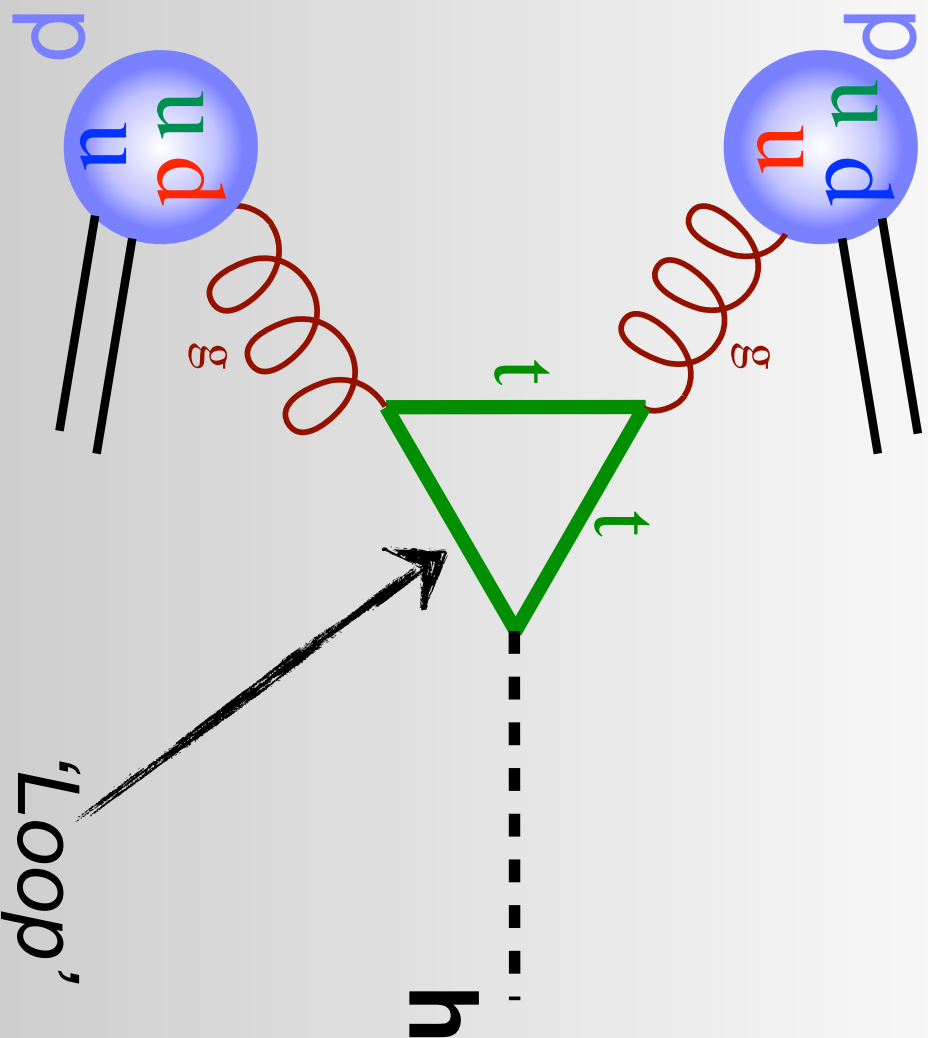


I diagrammi di Feynman al lavoro

Esempio 3: collisione $pp \rightarrow$ produzione di higgs

(semirigoroso)

LHC
'14 TeV'



- carica elettrica
- colore
- sapore barionico tot.

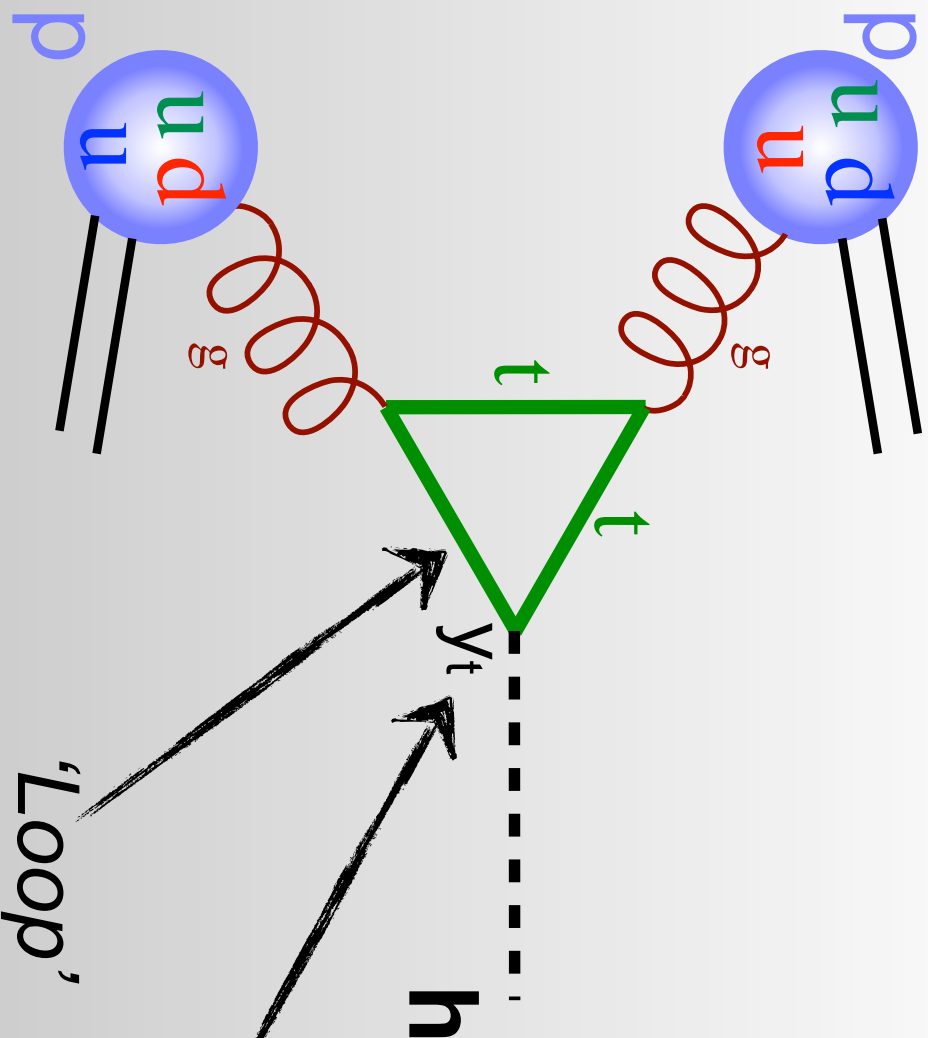


I diagrammi di Feynman al lavoro

Esempio 3: collisione $pp \rightarrow$ produzione di higgs

(semirigoroso)

LHC
'14 TeV'



- carica elettrica
- colore
- sapore barionico tot.

'accoppiamento'

'Loop'



I diagrammi di Feynman al lavoro

Esempio 4: decadimento del muone

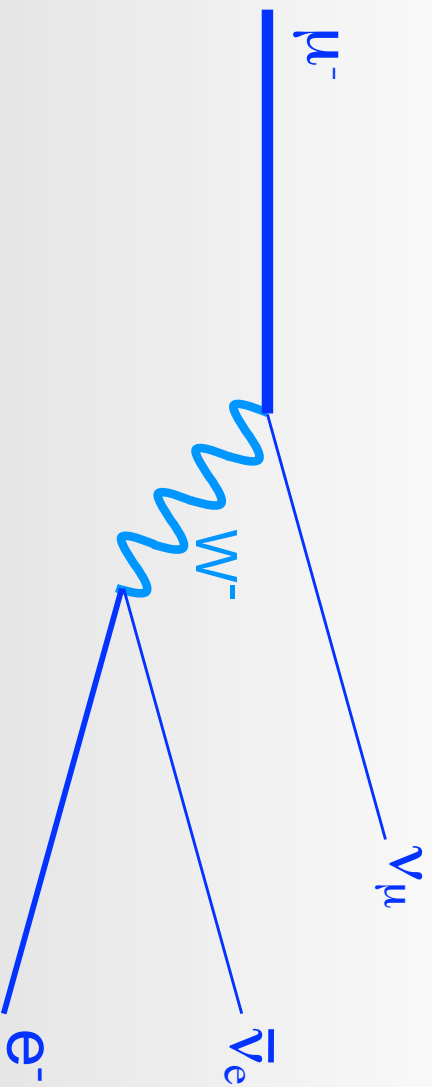
(piuttosto rigoroso: ma per i dettagli ci vorrebbe un intero corso di QFT!)



I diagrammi di Feynman al lavoro

Esempio 4: decadimento del muone

(piuttosto rigoroso: ma per i dettagli ci vorrebbe un intero corso di QFT!)

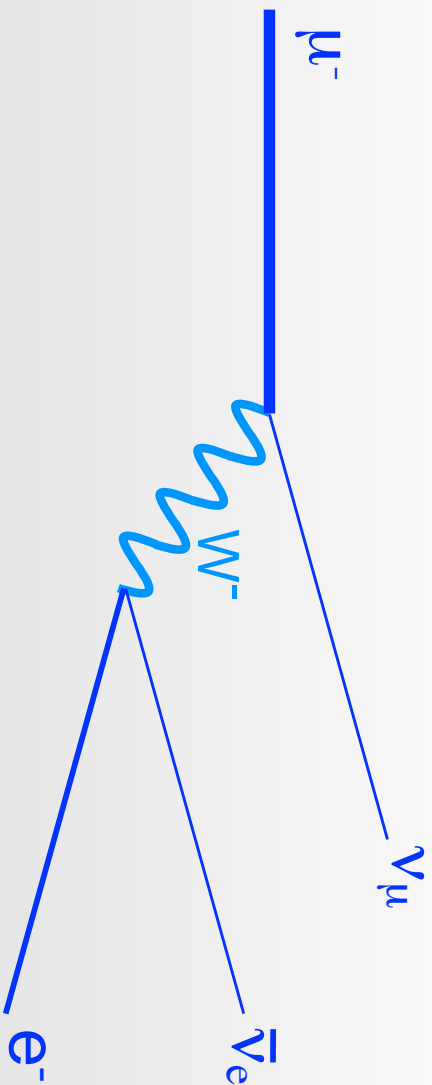




I diagrammi di Feynman al lavoro

Esempio 4: decadimento del muone

(piuttosto rigoroso: ma per i dettagli ci vorrebbe un intero corso di QFTj)



$$\mathcal{L} \simeq$$

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

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

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

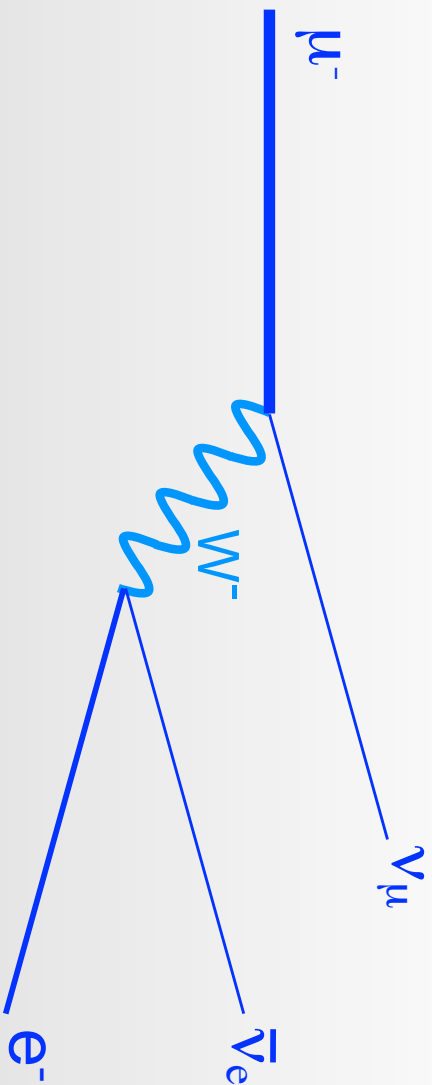
$$+|D_\mu\phi|^2 - V(\phi)$$



I diagrammi di Feynman al lavoro

Esempio 4: decadimento del muone

(piuttosto rigoroso: ma per i dettagli ci vorrebbe un intero corso di QFTj)



$$\mathcal{L} \simeq$$

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

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

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

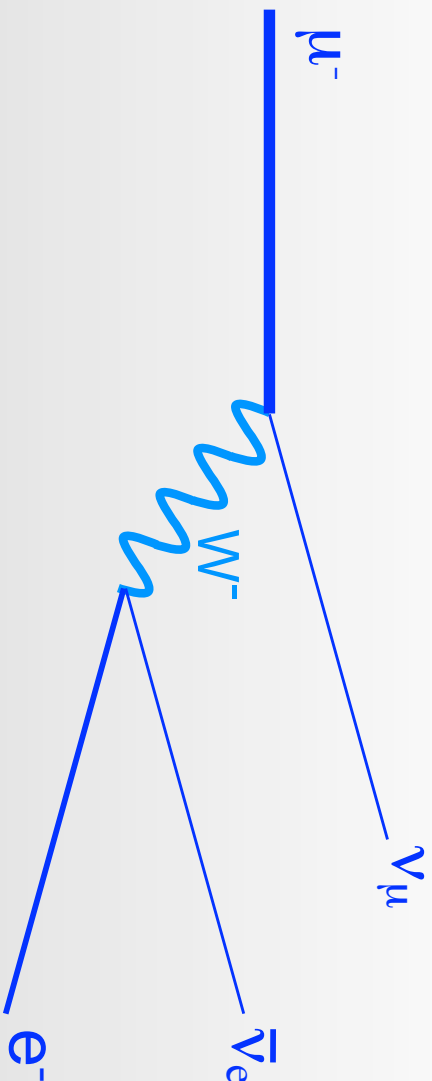
$$+|D_\mu\phi|^2 - V(\phi)$$



I diagrammi di Feynman al lavoro

Esempio 4: decadimento del muone

(piuttosto rigoroso: ma per i dettagli ci vorrebbe un intero corso di QFT!)



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

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

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

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

$$\Psi = \begin{pmatrix} \mu \\ \nu_\mu \end{pmatrix}_L = \begin{pmatrix} \mu \\ \nu_\mu \end{pmatrix} \frac{1-\gamma_5}{2}$$

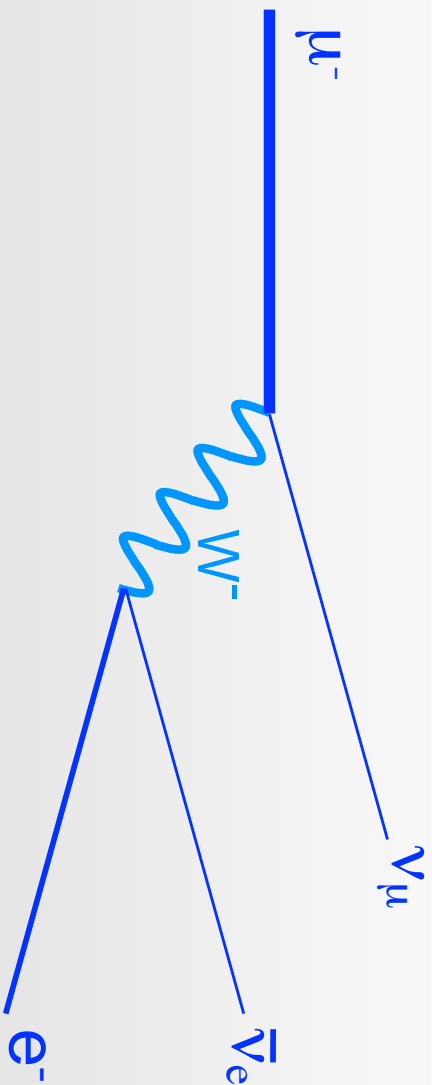
$$\not{D} = \gamma D \supset \gamma \left(-i\frac{g}{\sqrt{2}}W^- \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} \right)$$



I diagrammi di Feynman al lavoro

Esempio 4: decadimento del muone

(piuttosto rigoroso: ma per i dettagli ci vorrebbe un intero corso di QFT!)



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

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

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

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

$$\Psi = \begin{pmatrix} \mu \\ \nu_\mu \end{pmatrix}_L = \begin{pmatrix} \mu \\ \nu_\mu \end{pmatrix} \frac{1-\gamma_5}{2}$$

$$\not{D} = \gamma D \supset \gamma \left(-i\frac{g}{\sqrt{2}}W^- \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} \right)$$

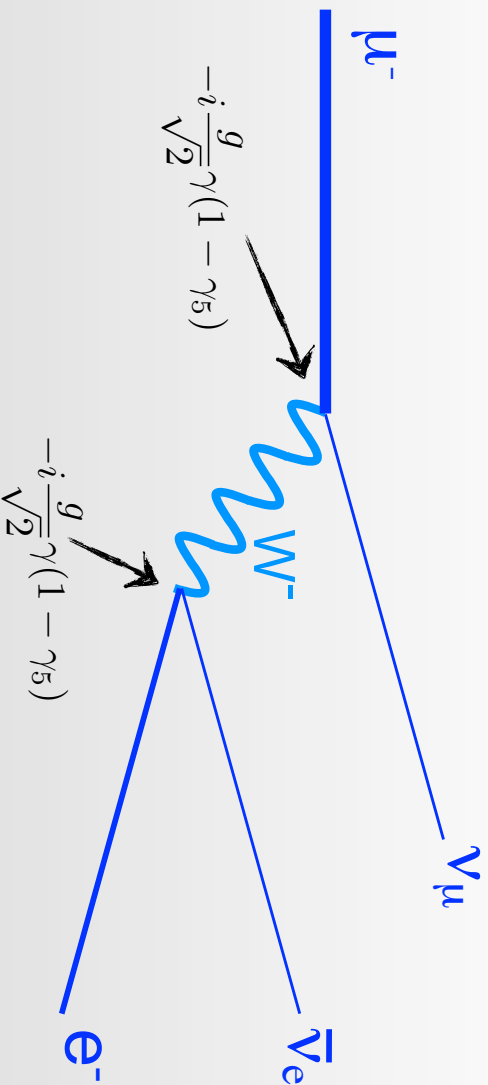
$$\simeq \nu_\mu \left(-i\frac{g}{\sqrt{2}} \right) \gamma(1-\gamma_5)W^- \mu$$



I diagrammi di Feynman al lavoro

Esempio 4: decadimento del muone

(piuttosto rigoroso: ma per i dettagli ci vorrebbe un intero corso di QFT!)



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

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

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

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

$$\Psi = \begin{pmatrix} \mu \\ \nu_\mu \end{pmatrix}_L = \begin{pmatrix} \mu \\ \nu_\mu \end{pmatrix} \frac{1-\gamma_5}{2}$$

$$\not{D} = \gamma D \supset \gamma \left(-i\frac{g}{\sqrt{2}}W^- \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} \right)$$

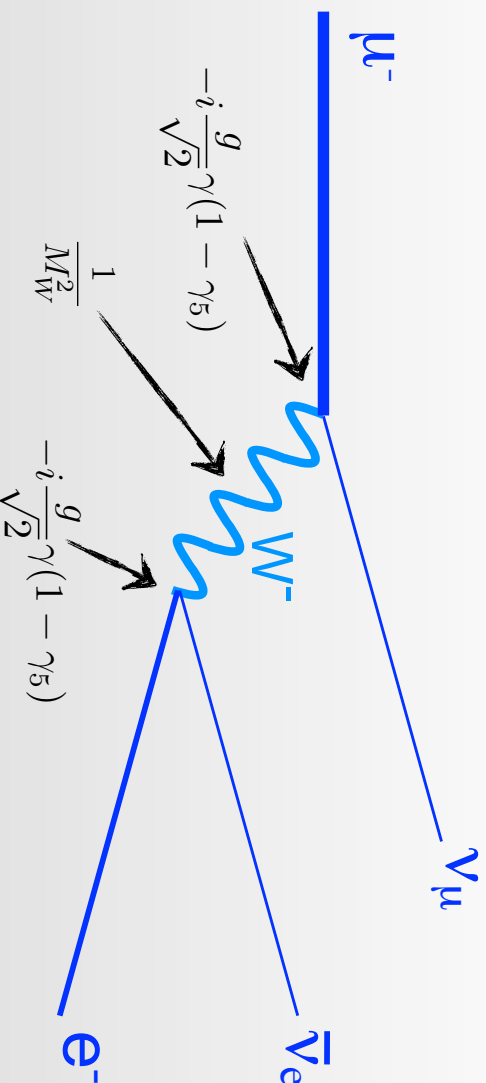
$$\simeq \nu_\mu \left(-i\frac{g}{\sqrt{2}} \right) \gamma(1-\gamma_5)W^- \mu$$



I diagrammi di Feynman al lavoro

Esempio 4: decadimento del muone

(piuttosto rigoroso: ma per i dettagli ci vorrebbe un intero corso di QFTj)



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

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

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

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

$$\Psi = \begin{pmatrix} \mu \\ \nu_\mu \end{pmatrix}_L = \begin{pmatrix} \mu \\ \nu_\mu \end{pmatrix} \frac{1-\gamma_5}{2}$$

$$\not{D} = \gamma D \supset \gamma \left(-i\frac{g}{\sqrt{2}} W^- \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} \right)$$

$$\simeq \nu_\mu \left(-i\frac{g}{\sqrt{2}} \right) \gamma(1-\gamma_5) W^- \mu$$

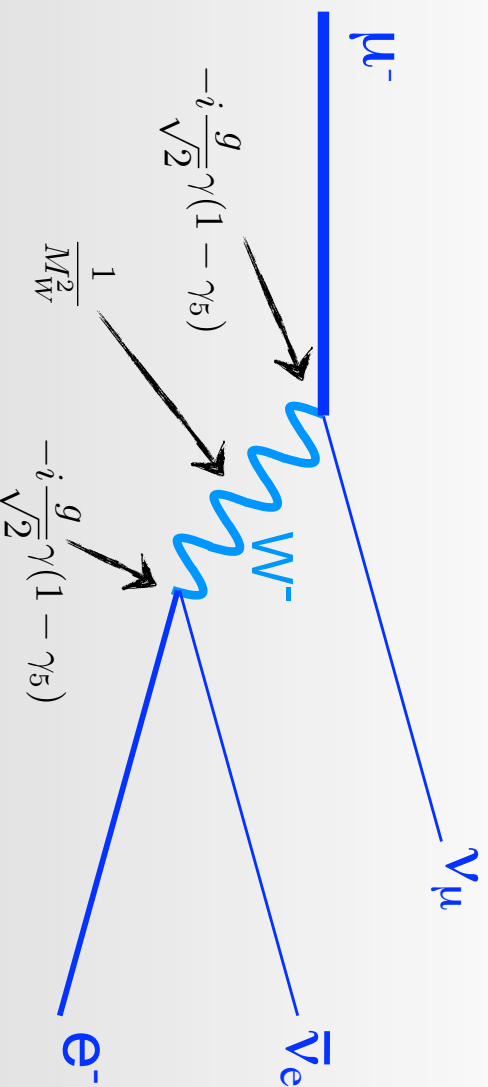
$$\simeq \frac{1}{M_W^2 - p^2} \rightarrow \frac{1}{M_W^2}$$



I diagrammi di Feynman al lavoro

Esempio 4: decadimento del muone

(piuttosto rigoroso: ma per i dettagli ci vorrebbe un intero corso di QFT!)



$$\mathcal{L} \simeq$$

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

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

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

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

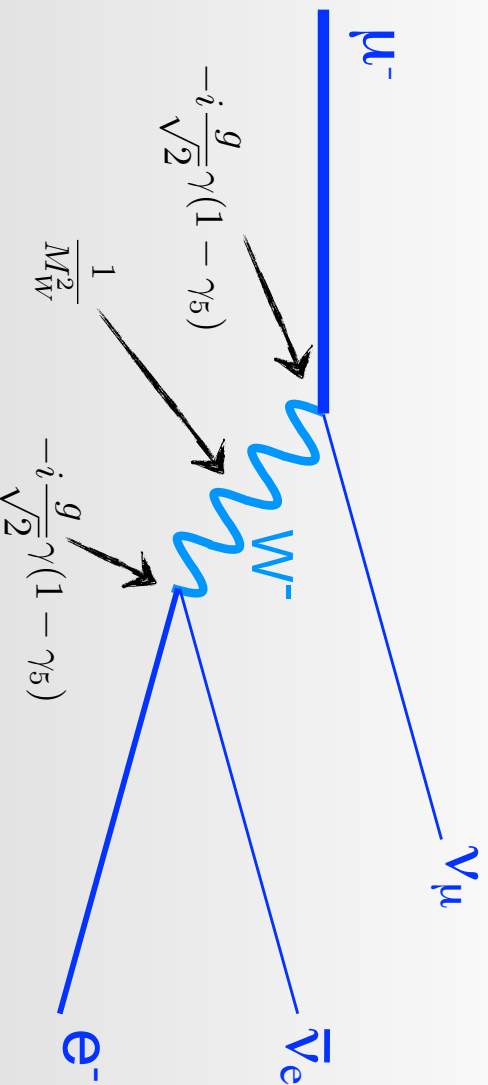
ampiezza: $|\mathcal{M}| \propto \frac{g^2}{2} [\nu_\mu \gamma(1 - \gamma_5) \mu] \frac{1}{M_W^2} [e \gamma(1 - \gamma_5) \nu_e]$



I diagrammi di Feynman al lavoro

Esempio 4: decadimento del muone

(piuttosto rigoroso: ma per i dettagli ci vorrebbe un intero corso di QFTj)



$$\mathcal{L} \simeq$$

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

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

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

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

$$\text{ampiezza: } |\mathcal{M}| \propto \frac{g^2}{2} [\nu_\mu \gamma(1 - \gamma_5) \mu] \frac{1}{M_W^2} [e \gamma(1 - \gamma_5) \nu_e]$$

“...dopo una serie di facili passaggi, si può facilmente dimostrare che...”

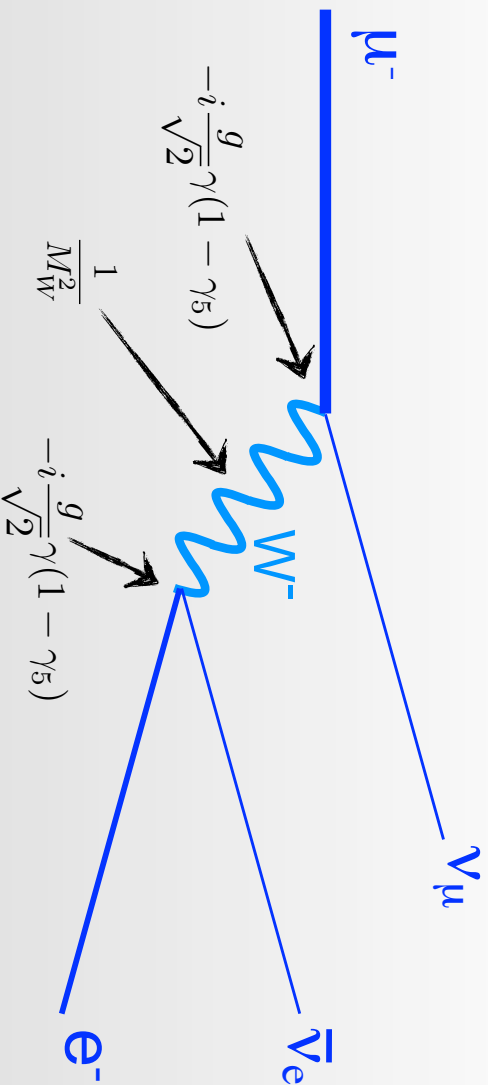
tasso di
decadimento: $\Gamma \propto |\mathcal{M}|^2$



I diagrammi di Feynman al lavoro

Esempio 4: decadimento del muone

(piuttosto rigoroso: ma per i dettagli ci vorrebbe un intero corso di QFT!)



$$\mathcal{L} \simeq$$

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

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

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

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

$$\text{ampiezza: } |\mathcal{M}| \propto \frac{g^2}{2} [\nu_\mu \gamma(1 - \gamma_5) \mu] \frac{1}{M_W^2} [e \gamma(1 - \gamma_5) \nu_e]$$

“...dopo una serie di facili passaggi, si può facilmente dimostrare che...”

$$G_F = \frac{\sqrt{2}g^2}{8M_W^2}$$

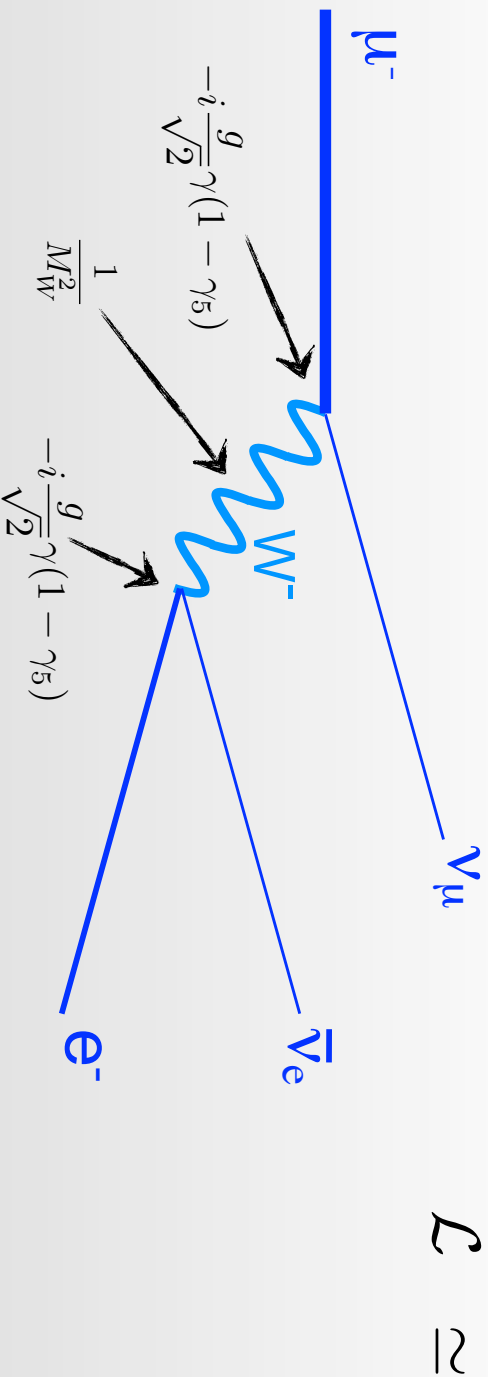
tasso di decadimento: $\Gamma = \frac{1}{192\pi^3} G_F^2 m_\mu^5$



I diagrammi di Feynman al lavoro

Esempio 4: decadimento del muone

(piuttosto rigoroso: ma per i dettagli ci vorrebbe un intero corso di QFT!)



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

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

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

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

$$\text{ampiezza: } |\mathcal{M}| \propto \frac{g^2}{2} [\nu_\mu \gamma(1 - \gamma_5) \mu] \frac{1}{M_W^2} [e \gamma(1 - \gamma_5) \nu_e]$$

“...dopo una serie di facili passaggi, si può facilmente dimostrare che...”

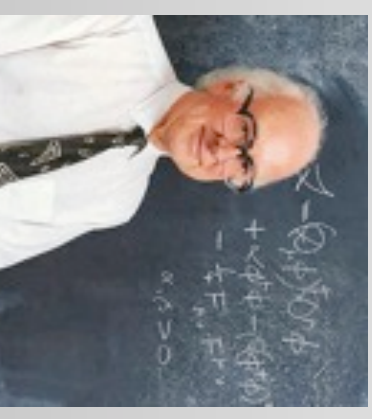
$$G_F = \frac{\sqrt{2} g^2}{8 M_W^2}$$

$$\text{tasso di decadimento: } \Gamma = \frac{1}{192 \pi^3} G_F^2 m_\mu^5$$

$$\text{vita media: } \tau = 1/\Gamma = (2.19703 \pm 0.0004) \times 10^6 \text{ secondi}$$

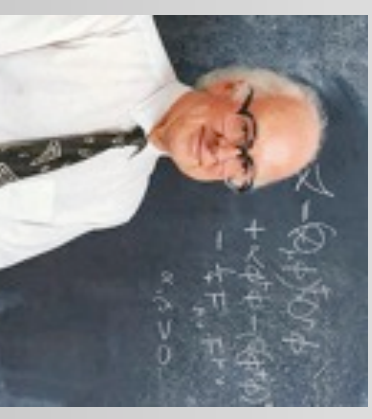


Il bosone di Higgs





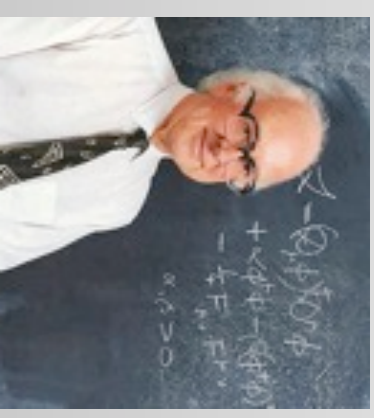
Il bosone di Higgs





Il bosone di ~~Higgs~~

Englert-Brout-Higgs-Guralnik-Hagen-Kibble

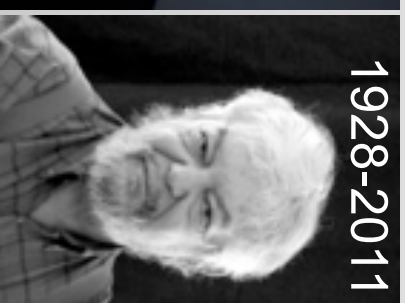




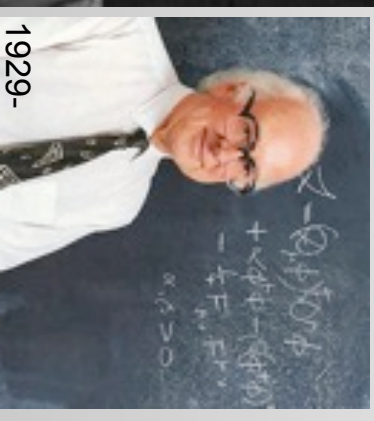
Il bosone di Higgs



1932-



1928-2011



1929-

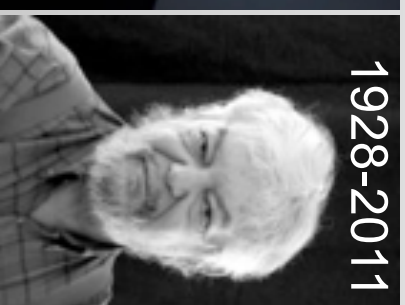


Il bosone di ~~Higgs~~

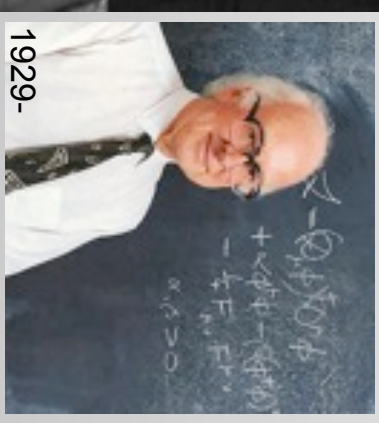
Englert-Brout-Higgs-Guralnik-Hagen-Kibble



1932-



1928-2011



1929-



Q. Perché una particella ha massa m ?



Q. Perché una particella ha massa m ?

$$\begin{aligned}\mathcal{L} \simeq & -\frac{1}{4}F_{\mu\nu}F^{\mu\nu} \\ & +i\bar{\Psi}\not{D}\Psi \\ & +y_{ij}\Psi_i\Psi_j\phi \\ & +|D_\mu\phi|^2 - V(\phi)\end{aligned}$$



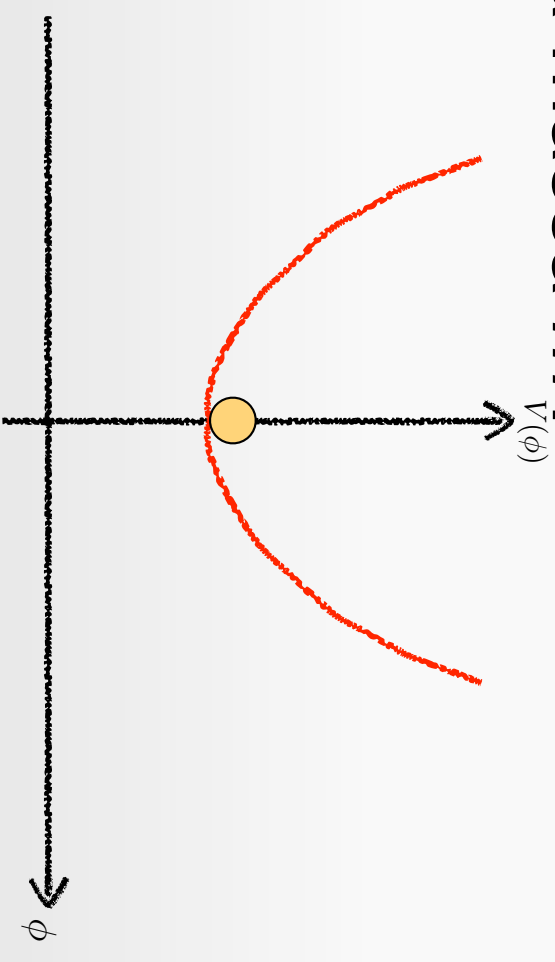
Q. Perché una particella ha massa m ?

$$\begin{aligned}\mathcal{L} \simeq & -\frac{1}{4}F_{\mu\nu}F^{\mu\nu} \\ & +i\bar{\Psi}\not{D}\Psi \\ & +y_{ij}\bar{\Psi}_i\Psi_j\phi \\ & +|D_\mu\phi|^2 - V(\phi)\end{aligned}$$



Q. Perché una particella ha massa m ?

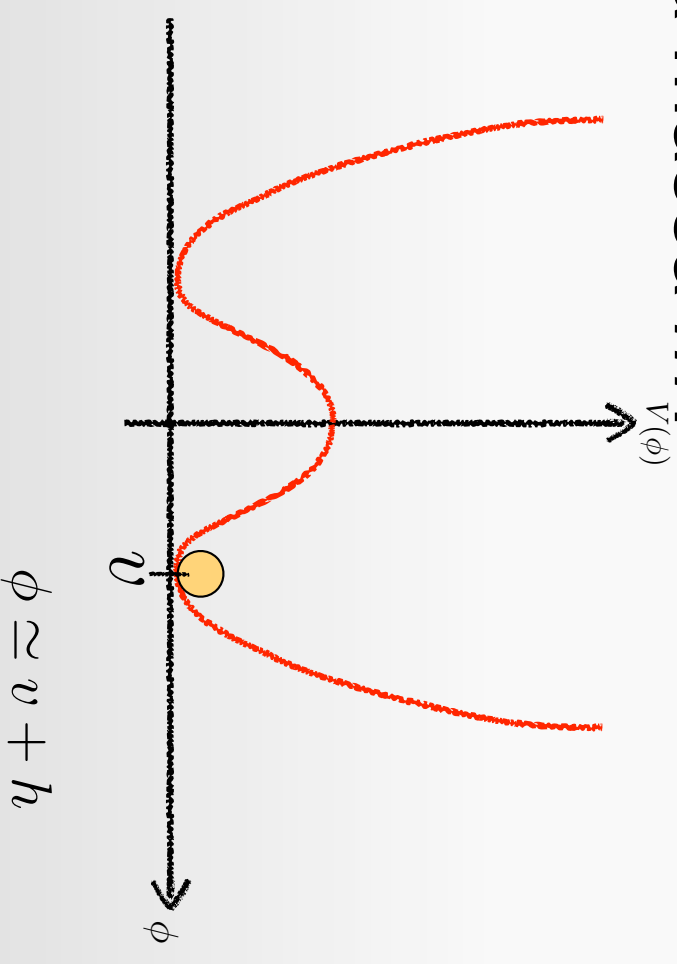
$$\begin{aligned}\mathcal{L} \simeq & -\frac{1}{4}F_{\mu\nu}F^{\mu\nu} \\ & +i\bar{\Psi}\not{D}\Psi \\ & +y_{ij}\Psi_i\Psi_j\phi \\ & +|D_\mu\phi|^2 - V(\phi)\end{aligned}$$





Q. Perché una particella ha massa m ?

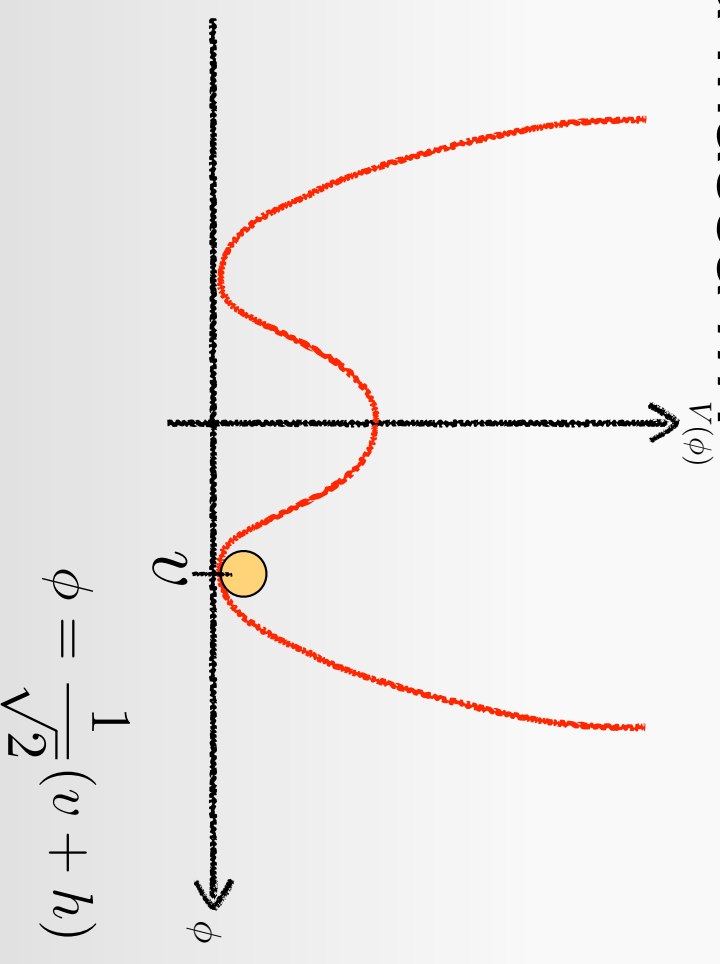
$$\begin{aligned}\mathcal{L} \simeq & -\frac{1}{4}F_{\mu\nu}F^{\mu\nu} \\ & +i\bar{\Psi}\not{D}\Psi \\ & +y_{ij}\Psi_i\Psi_j\phi \\ & +|D_\mu\phi|^2 - V(\phi)\end{aligned}$$





Q. Perché una particella ha massa m ?

$$\begin{aligned}\mathcal{L} \simeq & -\frac{1}{4}F_{\mu\nu}F^{\mu\nu} \\ & +i\bar{\Psi}\not{D}\Psi \\ & +y_{ij}\Psi_i\Psi_j\phi \\ & +|D_\mu\phi|^2 - V(\phi)\end{aligned}$$





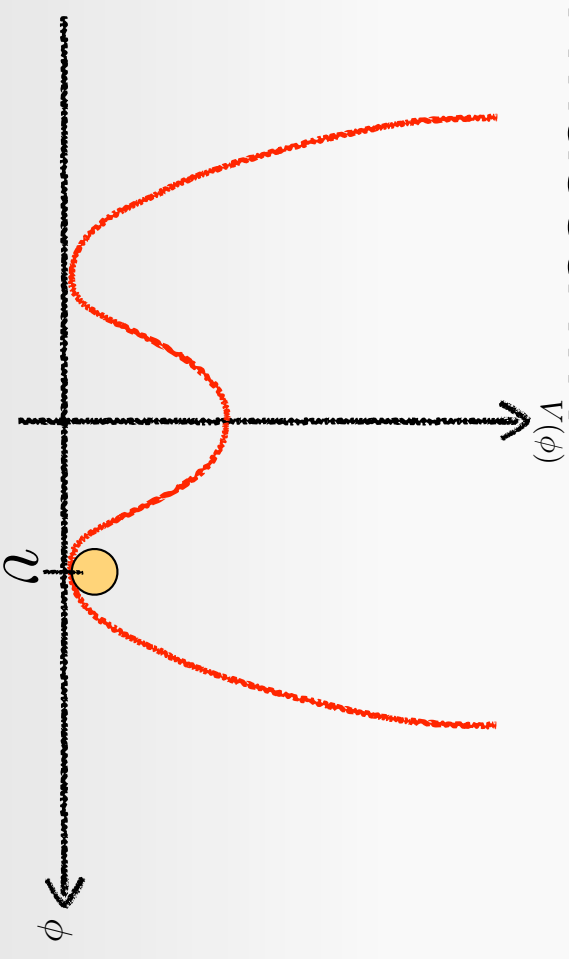
Q. Perché una particella ha massa m ?

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

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

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

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



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



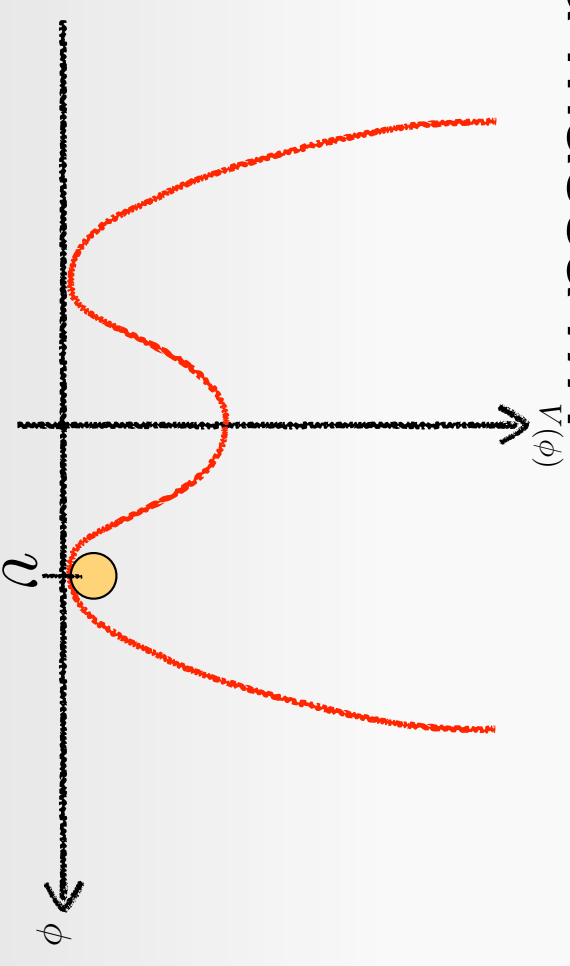
Q. Perché una particella ha massa m ?

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

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

$$+ y_{ij} \bar{\Psi}_i \Psi_j \phi$$

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



$$y_{ij} \bar{\Psi}_i \Psi_j \frac{1}{\sqrt{2}} (v + h) \rightsquigarrow \frac{y_{\mu\nu} v}{\sqrt{2}} \mu_\mu + \frac{y_{\mu\nu}}{\sqrt{2}} \mu_\mu h = \underbrace{\mu}_\mu + \underbrace{\mu}_{\mu} \underbrace{h}_{-\frac{1}{\sqrt{2}}(v+h)}$$

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

m_μ



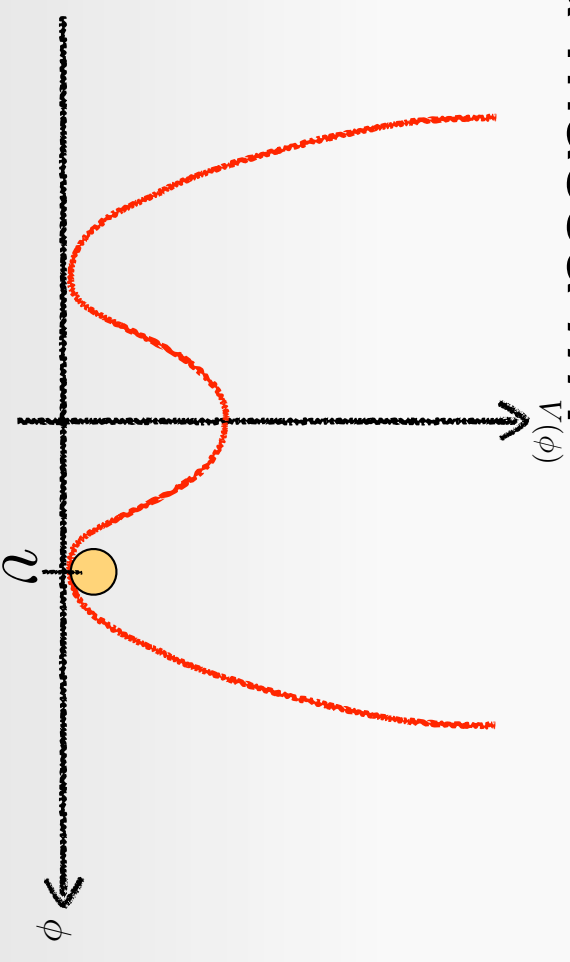
Q. Perché una particella ha massa m ?

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

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

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

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



$$y_{ij}\Psi_i\Psi_j \frac{1}{\sqrt{2}}(v+h) \rightsquigarrow \frac{y_\mu v}{\sqrt{2}} \mu_\mu + \frac{y_\mu}{\sqrt{2}} \mu_\mu h = \underbrace{\mu}_\mu + \underbrace{\mu}_\mu \underbrace{h}_{-\phi = \frac{1}{\sqrt{2}}(v+h)}$$

\swarrow \searrow
 μ μ
 \nearrow \nwarrow
 h h
 \swarrow \searrow
 y_μ y_μ

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



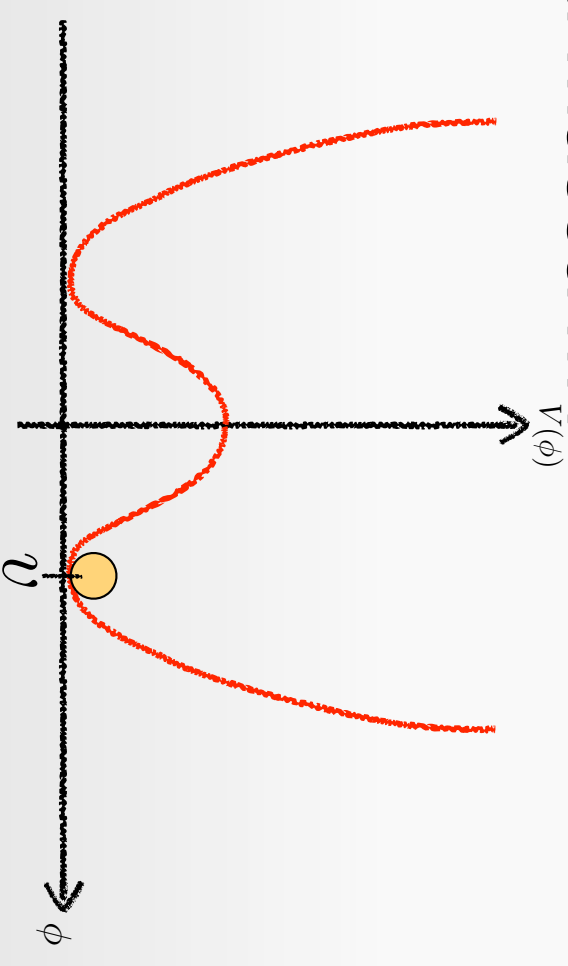
Q. Perché una particella ha massa m ?

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

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

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

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



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

$$\rightsquigarrow \frac{y_\mu v}{\sqrt{2}} \mu_\mu$$

m_μ

$$\mu_\mu + \frac{y_\mu}{\sqrt{2}} \mu_\mu h$$

$$= \mu$$

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

$$+ \mu$$

$$+ \mu$$

$$+ \mu$$

$$+ \mu$$

$$+ \mu$$

$$+ \mu$$

$$+ \mu$$

$$|D_\mu \phi|^2$$

$$\rightsquigarrow \frac{g^2 v^2}{2} W^+ W^-$$

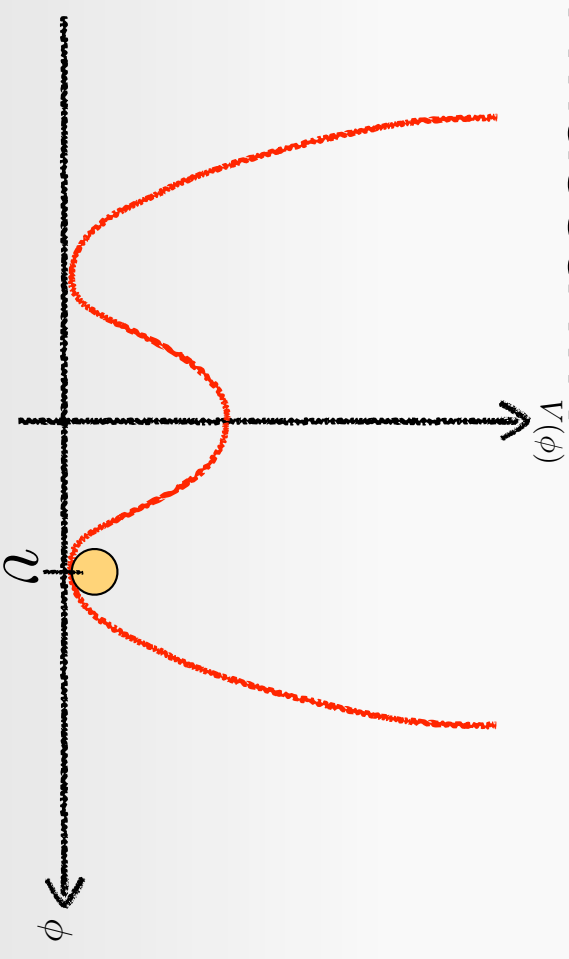
M_W

M_W



Q. Perché una particella ha massa m ?

$$\mathcal{L} \simeq -\frac{1}{4}F_{\mu\nu}F^{\mu\nu} + i\bar{\Psi}\not{D}\Psi + y_{ij}\Psi_i\Psi_j\phi + |D_\mu\phi|^2 - V(\phi)$$



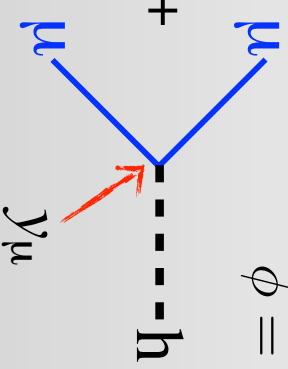
$$y_{ij}\Psi_i\Psi_j - \frac{1}{\sqrt{2}}(v+h)$$

$$\frac{y_\mu v}{\sqrt{2}}$$

$$\mu\mu + \frac{y_\mu}{\sqrt{2}}\mu\mu h = \mu +$$

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

M_W m_μ



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

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



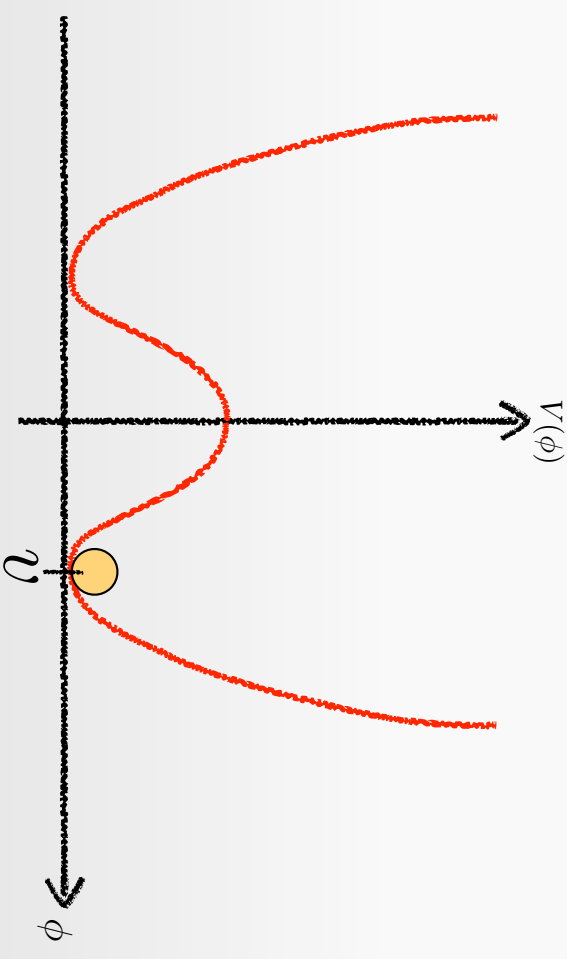
Q. Perché una particella ha massa m ?

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

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

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

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



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

$$\rightsquigarrow \frac{y_\mu v}{\sqrt{2}}$$

M_W

m_μ

$$\mu\mu + \frac{y_\mu}{\sqrt{2}} \mu\mu h = \mu$$

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

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

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

M_W

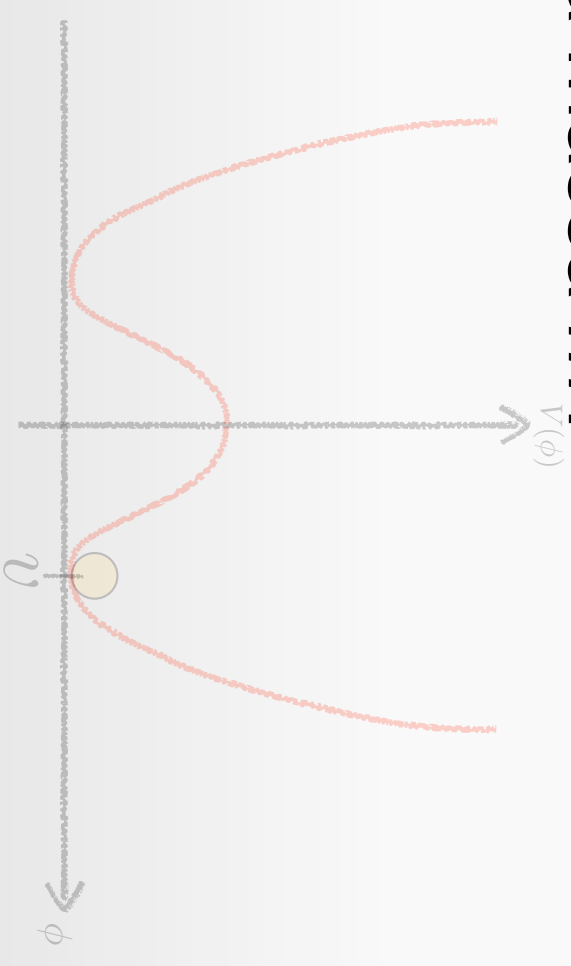
$$V(\phi) \rightsquigarrow \frac{1}{2} (2\lambda v^2) h^2$$

m_h^2



Q. Perché una particella ha massa m ?

$$\mathcal{L} \simeq -\frac{1}{4} F_{\mu\nu} F^{\mu\nu} + i\bar{\Psi} \not{D}\Psi + y_{ij} \Psi_i \Psi_j \phi + |D_\mu \phi|^2 - V(\phi)$$



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

$$\frac{y_{\mu\nu} v}{\sqrt{2}} \mu\mu + \frac{y_\mu}{\sqrt{2}} \mu\mu h = \mu +$$

$$\mu + \frac{y_\mu}{\sqrt{2}} \mu\mu h = \mu + \frac{1}{2} (2\lambda v^2) h h$$

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

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

$$M_W \rightsquigarrow m_\mu$$

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

A. Perché interagisce con l'higgs con intensità $y = \sqrt{2}m/v$!



Q. Perché una particella ha massa m ?

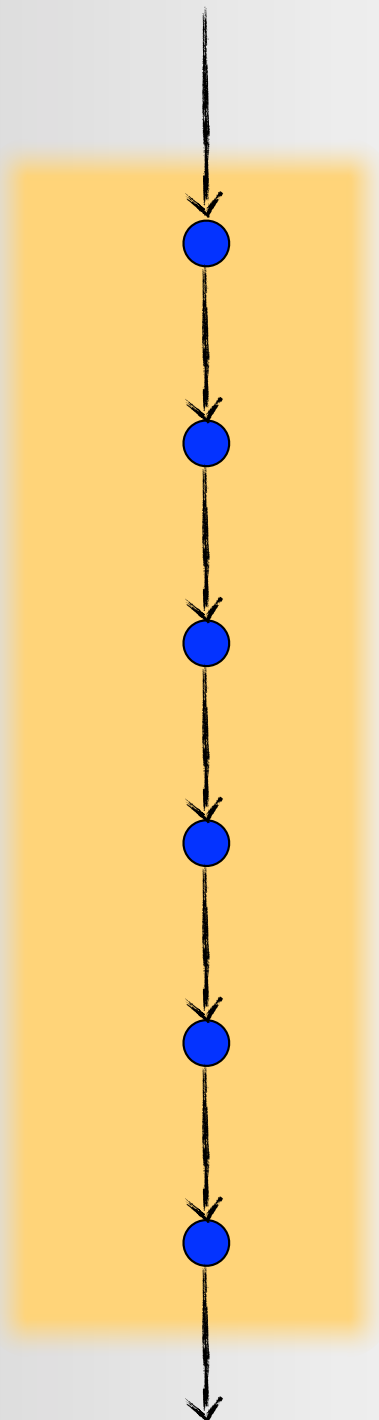
A. Perché interagisce con l'higgs con intensità $y=\sqrt{2}m/v$!



Q. Perché una particella ha massa m ?

A. Perché interagisce con l'higgs con intensità $y = \sqrt{2}m/v$!

Il campo di higgs è un mezzo continuo che permea l'universo.
Le particelle, interagendo col campo, acquistano un'inerzia/massa.

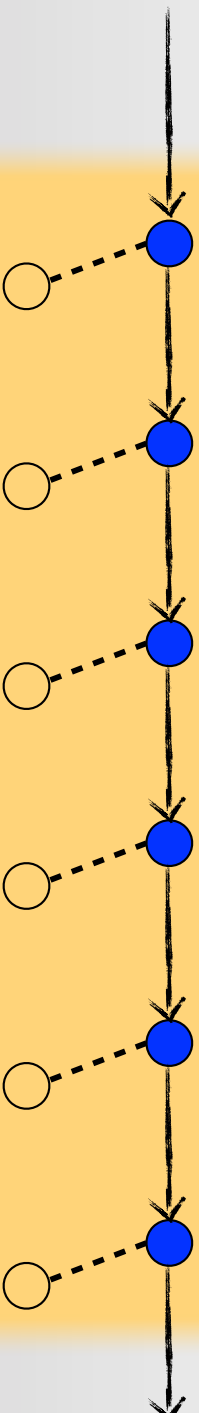




Q. Perché una particella ha massa m ?

A. Perché interagisce con l'higgs con intensità $y = \sqrt{2}m/v$!

Il campo di higgs è un mezzo continuo che permea l'universo.
Le particelle, interagendo col campo, acquistano un'inerzia/massa.



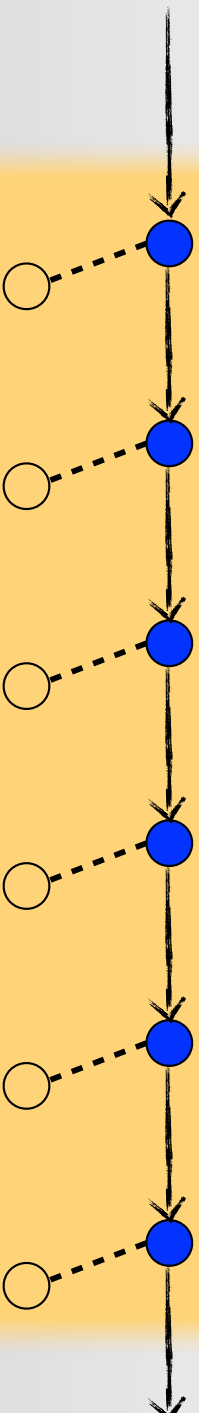


Q. Perché una particella ha massa m ?

A. Perché interagisce con l'higgs con intensità $y = \sqrt{2}m/v$!

Il campo di higgs è un mezzo continuo che permea l'universo.

Le particelle, interagendo col campo, acquistano un'inerzia/massa.



Le 'onde' del campo di Higgs sono una particella: la particella di Higgs (bosone).

Equation (2b) describes waves whose quanta have (bare) mass $2\phi_0\{V''(\phi_0^2)\}^{1/2}$