

# IL MODELLO STANDARD (E OLTRE) AL CERN



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI TRIESTE



**VIERI CANDELISE**

*Ricercatore nell'esperimento CMS*

Dipartimento di Fisica, UniTS

Trieste, 14/01/2022

# IL MODELLO STANDARD IN 15'

è la teoria quantistica relativistica delle interazioni fondamentali

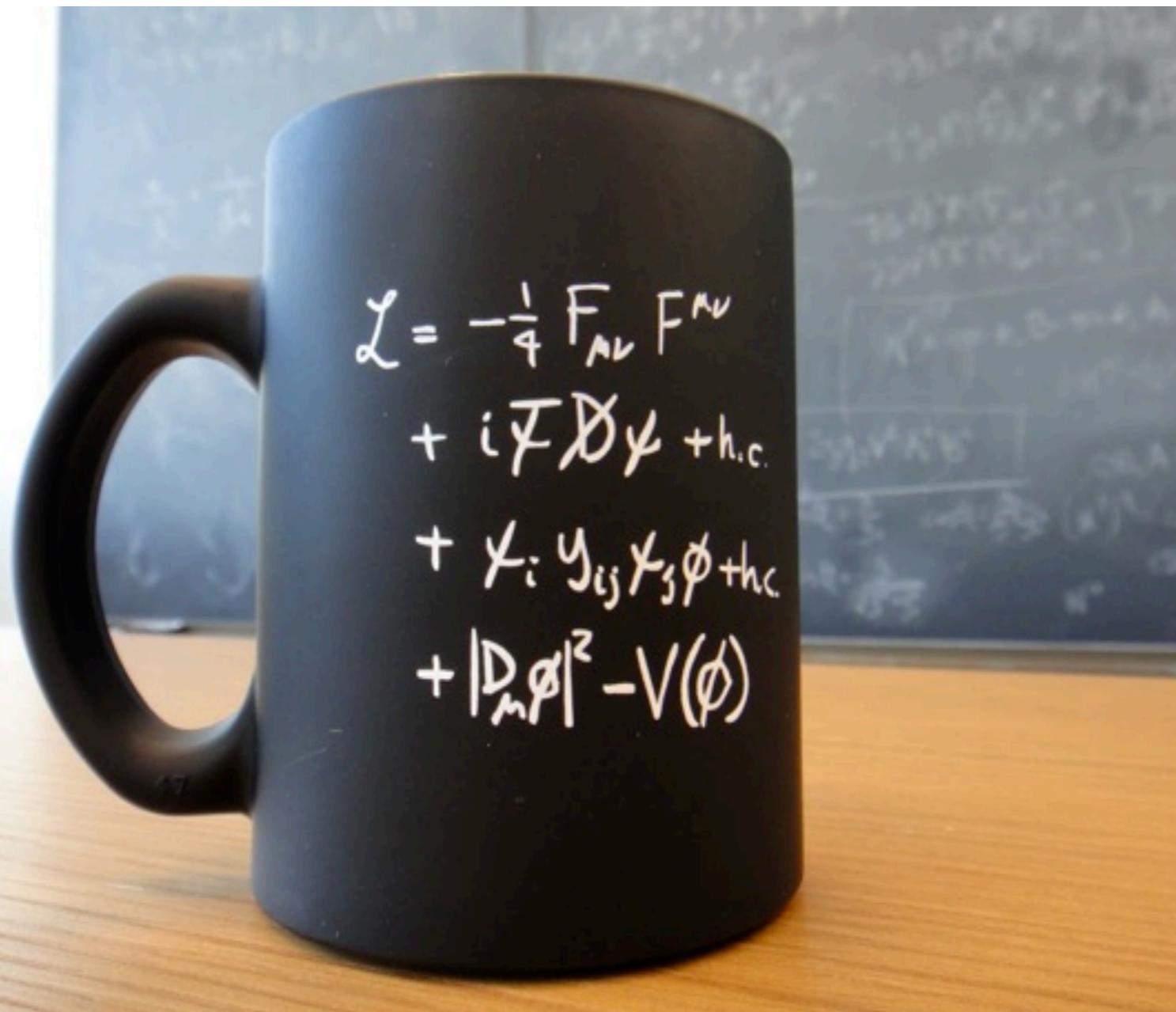
ogni interazione è descritta da un **campo quantistico**

ogni campo quantistico è quantizzato in una **particella**

le particelle seguono **l'equazione di Dirac/KG**

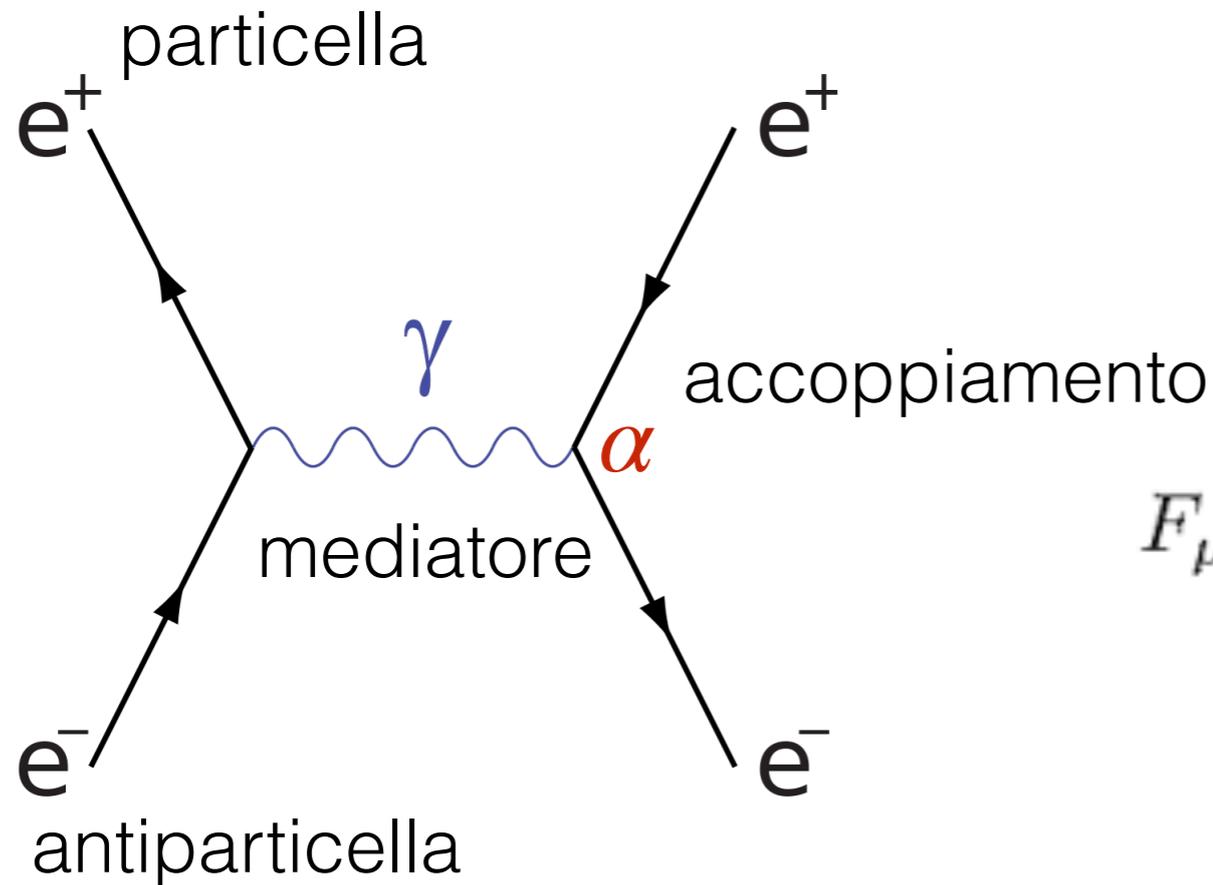
il modello predice **l'interazione tra le particelle**

il modello predice **la massa dell'Universo**



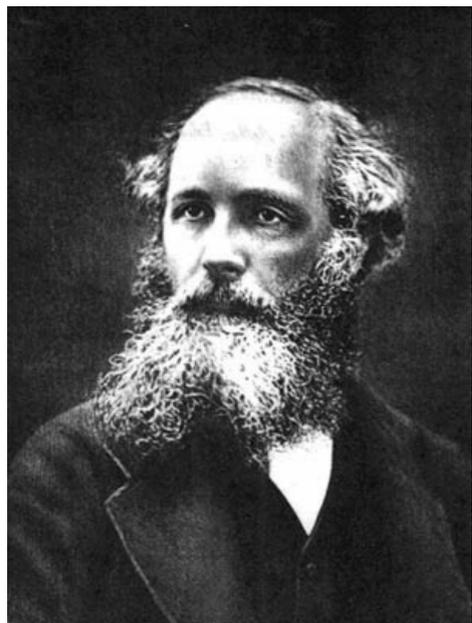
# FORZE FONDAMENTALI E MEDIATORI

## INTERAZIONE ELETTROMAGNETICA



luce, radiazione, elettromagnetismo

$$F_{\mu\nu} = \begin{pmatrix} 0 & B_z & -B_y & -iE_x \\ -B_z & 0 & B_x & -iE_y \\ B_y & -B_x & 0 & -iE_z \\ iE_x & iE_y & iE_z & 0 \end{pmatrix}$$



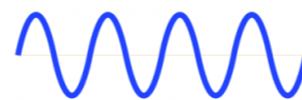
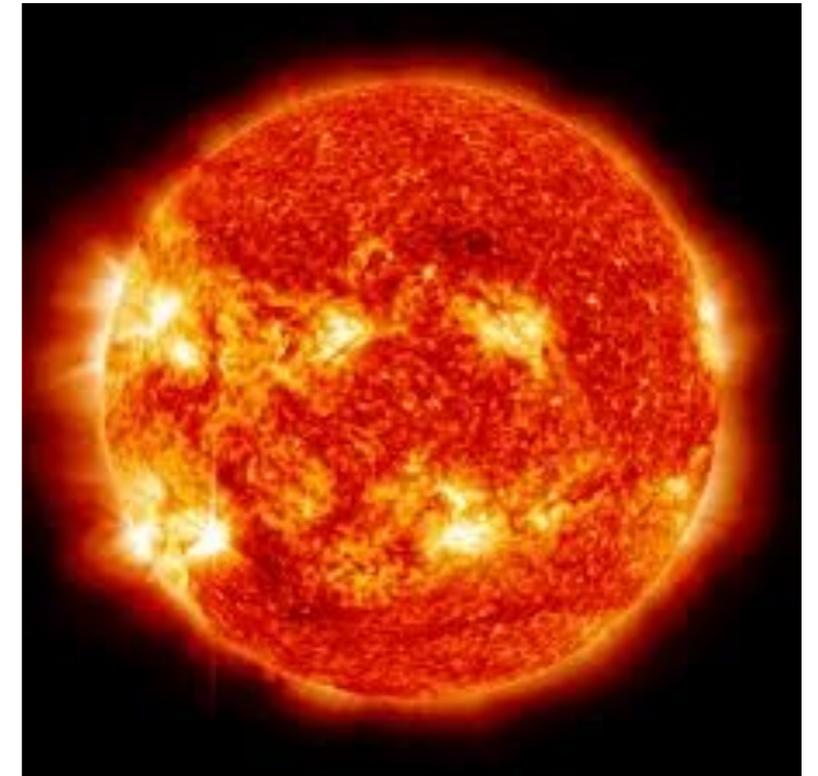
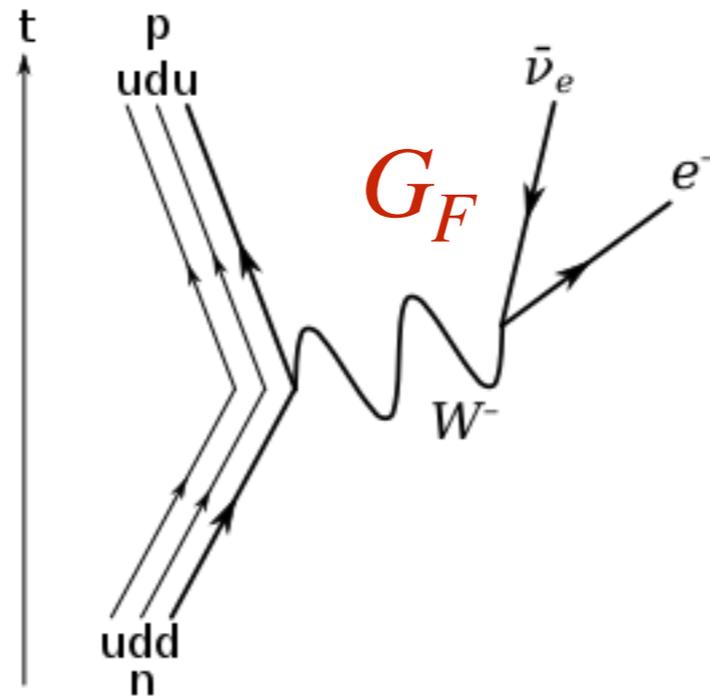
fotone  
 $s=1$



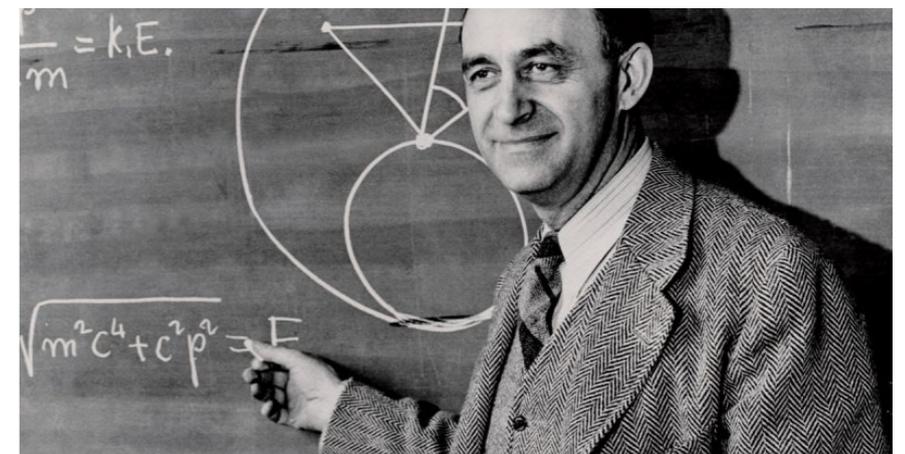
# FORZE FONDAMENTALI E MEDIATORI

## INTERAZIONE DEBOLE

decadimenti,  
trasformazioni,  
radioattività



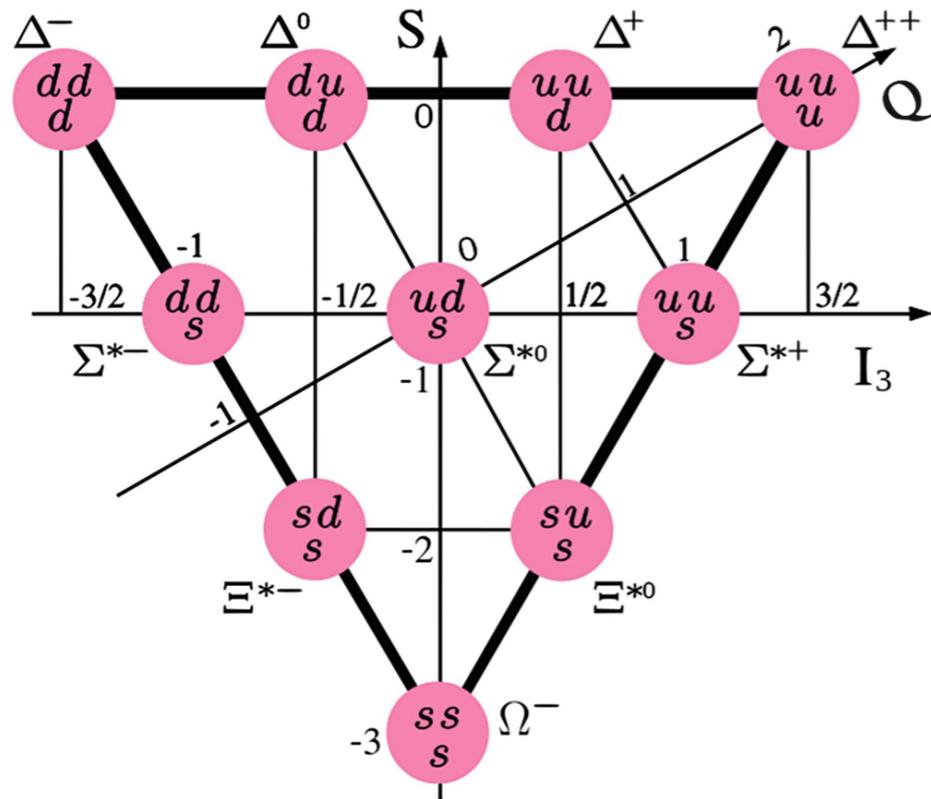
$W e Z$   
 $s=1$



CERN, 1984

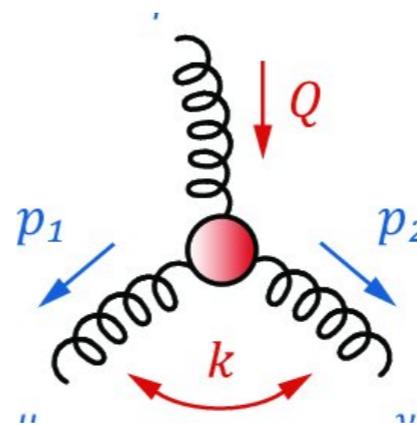
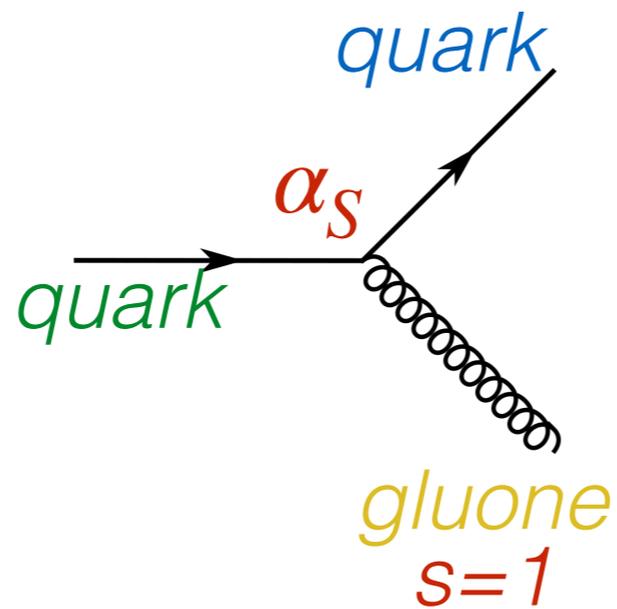
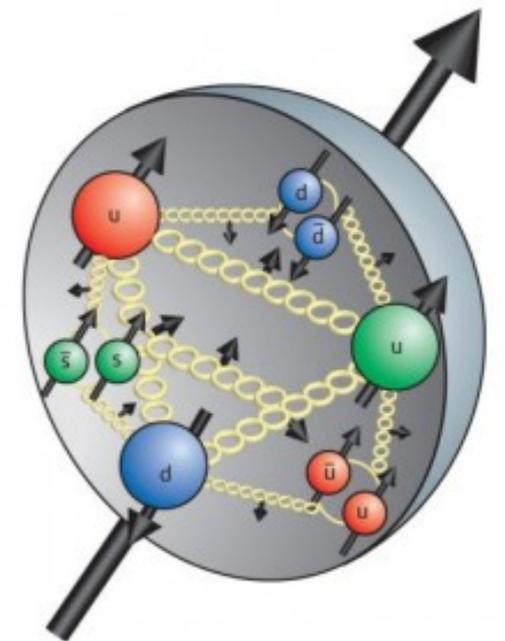
# FORZE FONDAMENTALI E MEDIATORI

## INTERAZIONE FORTE



$$\mathcal{L}_{YM} = -\frac{1}{4} G_{\mu\nu}^a G_a^{\mu\nu}$$

tiene insieme  
quark e gluoni



# FORZE FONDAMENTALI E MEDIATORI

## GRAVITÀ



*gravitone?*

[?]

$$F_G/F_{em} \sim 10^{-43}$$

# RIASSUMENDO

**INTERAZIONE ELETTROMAGNETICA**

**INTERAZIONE FERMIONI-BOSONI**

*(dentro D ci sono i campi)*

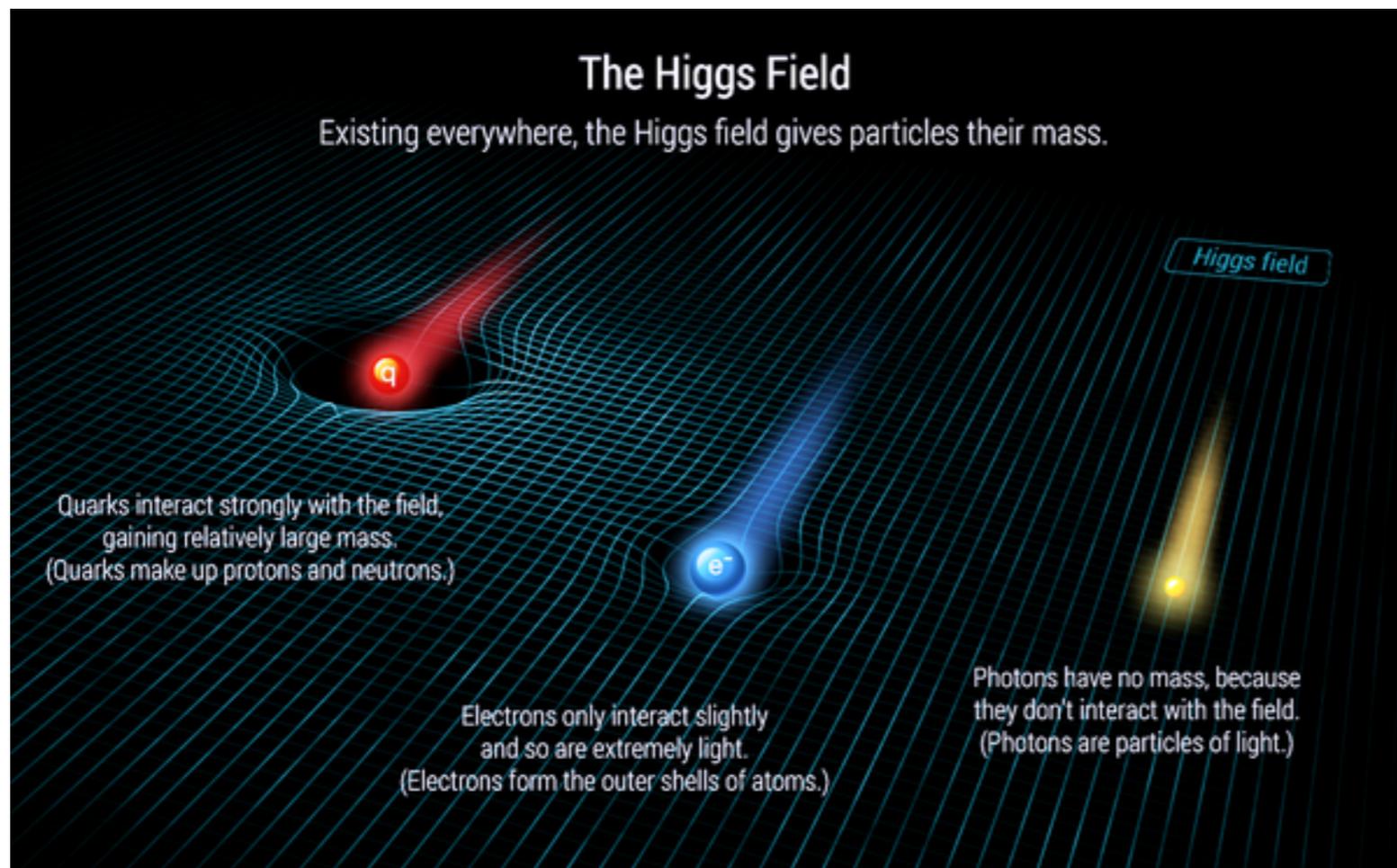
**INTERAZIONE QUARK/GLUONI**

**INTERAZIONE DI HIGGS**

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

# IL BOSONE DI HIGGS

Problema: il MS prevede un mondo fatto di particelle senza massa!  
*invece noi osserviamo massa in tutto l'Universo...*



Soluzione: l'Universo è permeato da un "campo" e tutto si muove attraverso esso **divenendo massivo**.

campo = forza = particella



il bosone di Higgs!

teorizzato negli anni 60 da Higgs, Englert e Brout con un'idea super semplice: introdurre un campo scalare che inneschi la rottura di della simmetria

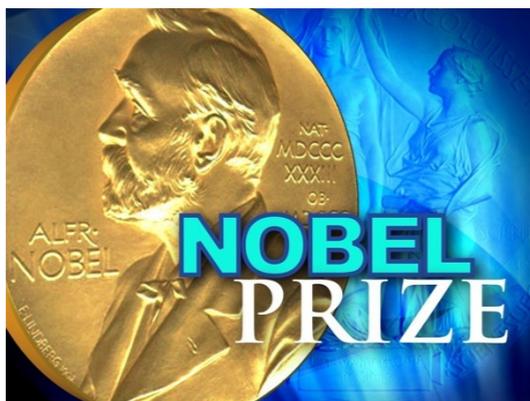
# IL BOSONE DI HIGGS

Problema: il MS prevede un mondo fatto di particelle senza massa!  
*invece noi osserviamo massa in tutto l'Universo...*



Questa particella *ha una probabilità estremamente piccola...* oltre 30 di ricerche per generazioni di esperimenti!

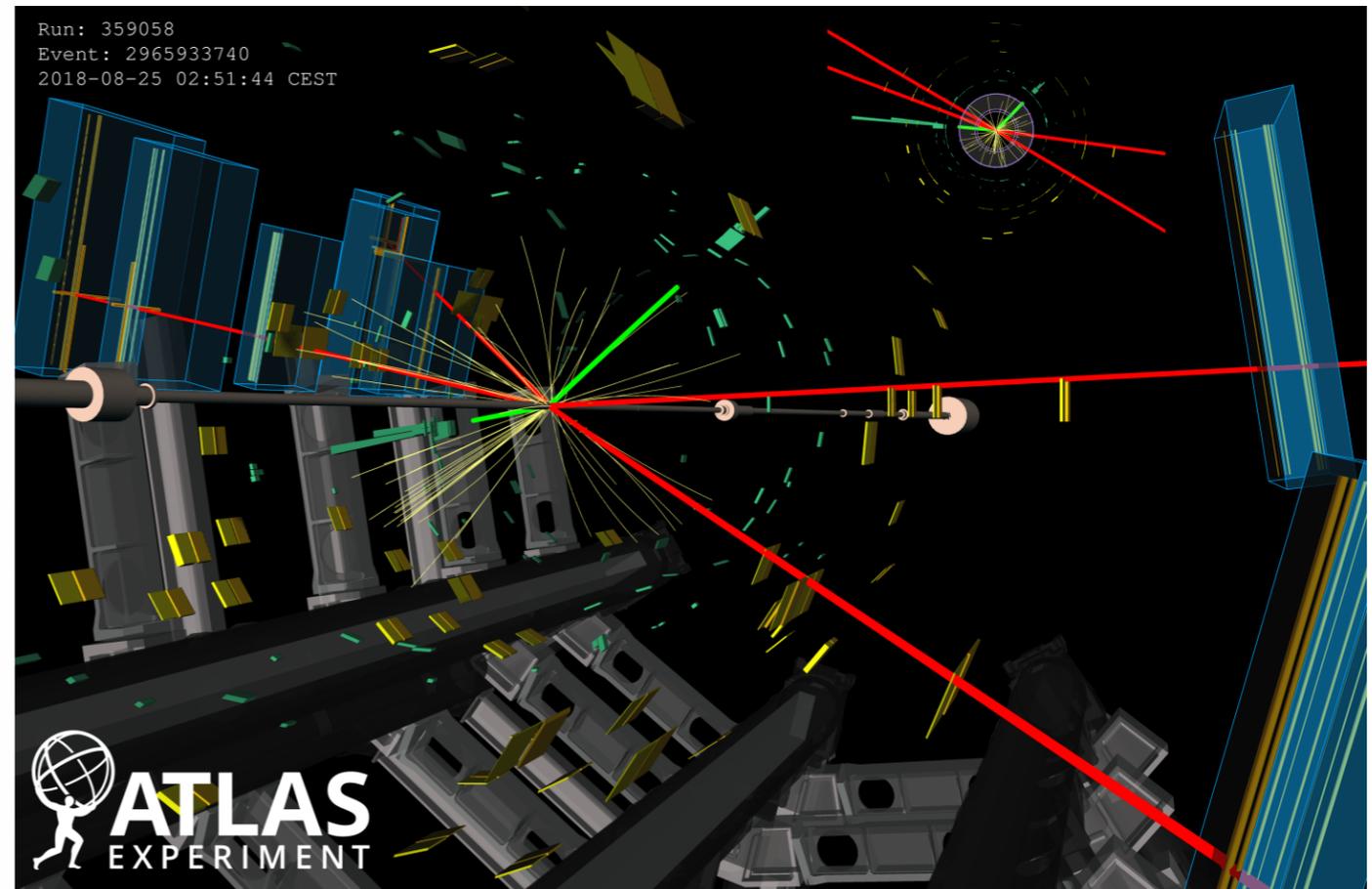
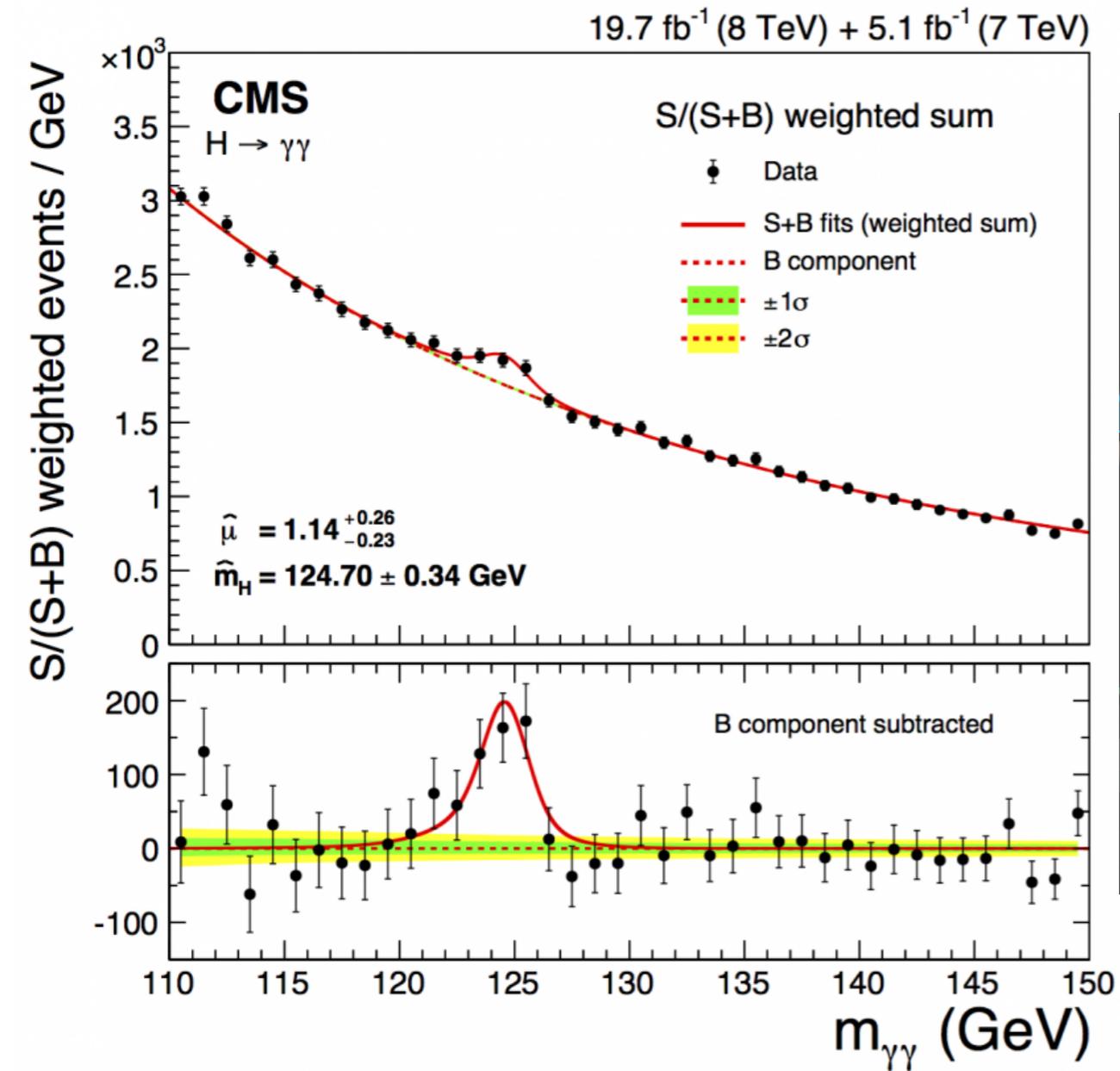
Nel 2012 ATLAS e CMS al CERN “vedono” una particella scalare che decade in due fotoni e in ZZ



È la scoperta del bosone di Higgs e l'inizio della fisica dell'Higgs ai colliders

# LA SCOPERTA DEL BOSONE DI HIGGS

$$pp \rightarrow H \rightarrow ZZ \rightarrow 4\mu$$



$$pp \rightarrow H \rightarrow \gamma\gamma$$

2012



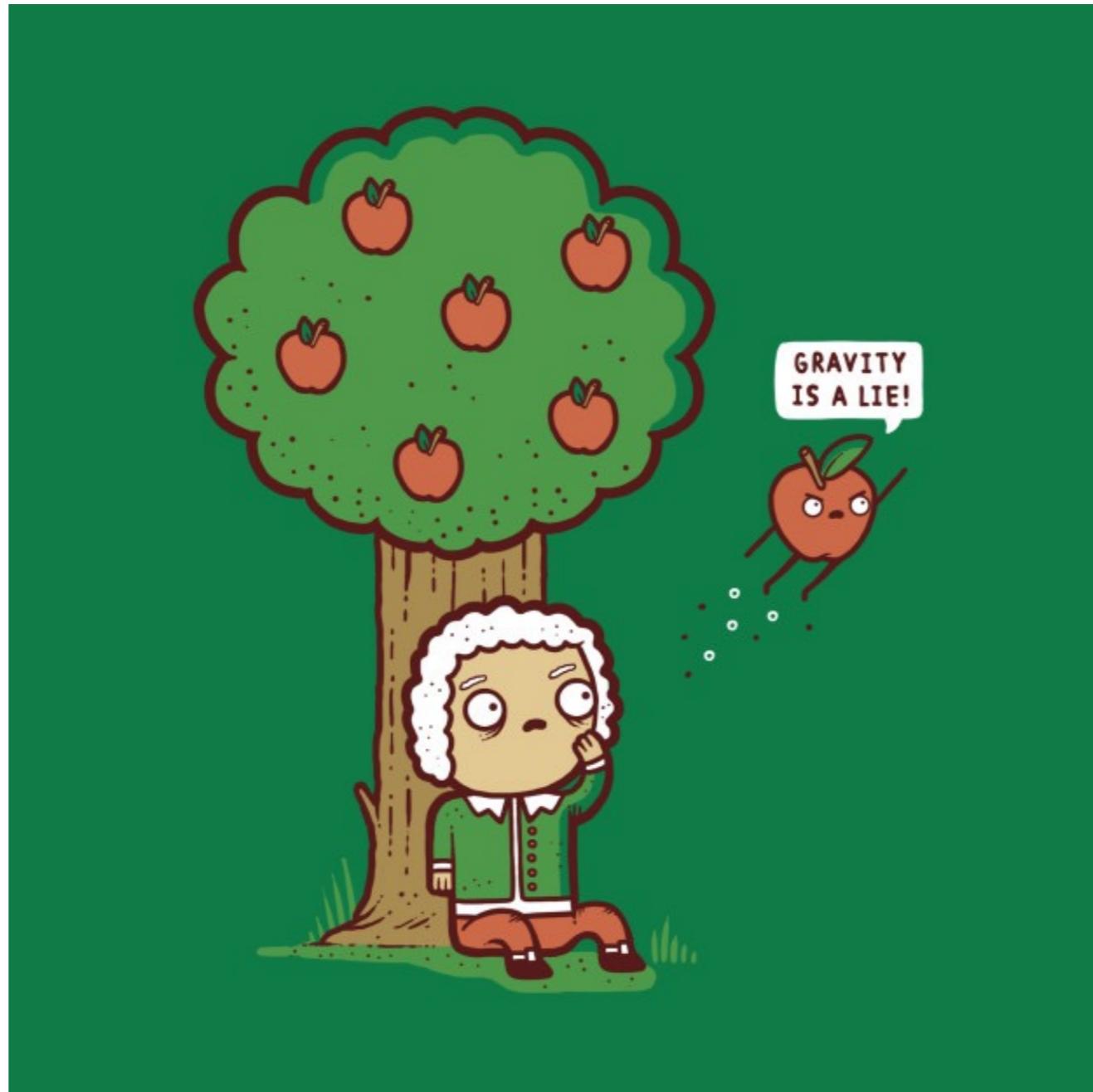
**(YAY!)**

# LA GRAVITÀ (DELLA SITUAZIONE)

la gravità non si riesce ad inserire nel modello standard!

**GRAVITONI?**

**DIMENSIONI  
AGGIUNTIVE?**



**QUANTUM GRAVITY?**

**GRAVITÀ  
MODIFICATA?**

**non esiste una teoria della gravità alla scala subnucleare**

# BLACKOUT COSMICO

## LA MATERIA OSCURA

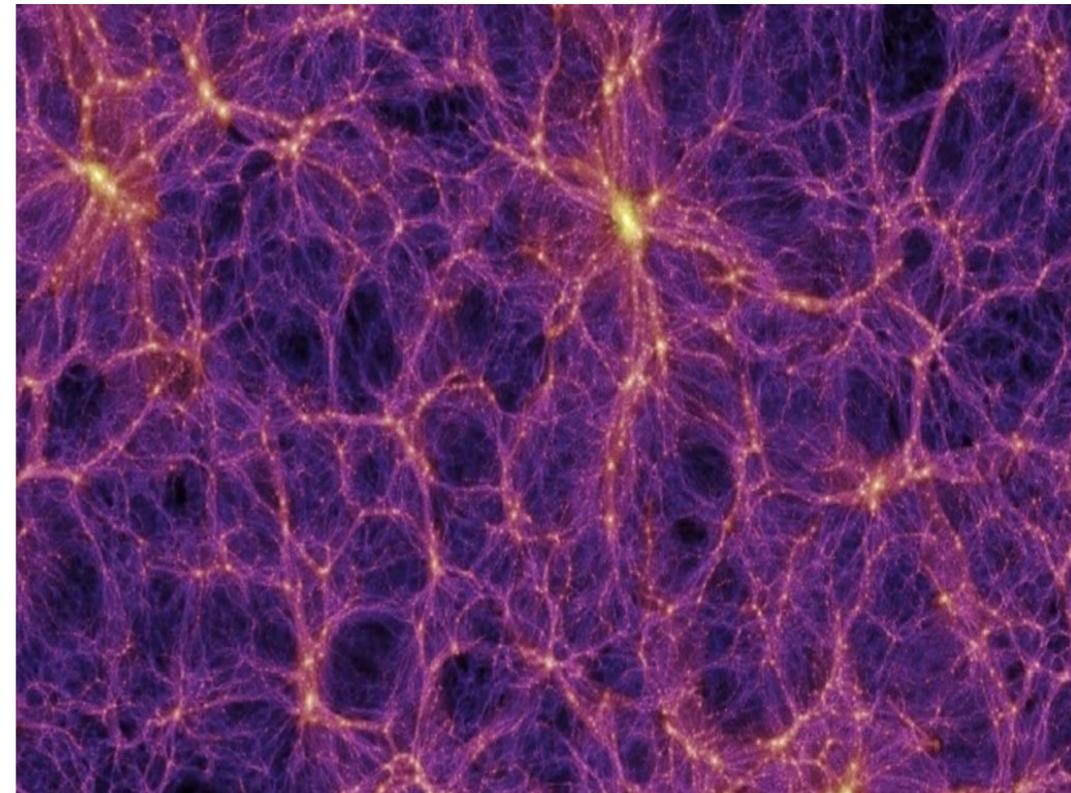
The Universe  
is Made of...

74% DARK ENERGY

4% NORMAL MATTER

21% DARK MATTER

ENERGY.GOV



Il nostro universo è dominato (90%!) da un tipo di materia di cui non **sappiamo niente**, invisibile e che non abbiamo mai “scoperto” direttamente!



Tanti modelli per spiegare la natura della materia oscura, e tanti esperimenti nel mondo dedicati, ma al momento siamo persi nel buio!

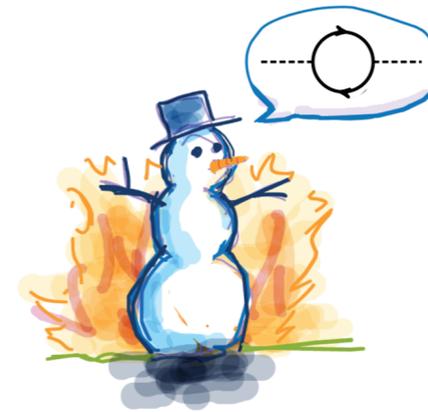
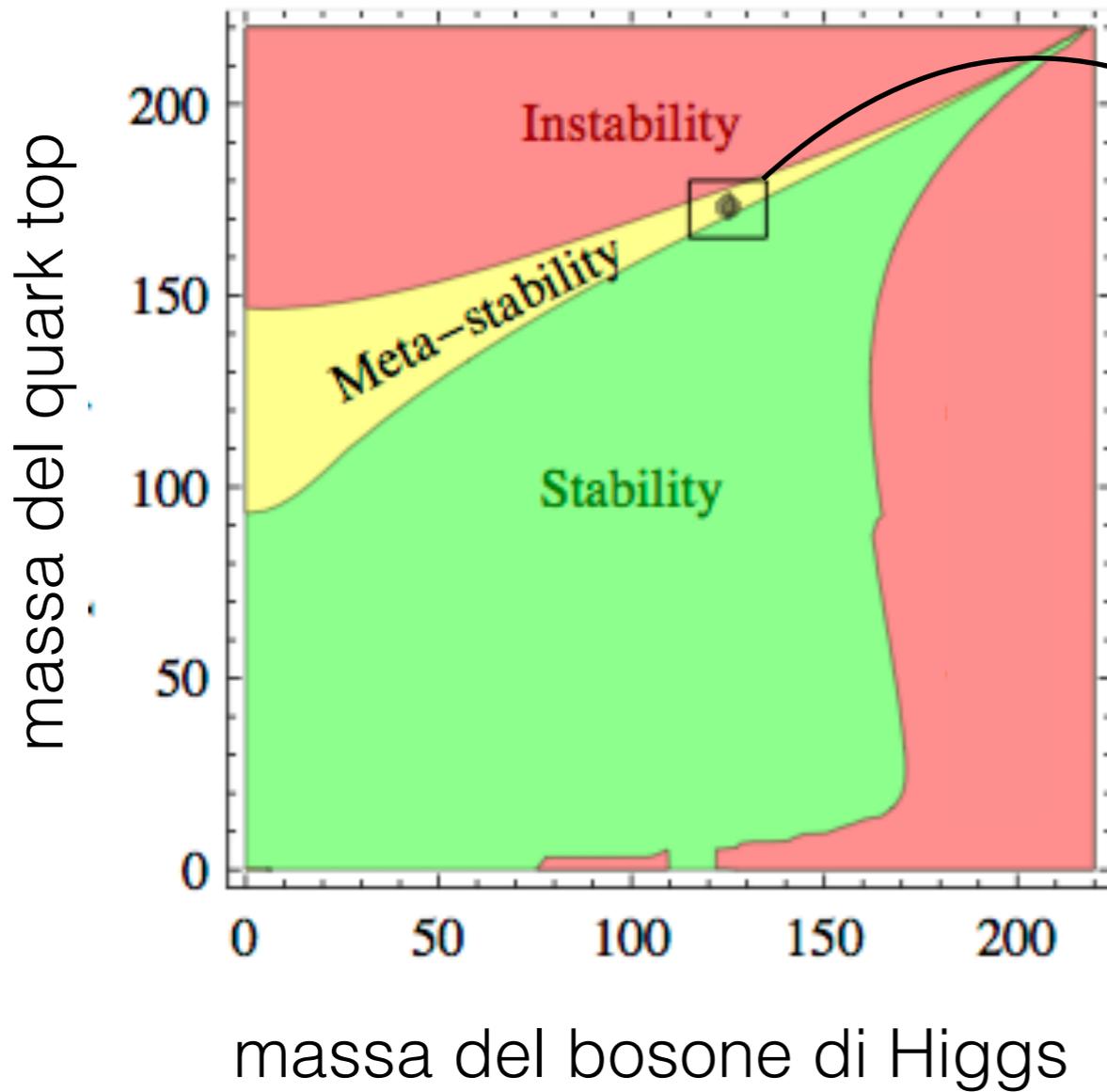
# IL MONDO PERDUTO

## L'ASIMMETRIA MATERIA/ANTIMATERIA



Dopo il Big Bang la materia e l'antimateria convivevano felicemente in un mondo di serena parità di genere... a un certo punto l'antimateria si è "estinta" lasciandoci in un mondo fatto prevalentemente di materia. **Perché?**

# IL DESTINO DELL'UNIVERSO E IL BOSONE DI HIGGS



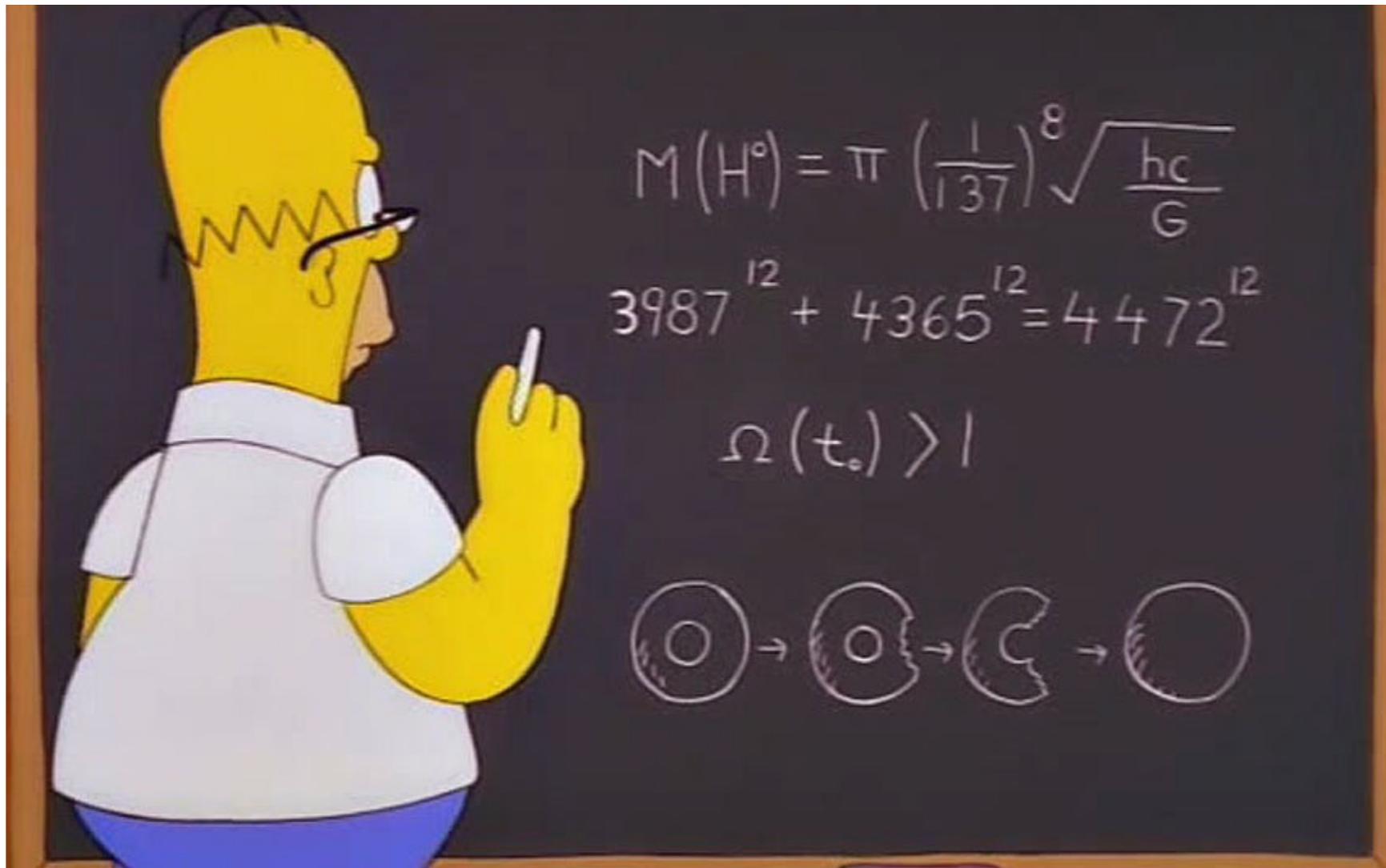
*una "fiammata quantistica" potrebbe modificare la massa dell'Higgs spostare questo punto...*



*where do we go now?*

# THE END ?

La caccia al bosone di Higgs è stata una delle maggiori sfide tecnologiche del secolo, durata oltre 20 anni... **la Natura è ancora piena di misteri!**



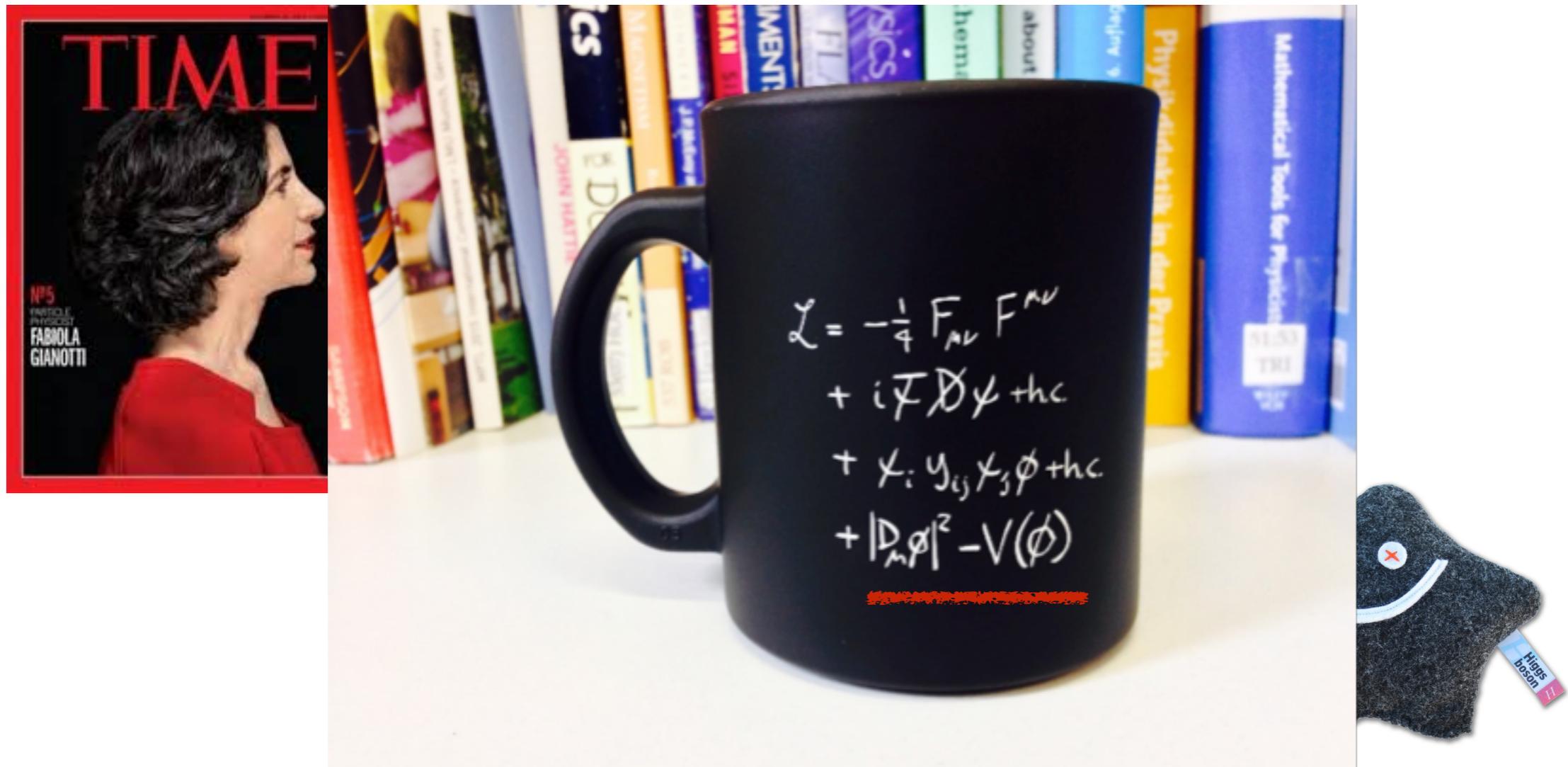
(Homer predice la massa del bosone di Higgs in un episodio dei Simpsons del 1998 con 14 anni di anticipo)

<https://www.telegraph.co.uk/news/science/science-news/11444055/Homer-Simpson-discovered-the-Higgs-boson.html>

**BACKUP**

# LA SCOPERTA DEL BOSONE DI HIGGS

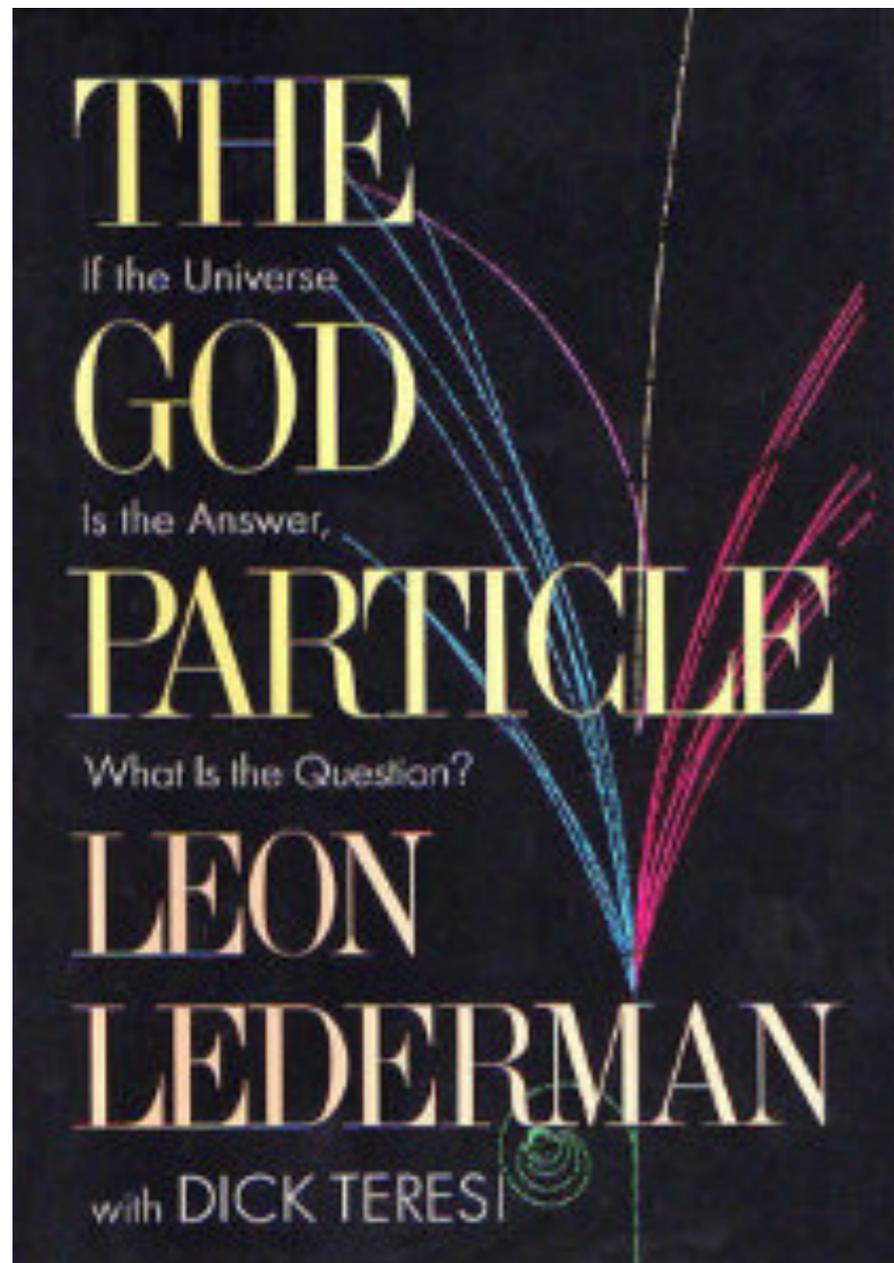
L'ANELLO MANCANTE È STATO TROVATO!



... ED ORA?

# IL BOSONE DI HIGGS

La “Particella di Dio”? No!!



Nel 1993 il premio Nobel Leon Lederman pubblica il libro divulgativo “La particella di Dio”. Tuttavia...

*L'editore non ci ha permesso di chiamarla "**particella maledetta**" (goddamn particle), anche se questo potrebbe essere un titolo più appropriato, data la sua natura perfida e i costi che sta causando*

In italia Mondadori traduce ulteriormente male il titolo, trasformando “La particella-Dio” in “La particella *di* Dio”

# LA SCOPERTA DEL BOSONE DI HIGGS



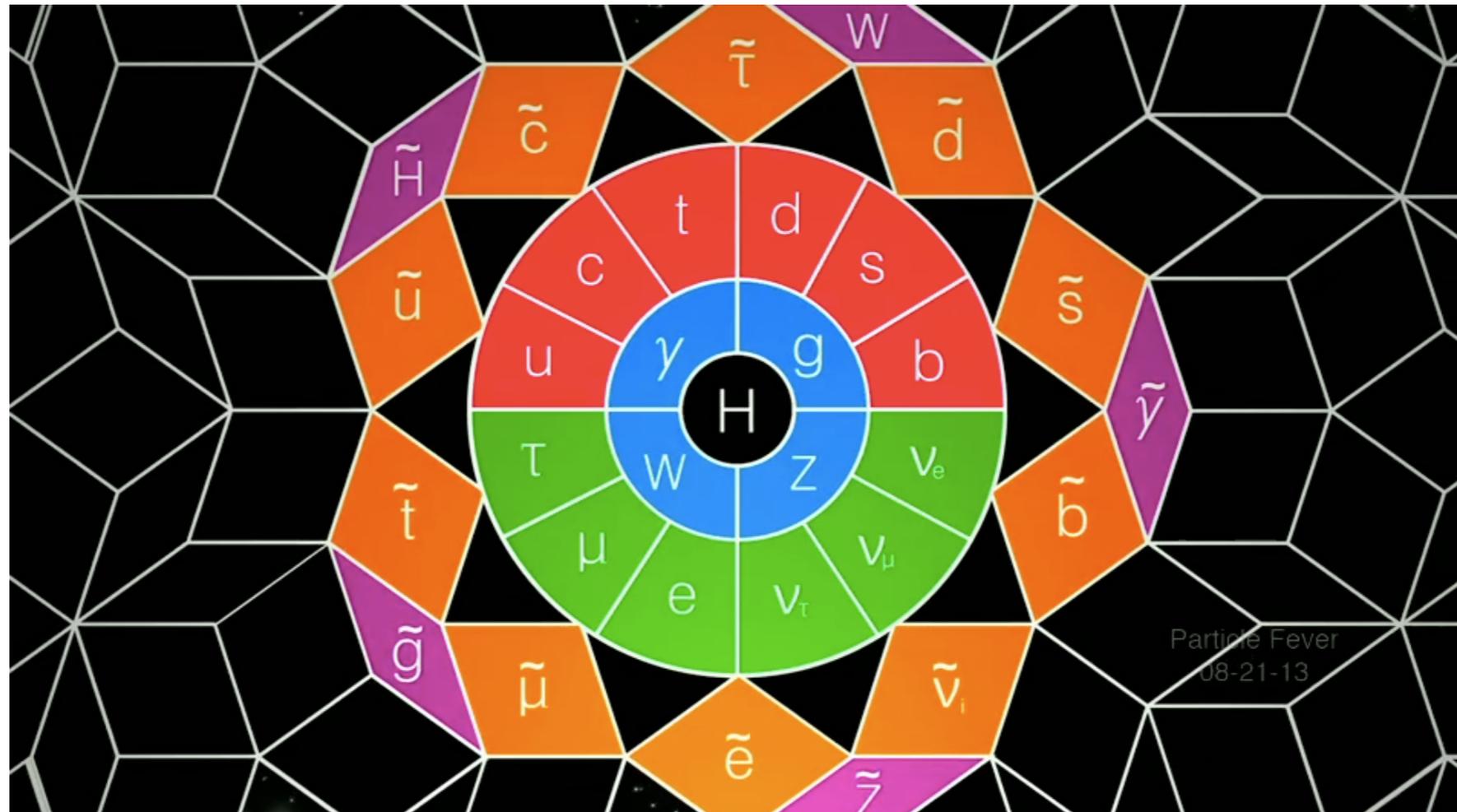
# IL BOSONE DI HIGGS...

...ANCORA??

$$M = m + \Delta m$$

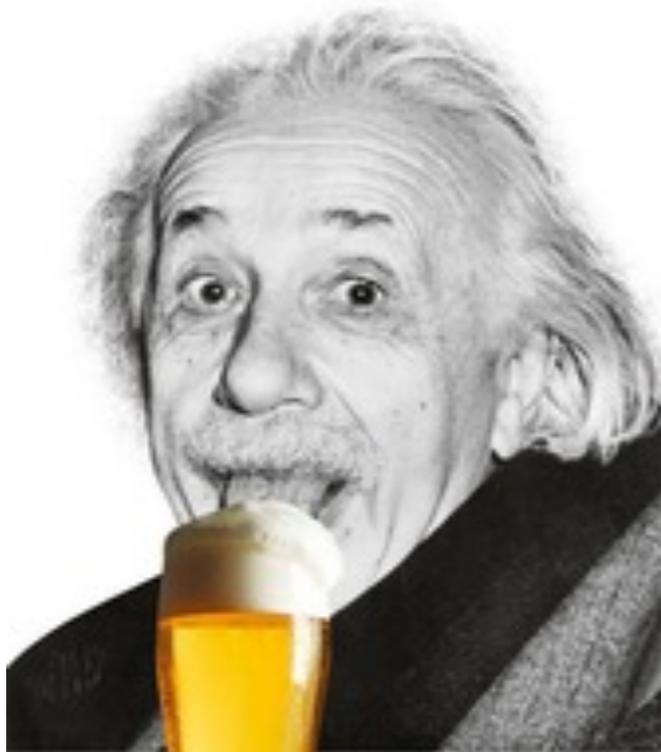


“SUPERSIMMETRIA”



Nella teoria la massa del bosone di Higgs riceve “correzioni quantistiche” che farebbero esplodere il suo valore... qualcosa deve cancellarle!!

# THE END



*“Look deep into nature,  
and then you will  
understand everything  
better” —A. Einstein*

