

# **Hands on Quantum Mechanics**

## **A Física de Partículas no século XXI**

**Gustavo Castelo-Branco**

**CFTP/ Técnico, Universidade de Lisboa**

**IST, 13 de Julho de 2016**

# **A Relatividade Restrita**

**As Equações de Maxwell: Mais inteligentes que o próprio Maxwell?**

**A invariancia de Galileo e a Invariancia de Lorentz**

**A contribuição de Einstein**

**A relatividade Geral: Teoria Classica da Gravitação**

**A Grande Revolução do Século XX :  
Descoberta da Mecânica Quântica  
Heisenberg, Bohr,  
Dirac**

**Leiam o livro do Dirac !!!!!**

**International Series of Monographs on Physics, Nº 27**

# **Por que razão o Einstein nunca aceitou a Mecânica Quântica?**

## **Einstein locality principle**

**“ But on one supposition we should, in my opinion,  
absolutely hold fast : the real factual situation on the  
system S2 is independent on what is done with system  
S1,which is separated from the former “**

**taken from Sakurai's book**

**Modern Quantum Mechanics**

**As discussões entre o Einstein e o Bohr**

**Teorias de variáveis escondidas**

**Como distingui-las da Mecânica Quantica?**

**Física ou Metafísica ?**

**A grande contribuição de John Bell :  
Desigualdades de Bell**

**Equação de Schrodinger : invariante para o grupo de Galileo, mas nao-invariante para o grupo de Lorentz**

**Equação de Dirac**

**Previsão da anti-materia**

**O Spin de electrão**

# **Teoria de Campo Relativista**

**O aparecimento de infinitos e a renormalização.**

**Feynman, Schwinger, Tomonaga**

**Grande sucesso da eletrodinâmica quântica ( QED )**

# A Fisica de Particulas desenvolveu-se entretanto

O decaimento do neutro:



Wolfgang Pauli, fisico muito conservador inventa o neutrino para salvar a conservação da energia e do momento linear

Proposta de Fermi : façamos uma analogia com o electromagnetismo

“ 4-point interaction “

# **Descoberta da violação da Paridade**

**A observação fundamental de Lee e Yang**

**A sugestão da estrutura V-A, por R. Marshak, and Sudarshan**

**As interações fracas não eram renormalizáveis!**

# **Tentativa de unificação das interações fracas e electromagneticas**

**A ideia de Yang-Mills : Teorias de gauge não abelianas**

**Generalizaçao do Electromagnetismo**

**Quebra expontanea de simetria e o mecanismo de Higgs**

**Construção do Modelo Standard, baseado no  
grupo  $SU(2) \times U(1)$**

**Prova de renormalizabilidade das teorias de gauge com  
quebra espontânea de simetria por 't Hooft e Veltman**

**As grandes descobertas do CERN**

**Descoberta das Correntes Neutras**

**Descoberta dos bosões W e Z**

**Inclusão das interações fortes:  
SU (3)**

**A Cromodinâmica Quântica**

# Encontro Ciéncia 2016

A participação portuguesa no CERN:

## Física Teórica de Partículas

Gustavo Castelo-Branco

CFTP/ Técnico, Universidade de Lisboa

Lisboa, 5 de Julho de 2016

# CERN



# CERN



**With LHC we are entering**

**A New Golden Age in Particle Physics**

**Frank Wilczek**

**As soon as Portugal joined CERN (1985),  
Portuguese Particle Physicists took full  
advantage of this great opportunity**

**At present, we have several particle physics theory groups:**

**Lisboa (CFTP/Técnico, Fac.Ciências U. Lisboa; ISEL)**

**U. Coimbra**

**U. Aveiro**

**U. Porto**

**U. Beira Interior**

**U. Minho**

**U. Algarve**

# Main Topics

**Higgs Physics- very hot topic, a paper of 2012 with more than 730 citations**

**Flavour Physics**

**CP Violation: long time tradition**

**Neutrino Physics and Leptogenesis :**

**Important contributions! We took advantage of our knowledge of Neutrino Physics and CP Violation**

**It is possible that we are all grand-grand-children of Heavy Neutrinos !!!**

# Together with :

Hadronic Physics

Heavy Ion Physics

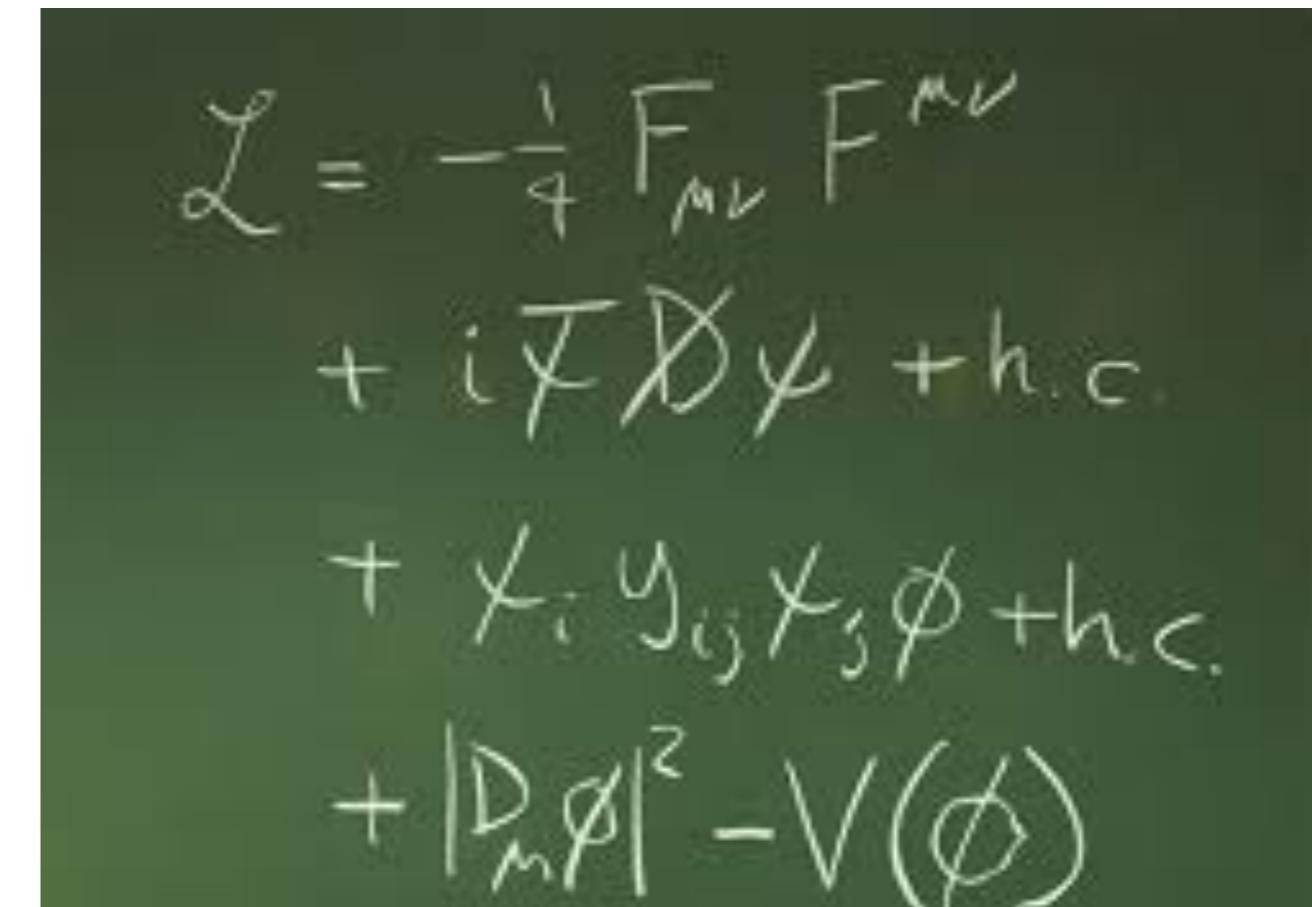
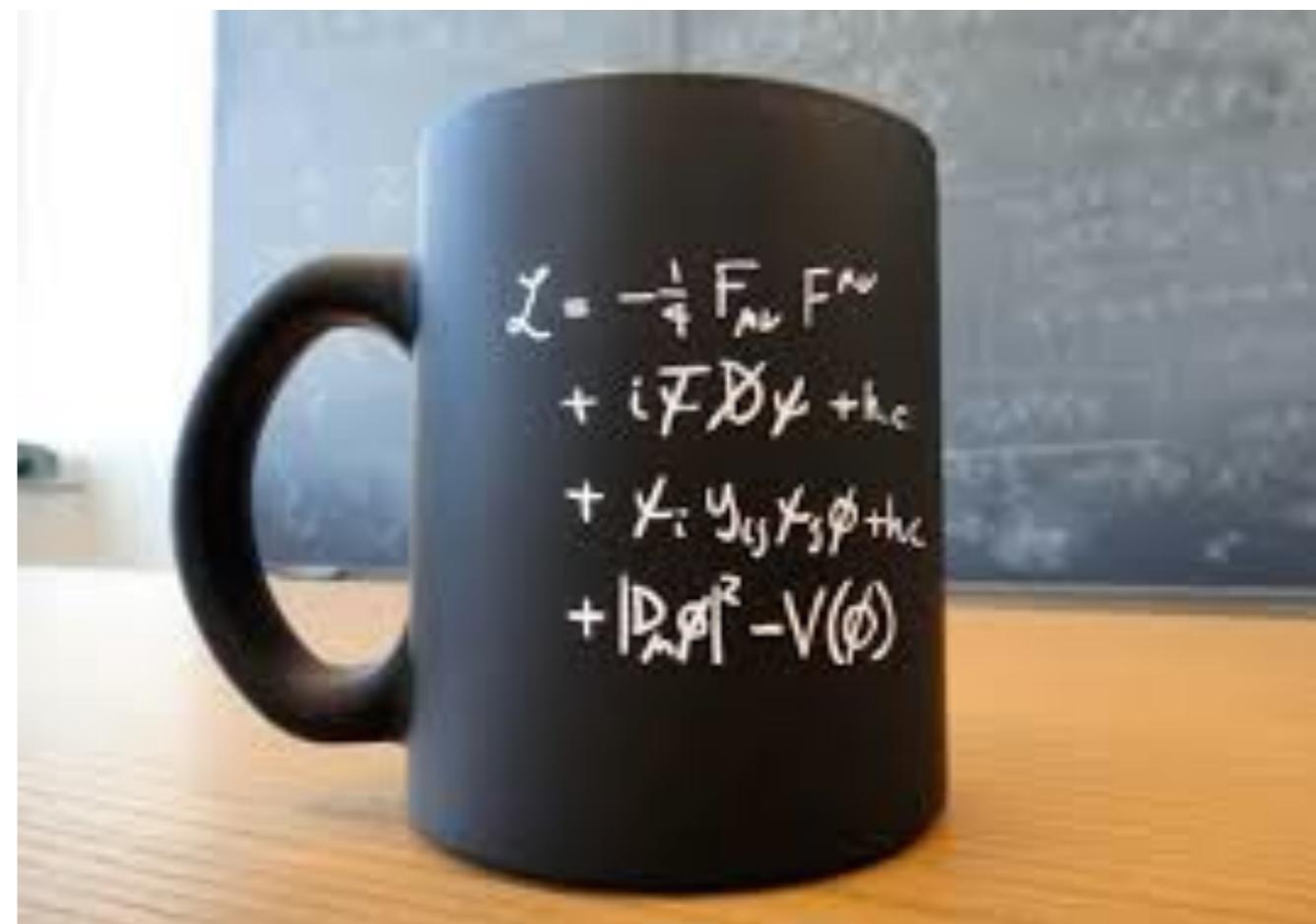
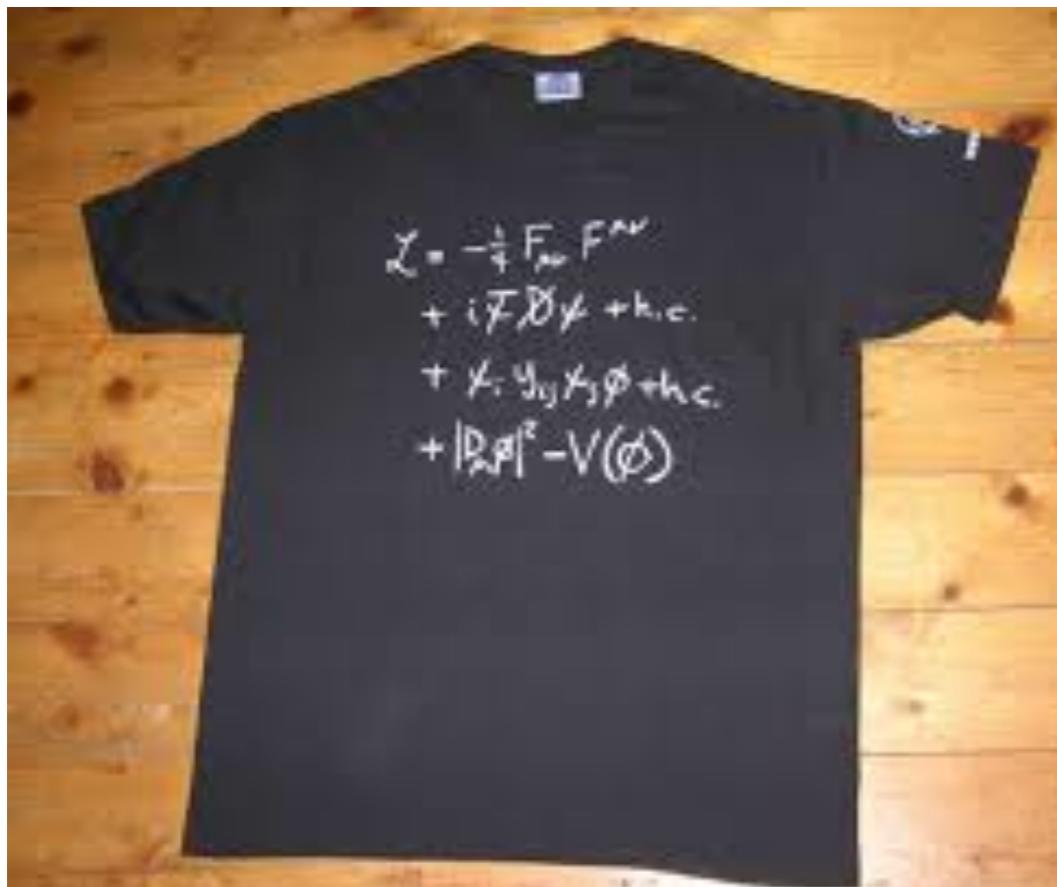
Etc, etc

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

$$+ i \bar{\psi} \not{D} \psi + h.c.$$

$$+ \bar{\psi}_i \gamma_{ij} \psi_j \phi + h.c.$$

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



# The great open questions :

**How to break the Flavour Code ?**

**How to understand the pattern of fermion masses  
and mixing ?**

**Are there more than one Higgs doublet ?**

**Are neutrinos Majorana or Dirac Particles?**

**Is there leptonic CP Violation, detectable in neutrino  
oscillations?**

**What is the origin of the Baryon Asymmetry  
of the Universe? Leptogenesis?**

**Is there Supersymmetry? If yes, where is it hidden?**

**Dark Matter ?**

**Dark Energy?**

**Quantum Gravity ?**

**All fundamental laws of Nature must obey the Principles of Quantum Mechanics.**

**Einstein´s General Relativity is a beautiful Classical Theory, like Maxwell´s Classical Theory, neither one is a fundamental theory.**

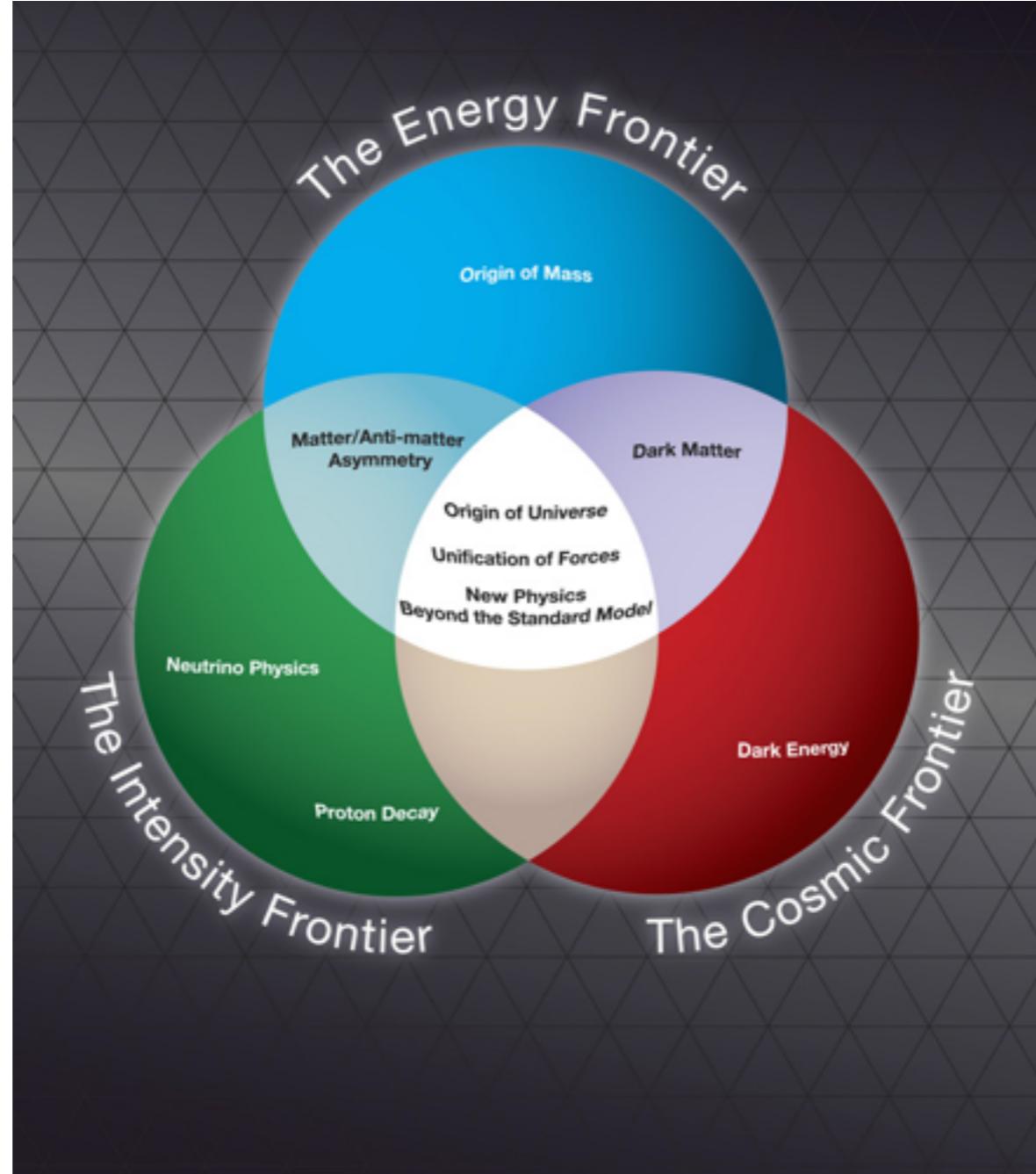
# **Conclusions**

**The purpose of Particle Physics is to discover the Fundamental laws of Nature.**

**We are at the beginning of this Great Scientific Adventure. As member of CERN Portugal can fully participate in this Project**

**All frontiers have to be explored !**

**&**



**It is not expensive and Fundamental Science has always paid back, with great profit to Society**

**What is really expensive is to save private banks!!**