

La Física de Partícules

Lluís Garrido

Institute of Cosmos Sciences
Universitat de Barcelona

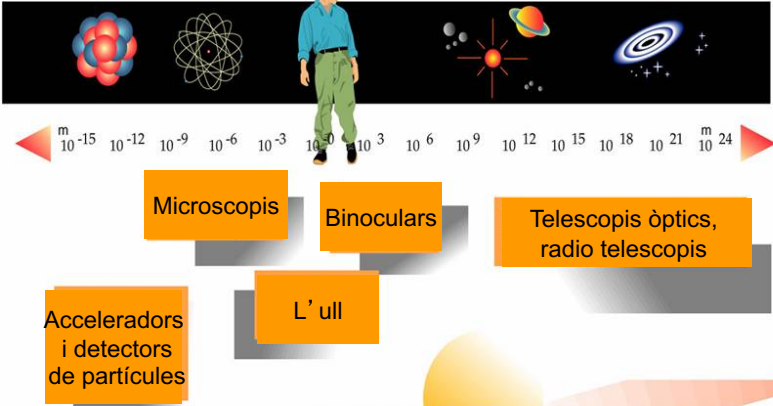
Masterclass "Hands on Particle Physics", 2019



L' univers conegut

Física de partícules mira la matèria a petites distàncies

Astrofísica mira la matèria a grans distàncies



10^{-15} 10^{-12} 10^{-9} 10^{-6} 10^{-3} 10^0 10^3 10^6 10^9 10^{12} 10^{15} 10^{18} 10^{21} 10^{24} m

Microscopis

Binoculars


Telescopis òptics,
radio telescopis

Acceleradors
i detectors
de partícules

L' ull

THE TWO FRONTIERS OF PHYSICS

1 Masterclass "Hands on Particle Physics" 2019, Lluís Garrido



PART I

Física de partícules mira la matèria a petites distàncies

Astrofísica mira la matèria a grans distàncies

THE TWO FRONTIERS OF PHYSICS

2 Masterclass "Hands on Particle Physics" 2019, Lluís Garrido

Institute of Cosmos Sciences

Física de partícules o Física experimental d'Altes Energies

OBJECTIU: estudiar les estructures fonamentals de la matèria.

COM?

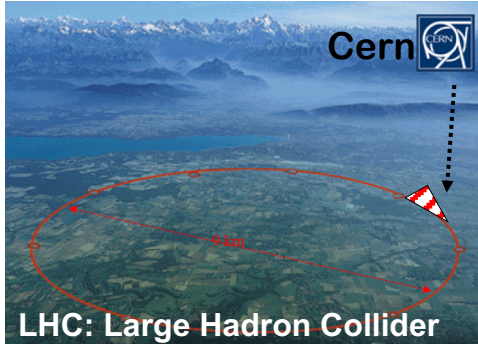
Raons per altes energies:

- poder produir "noves" partícules amb gran massa ($E=mc^2$)
- focalitzar l'atenció a petites escales ($\lambda=h/p$)

3 Masterclass "Hands on Particle Physics" 2019, Lluís Garrido

Institute of Cosmos Sciences

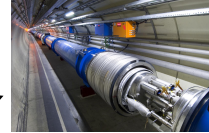
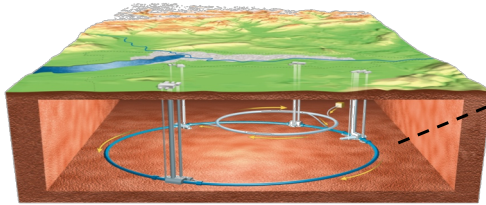
LHC: un accelerador de 27 km en el laboratori CERN



CERN: el laboratori de partícules més gran del mon

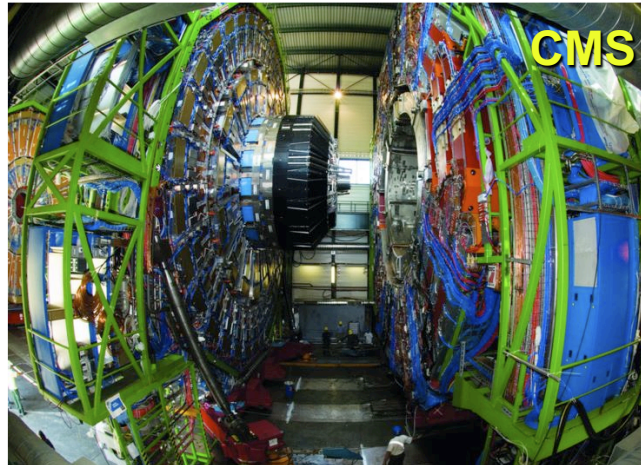
..... on la **web** va néixer !

- 2500 EMPLEATS
- 5500 VISITANTS (TOTAL 8000 REGISTRATS)
- 20 ESTATS MEBRES
- + US, CANADÀ, JAPÓ , RÚSSIA, XINA, ÍNDIA, ...



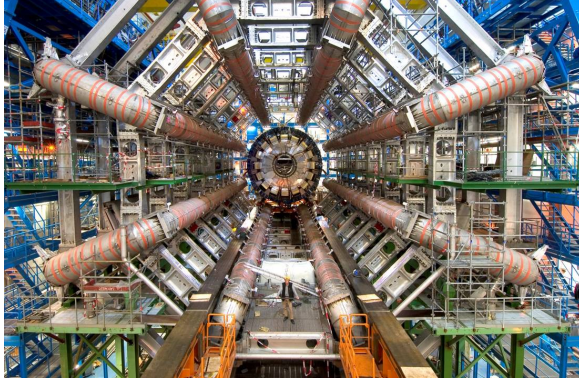
Dins d'aquest tub circulen protons en els dos sentits, a **99.9997828%** de la velocitat de la llum, i xoquen en el centre dels detectors.

Els detectors del LHC ...



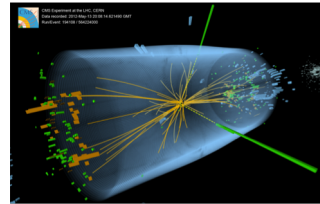
Detectors colossals per poder mesurar l'energia i direcció de totes les partícules produïdes en les col·lisions protó-protó

ATLAS



38 estats
182 institucions
5500 científics

El Higgs:



Tan ATLAS com CMS varen estar dissenyats per “caçar” el Higgs mitjançant l’observació dels productes de la seva desintegració.

6 Masterclass “Hands on Particle Physics” 2019, Lluís Garrido

ICCUB EXCELENCIA
INSTITUTE OF COSMOS SCIENCES BARCELONA DE MARZTU

ALICE



ALICE és un experiment creat per estudiar la “sopa” de partícules que es va formar immediatament després del Big Bang

7 Masterclass “Hands on Particle Physics” 2019, Lluís Garrido

ICCUB EXCELENCIA
INSTITUTE OF COSMOS SCIENCES BARCELONA DE MARZTU

LHCb



LHCb
 16 estats
 72 institucions
 812 científics
Alguns de la UB, on som?


LHCb és un experiment dissenyat per explorar el que va succeir després del Big Bang i que va permetre sobreviure a la matèria per construir l'Univers en el qual vivim avui en dia

8 Masterclass "Hands on Particle Physics" 2019, Lluís Garrido



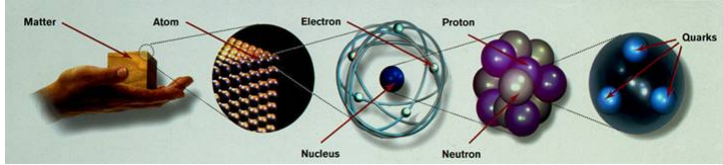

les partícules: els elements bàsics de la natura

Els elements ahir:



segle VI i V a.C.

Els elements avui:





Partícules considerades elementals al 1932:

- electró
- protó i neutró
- fotó (llum)

Avui creiem que els elements bàsics són les partícules anomenades **electrons i quarks**, i la partícula de llum anomenada **fotó** (i alguna cosa més).

9 Masterclass "Hands on Particle Physics" 2019, Lluís Garrido

La "taula periòdica" de les partícules de matèria (fermions)

quarks {

leptons {

u	c	t
d	s	b
e	μ	τ
ν_e	ν_μ	ν_τ

(hadrons)

Protó= uud

Neutró= udd

+ les seves antipartícules (= ANTIMATÈRIA)

NOTA. Falten els bosons: fotó (i similars) i el Higgs

10 Masterclass "Hands on Particle Physics" 2019, Lluís Garrido

La "taula periòdica" de les partícules d'intercanvi (bosons)

Les 4 interaccions fonamentals

Força forta:
lliga els nuclis

Força electromagnètica:
lliga els àtoms

Força feble:
desintegracions

Força gravitatòria:
lliga el sistema solar

Interacció entre partícules: el mecanisme d'intercanvi

(a) bosó

el camp de Higgs

Les partícules adquireixen massa interactuant amb el camp de Higgs

Taula de bosons

Força	bosó
Electromagnètica	fotó
Força	Gluó (x 8)
Feble	W+, W-, Z0
Gravitatòria	Gravitó (no descobert)
Camp de Higgs	Higgs

11 Masterclass "Hands on Particle Physics" 2019, Lluís Garrido

PART II

Física de partícules mira la matèria a petites distàncies

The diagram features a horizontal logarithmic scale of distances in meters (m), ranging from 10^{-15} to 10^{24} . A person is shown standing at the 10^0 mark. Various scientific instruments and phenomena are mapped to specific distance ranges:

- Acceleradors i detectors de partícules:** 10^{-15} to 10^{-6} m
- Microscopis:** 10^{-12} to 10^{-6} m
- L'ull:** 10^{-10} to 10^0 m
- Binoculars:** 10^0 to 10^4 m
- Telescopis òptics, radio telescopis:** 10^0 to 10^{24} m

A dashed blue circle on the right side of the scale is labeled "Astrofísica mira la matèria a grans distàncies".

THE TWO FRONTIERS OF PHYSICS

12 Masterclass "Hands on Particle Physics" 2019, Lluís Garrido

ICCUB EXCELENCIA MARCA DE MAJZTU
Institute of Cosmos Sciences

Observant grans distàncies

A photograph of a night sky showing the Milky Way galaxy, with an astronomical observatory in the foreground.

13 Masterclass "Hands on Particle Physics" 2019, Lluís Garrido

ICCUB EXCELENCIA MARCA DE MAJZTU
Institute of Cosmos Sciences

Expansió de l'Univers

14 Masterclass "Hands on Particle Physics" 2019, Lluís Garrido

Institute of Cosmos Sciences

HISTORY OF THE UNIVERSE

Big Bang

$t = 10^{-36} s$
 $E = 10^{16} GeV$

0,000000001 segons

2 min

30000 anys

13000000000 anys

TODAY

High-energy cosmic rays

Inflation

Accelerators

LHC protons

RHC & LHC heavy ions

Possible Dark Matter candidates

Nucleons form

Nuclei form

Size of visible universe

Cosmic Microwave Background radiation is visible

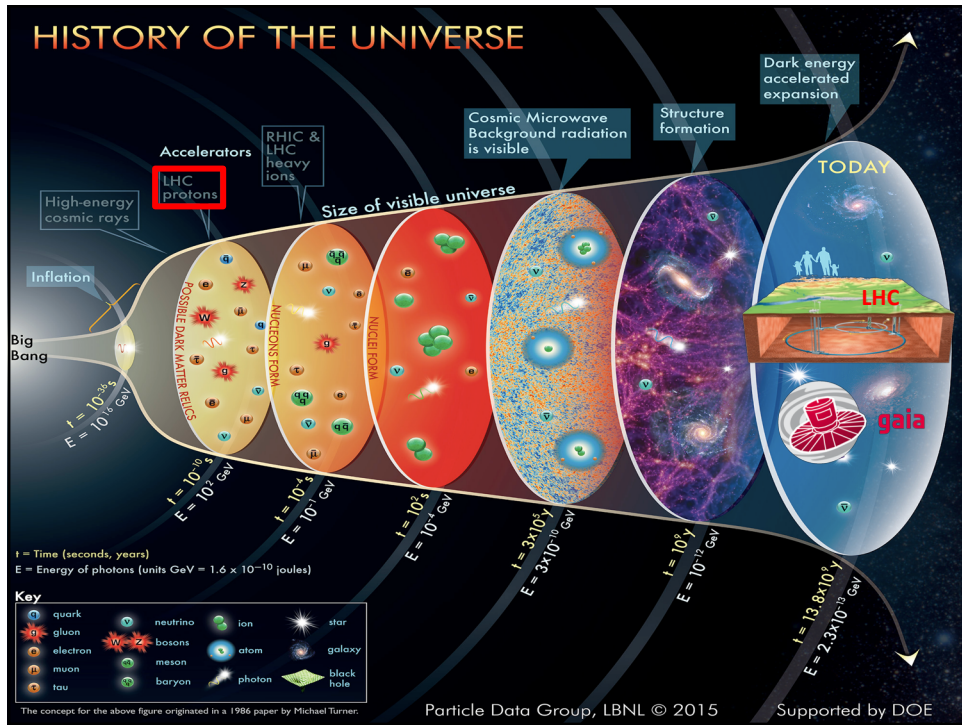
Structure formation

Dark energy accelerated expansion

quark	neutrino	ion	star
gluon	bosons	atom	galaxy
electron	meson	photon	black hole
muon	baryon		
tau			

The concept for the above figure originated in a 1986 paper by Michael Turner.

Particle Data Group, LBNL © 2015 Supported by DOE



Models teòrics del nostre Univers

Model estàndard de partícules

$$\mathcal{L} = -\frac{1}{4} F_{\mu\nu}^a F^{\mu\nu a} + \bar{\psi} \psi + \text{h.c.} + \psi_i \gamma_0 \psi_j \phi + \text{h.c.} + |D_\mu \phi|^2 - V(\phi)$$

Fermions			Bosons		
Quarks	u up	c charm	t top	γ photon	Z Z boson
Leptons	ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino	W W boson	g gluon
	e electron	μ muon	τ tau	H Higgs boson	

+ antimatèria

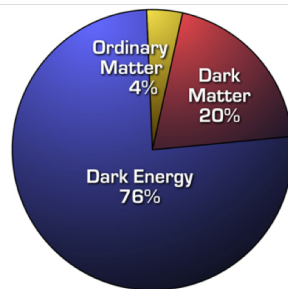
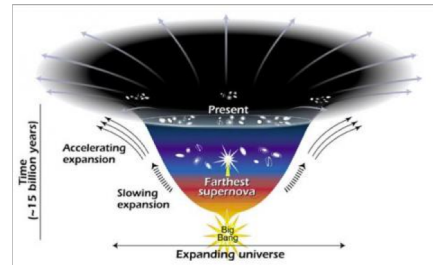
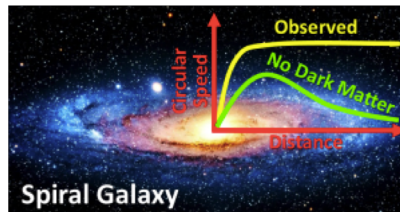
Model estàndard cosmològic

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} R = (8\pi G/c^4) T_{\mu\nu}$$

17 Masterclass "Hands on Particle Physics" 2019, Lluís Garrido

ICCUB
 Institute of Cosmos Sciences

Conflicte: matèria fosca i energia fosca



Desconeixem el 96% del nostre Univers

- Que és la matèria fosca? Una nova partícula?
- Que és l'energia fosca? Una nova interacció?

18 Masterclass "Hands on Particle Physics" 2019, Lluís Garrido

ICCUB
Institute of Cosmos Sciences

El ICCUB: Institut de Ciències del Cosmos

La **cosmologia** és l'estudi de l'estructura i la història de l'Univers.

ICCUB va ser creat el 2006 per impulsar la recerca en cosmologia. Es un dels pocs centres de tot el món dedicats a la cosmologia tan des del punt de vista de la **física de partícules** com de **l'astrofísica**.

La nostre investigació busca respostes a les següents preguntes fonamentals:

- **Quins són l'origen i el destí de l'Univers?**
- **Quins són els components bàsics de l'Univers?**
- **Per què l'Univers té el seu aspecte actual?**

La investigació en ICCUB té la intenció d'abordar-los des dels punts de vista **teòrics, experimentals i observacionals**.

19 Masterclass "Hands on Particle Physics" 2019, Lluís Garrido

ICCUB
Institute of Cosmos Sciences

Recerca diversa però amb un únic objectiu



Teoria

$$\begin{aligned}
 \mathcal{L}_{int} = & \sum_{f=e,d} e Q_f \bar{\Psi}_f \gamma^\mu \Psi_f A_\mu + \\
 & \sum_{f=e,d} g_2 \cos \theta_w \left[\bar{\Psi}_f \gamma^\mu (T_3 - Q_f \sin^2 \theta_w) Z_\mu + \bar{\Psi}_f \gamma^\mu \Psi_{Rf} (-Q_f \sin^2 \theta_w) Z_\mu \right] \\
 & + g_2 \sqrt{2} \left[(u_L \gamma^\mu d_L + \nu_L \gamma^\mu e_L) W_\mu^+ + (d_L \gamma^\mu u_L + e_L \gamma^\mu \nu_e) W_\mu^- \right] \\
 & + g_2 \sum_{q=u,d} \sum_{c=red,green,blue} (q_{red} + q_{green} + q_{blue}) \gamma^\mu \lambda^a G_\mu^a
 \end{aligned}$$

Left handed neutral weak int. Right handed neutral weak int. favor changing weak interactions favor changing weak interactions Quarks carry colorable color color over gluons SU(3) generators



20 Masterclass "Hands on Particle Physics" 2019, Lluís Garrido



Tot ho podeu trobar a la web del ICCUB

21 Masterclass "Hands on Particle Physics" 2019, Lluís Garrido

