

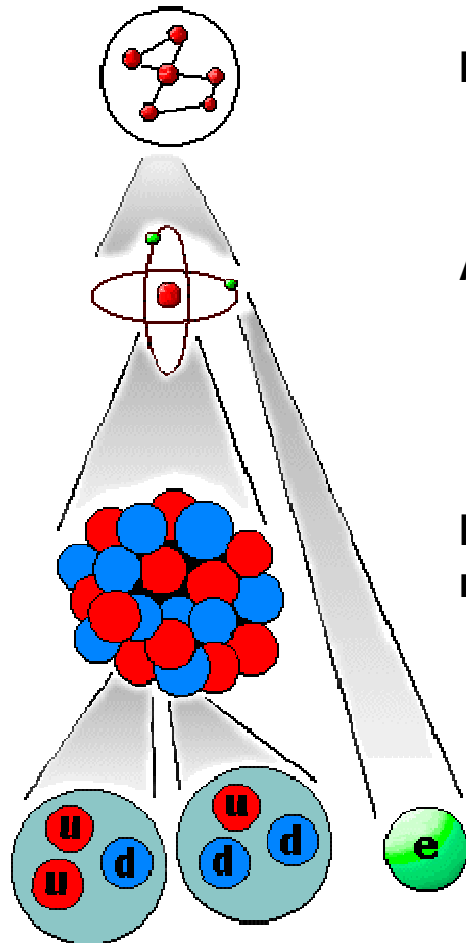


En Física de partícules, a diferència de la Física nuclear, els nucleons del nucli atòmic, els protons i els neutrons, ja no es consideren indivisibles. Estan formats per partícules més petites, els anomenats quarks. Ara la matèria està constituïda, doncs, pels electrons de l'embocall i els quarks, que es descriuen com els components fonamentals de la Natura.

En Física de partícules hi ha encara tota una sèrie d'altres partícules, així com les corresponents antipartícules. Totes aquestes partícules es classifiquen en dos grups: els quarks i els leptons. Juntament amb les partícules d'intercanvi de les 4 interaccions fonamentals constitueixen el **Model Estàndard**.

El Model Estàndard és una teoria que estableix que el nostre món material es va crear a partir dels components fonamentals, és a dir, els grups de quarks i leptons (on s'inclouen els electrons), i per les forces fonamentals, és a dir, les quatre interaccions, i que està format per aquests components i aquestes forces.

Estructura de la matèria (està formada per quarks i electrons, són les partícules estables que constitueixen la matèria).



Molècula

Àtoms

Nucli (protons i neutrons)

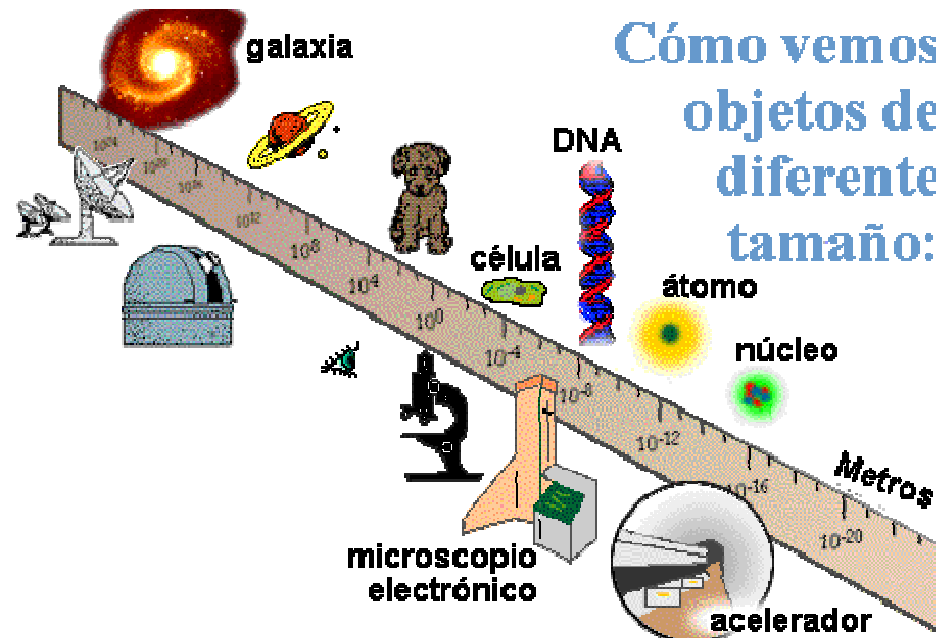
Partícules elementals:

- quarks: hi ha sis tipus:

up (u), down (d), strange (s), charmed (ch), bottom (b) i top (t)

- **Electrons**

Però a partir de mitjans del S.XX (1950), a partir de l'estudi de les **radiacions còsmiques** (són les “partícules provinents” del cosmos que arriben contínuament a la superfície de la Terra) i la **construcció dels primers acceleradors de partícules** s’han descobert un munt de noves partícules (algunes d’elles havien estat deduïdes matemàticament). Algunes d’elles tenen un temps de vida molt petit (de l’ordre de 10^{-23} s).



A trets generals es coneixen **12 partícules fonamentals** que es poden classificar en dos grups:

Hadrons

- **Quark** (hi ha sis)

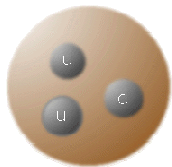
- up, down, strange, charm, bottom i top

No existeixen aïllats, sinó que es combinen per formar per a formar altres partícules:

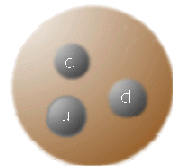
- **Mesons:** formats per una quark i un antiquark. *Exemple.* Pió, kaó, Eta ...
- **Barions:** Formats per un grup de tres quarks

Exemple. Protó i neutró

Proton



Neutron



Leptons

(partícula lleugera)

- Electrons
- muons
- tauó
- **neutrins:** neutrí de l'electró, neutrí del muó i neutrí del tauó.

A més de l'esquema anterior, hi ha un esquema anàleg pel món de les antipartícules

Matèria
(partícules)

- Quark (hi ha sis)
- Protó
- Neutró
- electró
- Neutrí
- tau

Antimatèria
(Antipartícules)

- antiquark
- antiprotó
- antineutró
- positró
- antineutrí
- antitau

Aquestes antipartícules són partícules de la mateixa mida i massa i l'única diferència és que tenen càrregues contràries.

AL NOSTRE VOLTANT NOMÉS HI HA MATÈRIA, PER SORT, JA QUE LES CÀRREGUES CONTRÀRIES S'ATRAUEN. Si la matèria i l'antimatèria es trobessin, s'aniquilarien, i tota la massa es convertiria en energia. Això significaria que no existiríem ni nosaltres ni l'Univers.

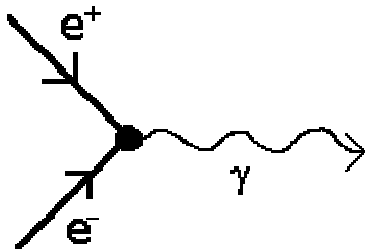
Exercici. Un electró i un positró xoquen, de tal forma que tota la seva massa es converteix en energia en forma de llum (en un fotó). Troba la freqüència del fotó emet en la col·lisió electró i positró.

Dades: $m_{\text{electró}} = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ i $h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$)

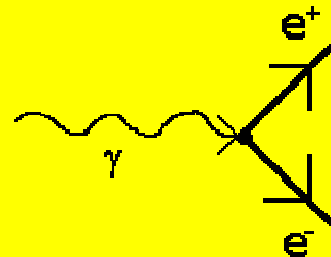
massa total = massa electró + massa del positró = $2 \cdot 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg} = 1,822 \cdot 10^{-30} \text{ kg}$

$E = m c^2 = 1,822 \cdot 10^{-30} \text{ kg} \cdot (3 \cdot 10^8 \text{ m/s})^2 = 1,64 \cdot 10^{-13} \text{ J}$

$E = h \cdot f$; $f = E/h = 1,64 \cdot 10^{-13} \text{ J} / 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Js} = 2,4 \cdot 10^{20} \text{ Hz}$ (correspondria a la freqüència dels raigs gamma)



A partir d'energia també es poden crear parells partícula i antipartícula.



Forces fonamentals

La física de partícules redueix totes les forces entre les partícules a 4 forces fonamentals.

Força gravitatòria

Força electromagnètica

Força forta

Força feble

En física clàssica, quan diem interacció entre partícules ens imaginem que una partícula fa una força sobre l'altra. En canvi en física de partícules, la interacció, és com un intercanvi de partícules.

Força de repulsió

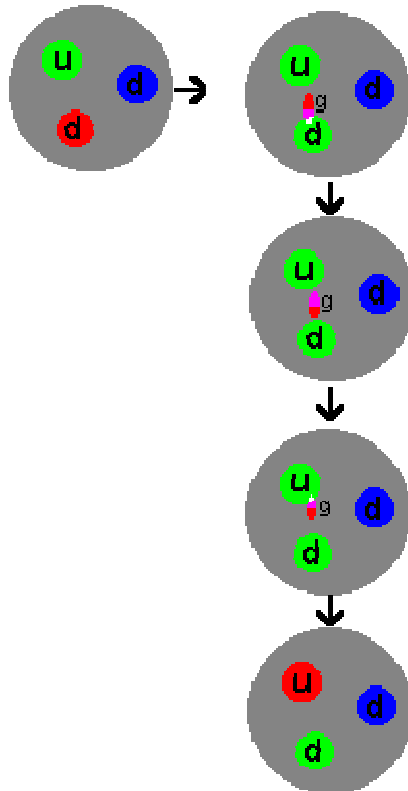
Força d'atracció



Força forta

És una interacció de curt abast i molt intensa, que manté units els quarks (per formar els neutrons i els protons) mitjançant l'intercanvi de **GLUONS**.

1 neutró



Un quark u(vermell) interacciona amb el quark u(verd) a través de l'intercanvi de **gluons**, per tal de tenir després un neutró format per: u(vermell), d(verd) i d(blau).

Força feble

És una interacció molt feble, que explica la desintegració beta. La interacció té lloc a través de les partícules d'intercanvi anomenades **BOSONS VECTORIALS**. És

Força electromagnètica

És una interacció de la que participen totes les partícules amb càrrega. La interacció electromagnètica té lloc a través d'una partícula d'intercanvi anomenada: **FOTÓ** o “partícula de llum” (el fotó és una partícula que no té massa ni càrrega).

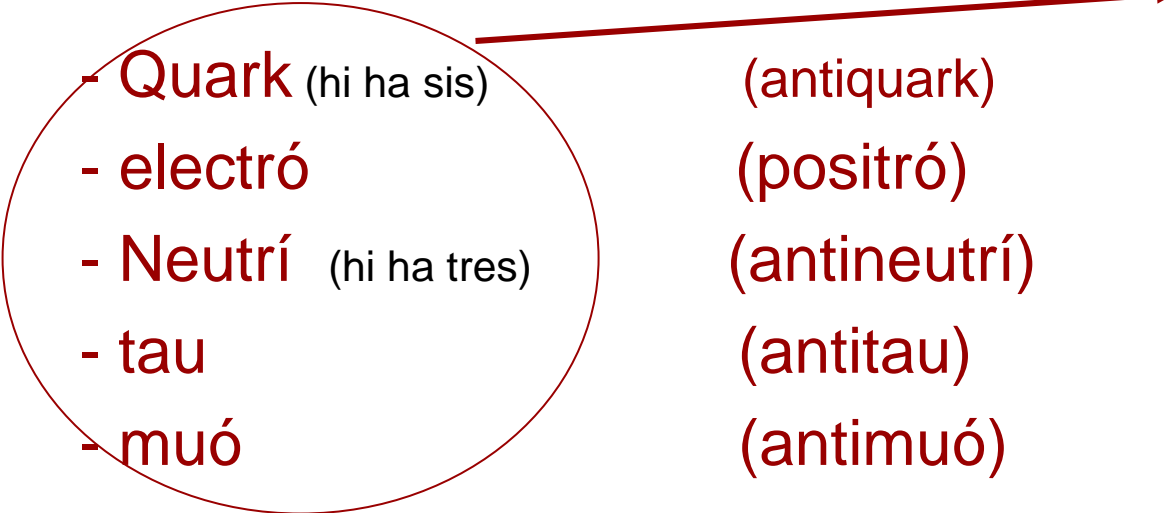
Força gravitatòria

És una interacció de la que participen totes les partícules amb massa. La interacció gravitatòria té lloc a través d'una partícula d'intercanvi anomenada: **GRAVITONS** (l'existència dels quals, però, no s'ha demostrat fins ara.)

Aquesta interacció no és significativa a nivell de partícules (i es pot deixar de banda), ja que les masses de les partícules són molt petites.

A més de les partícules fonamentals que ja coneixem:

12 partícules fonamentals

- 
- **Quark** (hi ha sis) (antiquark)
 - **electró** (positró)
 - **Neutrí** (hi ha tres) (antineutrí)
 - **tau** (antitau)
 - **muó** (antimuó)

Hem de sumar les partícules portadores de les forces fonamentals: GLUONS, BOSONS VECTORIALS, FOTONS i GRAVITONS (no observat fins ara)

El Model Estàndard és una teoria que estableix que el nostre món material es va crear a partir dels components fonamentals, és a dir, els grups de quarks i leptons (on s'inclouen els electrons), i per les forces fonamentals, és a dir, les quatre interaccions, i que està format per aquests components i aquestes forces.

El model estàndard explica que totes aquestes partícules fonamentals tenen massa

a l'existència d'una nova partícula, **el bosó de Higgs**.
Seria la partícula portadora de la massa.

- **Quark** (hi ha sis)

- **electró**

- **Neutrí** (hi ha tres)

- **tau**

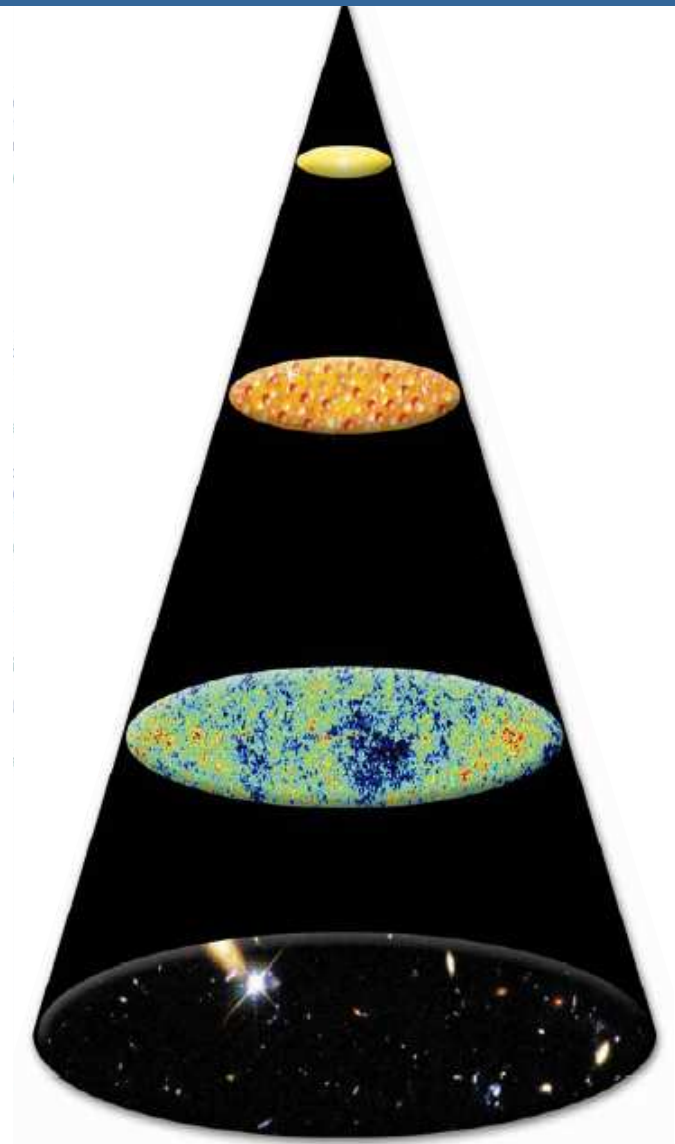
- **muó**

dels orígens de l'Univers

com allò més petit es relaciona amb allò
més gran

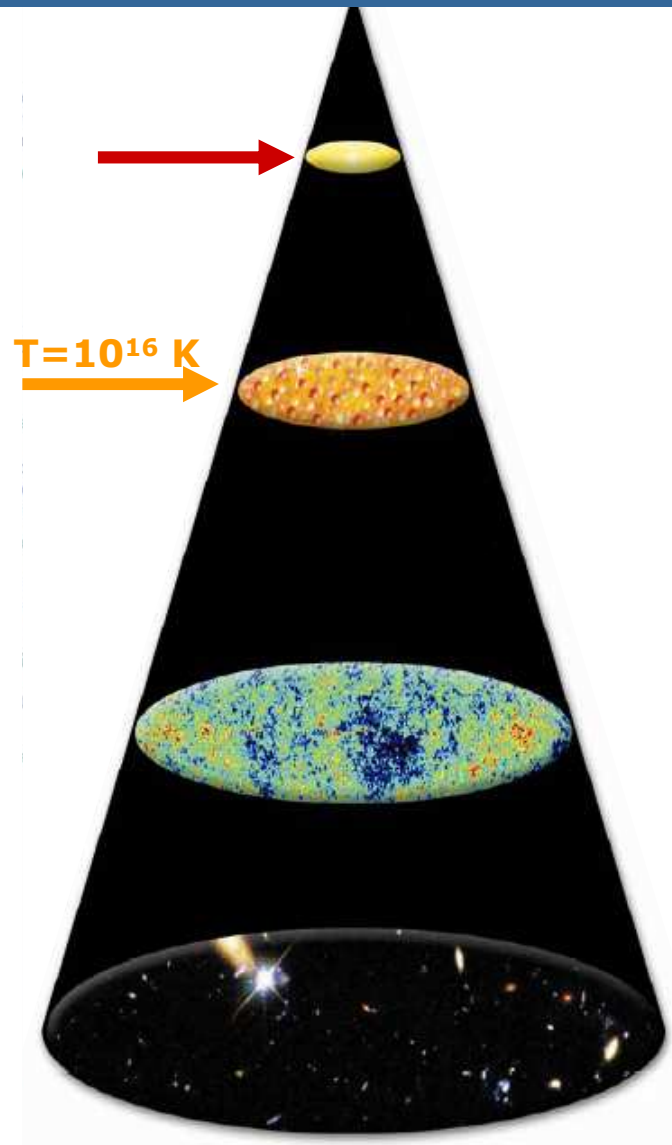
L'origen de l'Univers

- Gràcies a la **Teoria del Big Bang**, també coneguda com el model estàndard cosmològic, la física d'allò més petit –les partícules subatòmiques– es relaciona amb la física d'allò més gran –sistemes planetaris i galàxies–.
 - **L'univers que coneixem s'origina en un punt, de temperatura i densitat extremes, que s'expandeix amb el temps tot refredant-se.**
 - Durant aquesta expansió passem d'un univers creat només per energia i partícules elementals lliures a un univers de galàxies.



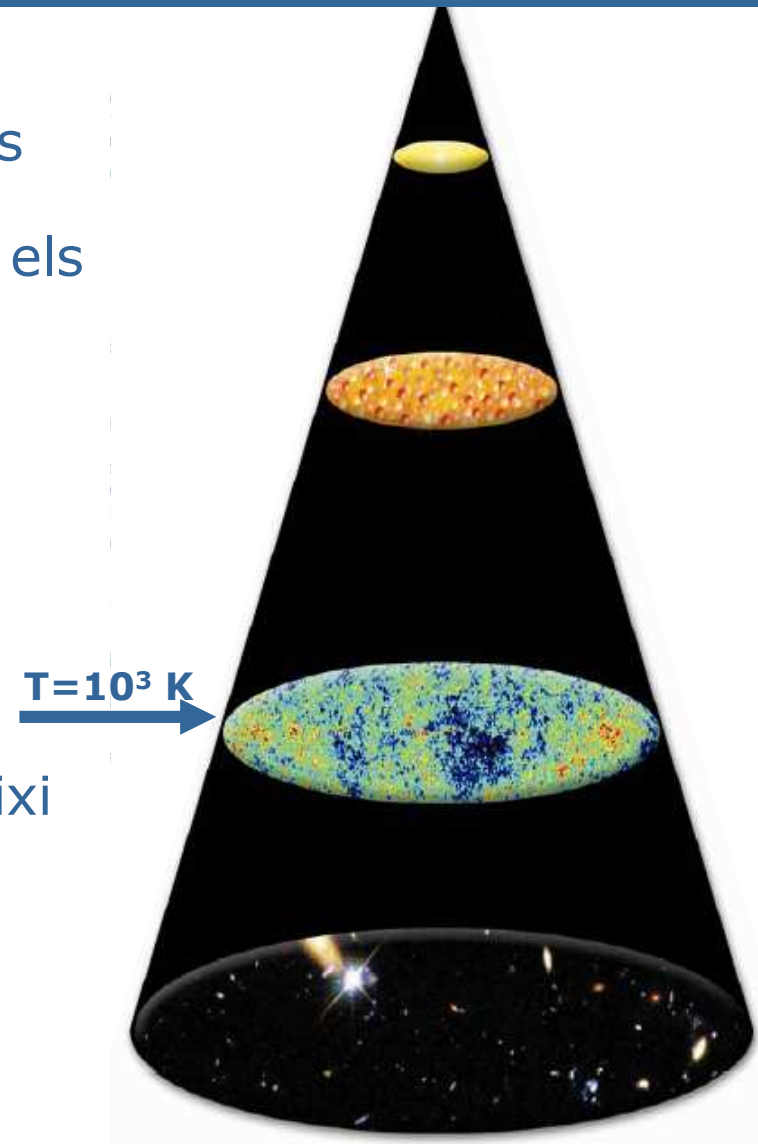
Una sopa calenta de partícules

- Durant els primers instants de l'univers **només hi ha energia i partícules elementals**.
 - Ens ho podem imaginar com una sopa, extremadament calenta i tan densa que **la llum no pot propagar-se**.
- Quan tan sols ha transcorregut 10^{-13} s, **la quantitat de matèria supera la d'antimatèria en una partícula per cada mil milions**.
 - Gràcies a aquesta petita asimetria nosaltres existim. Sinó tota la matèria s'hagués anihilat amb l'antimatèria.



L'univers transparent

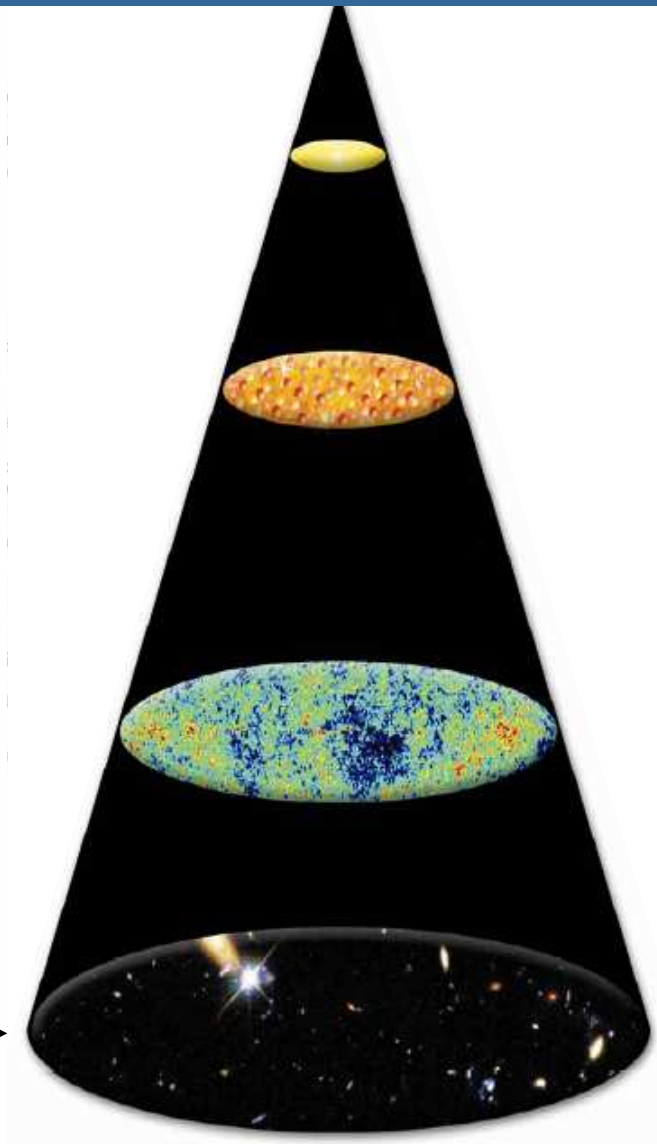
- Quan l'univers té una edat d'un microsegon el plasma de quarks es condensa i es formen les primeres partícules complexes, els hadrons.
 - Els protons i neutrons, que són hadrons, apareixen en aquest moment.
- Passat un minut ja tenim els primers nuclis, formats per la fusió de protons i neutrons.
- Han de passar 380.000 anys abans que la densitat disminueixi prou com per permetre que la llum escapi de la matèria.
 - Diem que l'univers es fa transparent.



L'univers actual

- Han passat uns **14.000 milions d'anys**, la temperatura és de 2,7K (-270°C)
- Més enllà del nostre sistema planetari, n'hi ha molts d'altres.
- Mes enllà de la nostra galàxia, n'hi moltes d'altres.
- Hem après que som insignificants
 - Vivim en una galàxia ni gran ni petita, a prop d'una estrella ni gran ni petita, en un planeta ni gran ni petit...

T=2,7 K



el CERN i l'LHC

experiments dissenyats per a explorar la
matèria i les seves interaccions

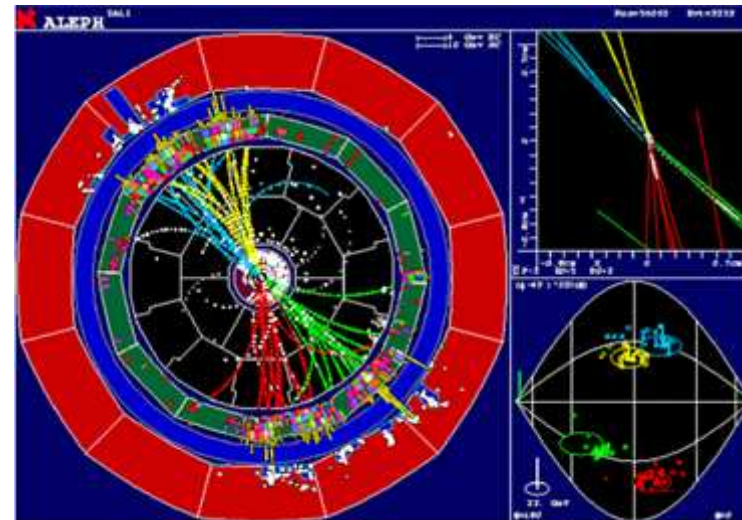
EI CERN

- El propòsit de Louis de Broglie després de la II Guerra Mundial, per a recuperar el prestigi científic europeu.
 - El **29 de setembre 1954** es crea oficialment, amb 12 estats membres fundadors, entre ells França i Itàlia.
 - Espanya hi entra el 1959; el 1969 en surt; i hi torna el 1983.
- En les seves instal·lacions s'han fet **experiments** per a posar a prova el Model Estàndard.
 - La seva seu és a Ginebra, Suïssa.
 - Hi treballen més de **2.500** persones.
 - És el laboratori de **desenes de milers** de científics d'arreu el món.



Els experiments de física de partícules

- Per tal de conèixer quines són i com interactuen les partícules fonamentals **provoquem la col·lisió** de feixos de partícules.
 - Tot coneixent les partícules i l'energia inicials, **detectem** les partícules resultants de la col·lisió i així **contrastem** les prediccions de la teoria amb allò que observem.
 - En augmentar l'energia de la col·lisió –mitjançant més velocitat i/o partícules més massives- podem estudiar partícules i interaccions diferents.
 - Al llarg de la història, un augment de l'energia de col·lisió ha permès **descobrir noves partícules**.
- A més a més, en augmentar l'energia de col·lisió **estem reproduint –a petita escala- les condicions que hi havia als primers instants de l'univers**.
 - Quant més gran és l'energia més a prop del Big Bang ens trobem.

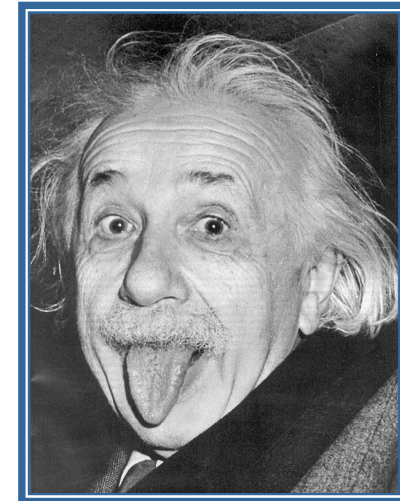


Recordeu a Einstein?

- La **velocitat de la llum es finita**,
 $c = 300.000 \text{ km/s}$
- **Cap partícula pot viatjar més ràpidament que la llum.**



Per això en els acceleradors les partícules s'acceleren a velocitats molt properes a la de la llum, però sempre inferiors.



- **$E = mc^2$**

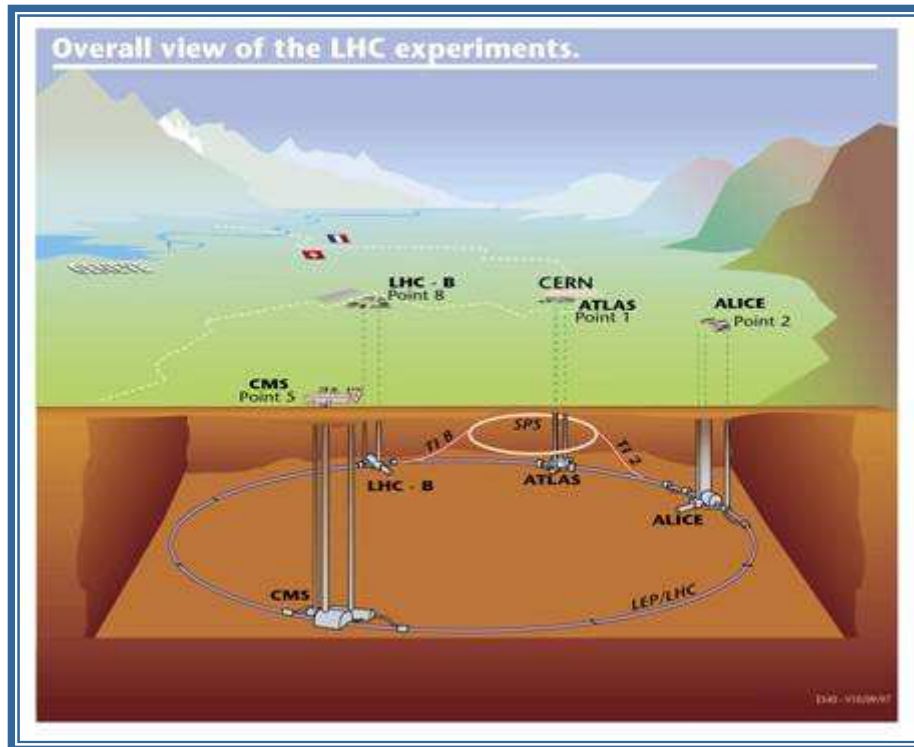


- L'equivalència entre l'energia i la massa explica com de la col·lisió de dues partícules **lleugeres** a molt alta energia es poden crear partícules amb **més massa**.
- També descriu l'energia alliberada en l'anihilació d'una partícula i la seva antipartícula.

● LHC (accelerador de partícules)

■ CERN (Centre Europeu per a la Recerca Nuclear)

LHC



L'HLC s'ha posat en marxa el setembre de 2009, té 27 km de longitud i està situat a 100 m sota terra.

- L'HLC, el gran col·lisionador d'hadrons, és un accelerador de protons i nuclis de plom.
- En el cas dels protons els feixos col·lisionen a quasi la velocitat de la llum
 - Cada feix té una energia de 7 TeV
 - Les col·lisions es produeixen més de **10.000 cops per segon** al centre de 3 dels seus detectors: ATLAS, CMS i LHCb.

LHC a la cerca de respostes

- El Model Estàndard de Partícules és la teoria física **comprovada experimentalment amb més precisió**.
 - Malgrat tot, encara **no dóna resposta a totes les nostres preguntes**.
 - **Com s'origina la massa de les partícules? Coneixem ja totes les partícules elementals?** N'hi ha moltes més?
- El Model Estàndard Cosmològic explica moltes de les observacions.
 - Però n'hi ha d'altres que encara no entenem.
 - **Per què hi hagué més matèria que antimatèria?** Què caracteritza el plasma de quarks i gluons que es creà en els primers instants de l'univers? Existeixen la matèria i l'energia fosques?
- Els experiments ALICE, ATLAS, CMS i LHCb **han estat dissenyats** per intentar respondre algunes d'aquestes preguntes.

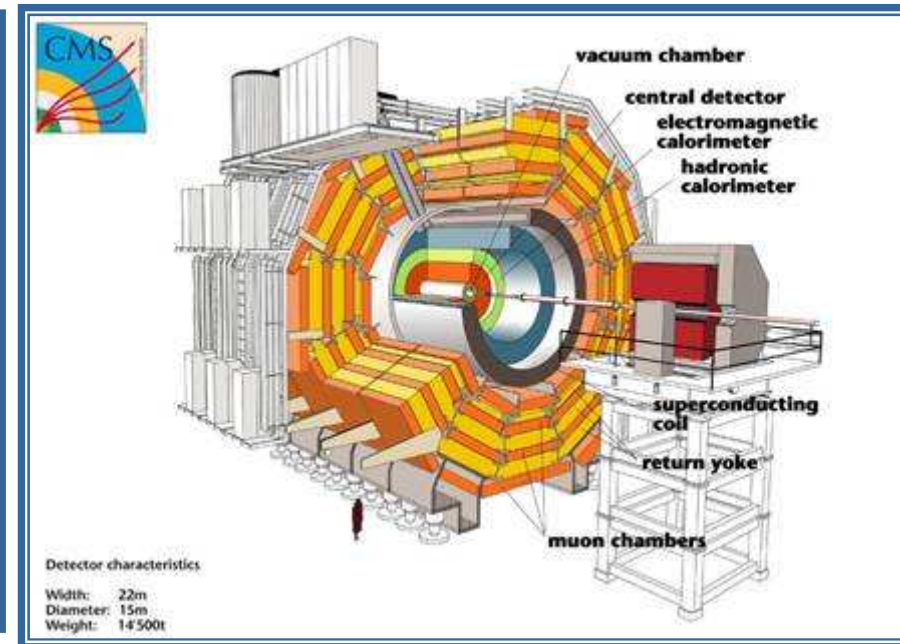
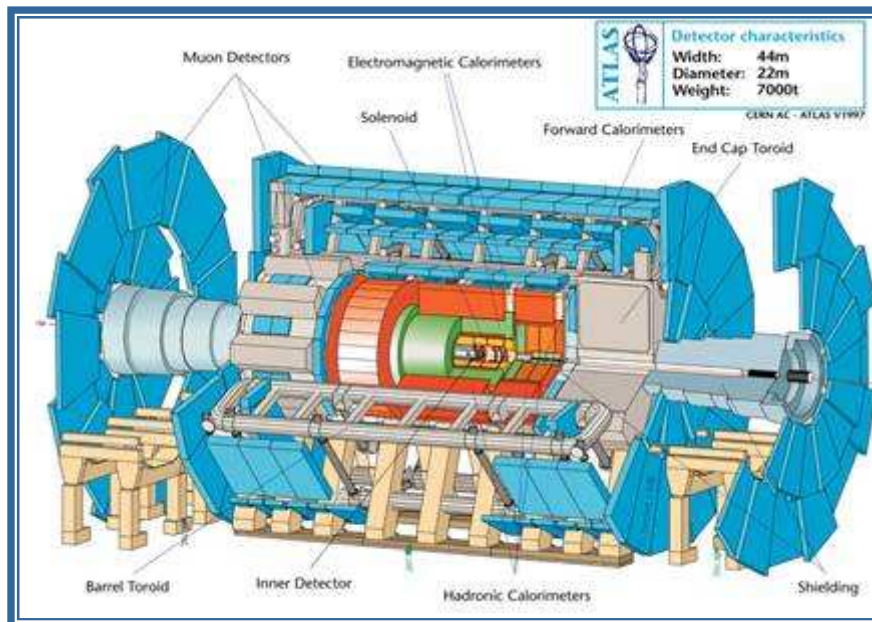
Els experiments de l'LHC: ALICE

- Estudiarà la **interacció forta** en condicions de densitat i energia extremes, sota les quals s'espera que es formi un **plasma de quarks i gluons** similar al que es creu que existí en els primers instants de l'univers.



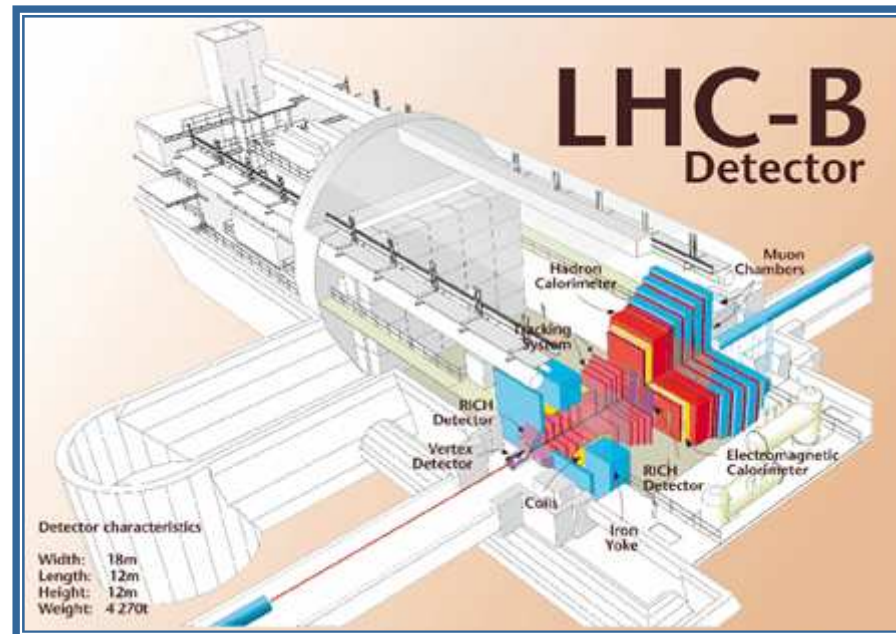
Els experiments de l'LHC: ATLAS i CMS

- Són els detectors més hermètics i versàtils. **El seu disseny està optimitzat per a buscar noves partícules. El Higgs**, la partícula que requereix el Model Estàndard per tal d'entendre la massa de les partícules, serà una de les més buscades.



Els experiments de l'LHC: LHCb

- Especialitzat en la detecció de partícules que contenen el quark b o la seva antipartícula. Mitjançant el seu estudi buscaran una explicació a per què tota l'antimatèria que hi havia en el moment del Big Bang (n'hi havia tanta com matèria!) ha desaparegut en l'Univers actual. **És a dir, una explicació a l'asimetria entre matèria i antimatèria.**



L'HHC: desvetllant els secrets de la matèria

- Així doncs, amb l'HHC i els seus experiments volem conèixer una mica més la matèria i les seves interaccions.
- **Quan fem experiments busquem respostes** als nostres dubtes. En el cas de l'HHC podem destacar:
 - El **bosó de Higgs**, peça clau de la nostra teoria –el Model Estàndard de la Física de Partícules- per entendre perquè la matèria té massa.
 - Les diferències en les interaccions de quarks i antiquarks, per entendre perquè poc després del Big Bang hi havia una mica **més de matèria que d'antimatèria**.
 - Les propietats de les interaccions entre quarks en condicions molt extremes, per entendre millor **el pas dels quarks lliures als protons i neutrons** que trobem a l'interior dels nuclis atòmics.
- Ara bé, quan posem a prova una teoria a través de l'experimentació **podem trobar evidències que confirmen la teoria, o podem topiar amb resultats inesperats**, que obrin camí a noves teories i nous experiments...
- Sigui com sigui, serà un pas més en el nostre afany d'entendre allò que ens envolta.