

LHC

desvetllant els secrets de la matèria



Aquesta obra està sotmesa a les condicions d'ús d'una llicència Creative Commons Atribució 2.5
(<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.5/deed.ca>)



Què és la matèria?



dels grecs al segle XX

els orígens de la física de partícules

Aquesta discussió ve de lluny...

- Els grecs creien que tot estava format de quatre elements:
 - El **Foc**: calent i sec
 - La **Terra**: freda i seca
 - L'**Aire**: calent i humit
 - L'**Aigua**: freda i humida



De fet, més tard n'afegiren un cinquè: l'**èter**, per diferenciar allò terrenal d'allò celestial

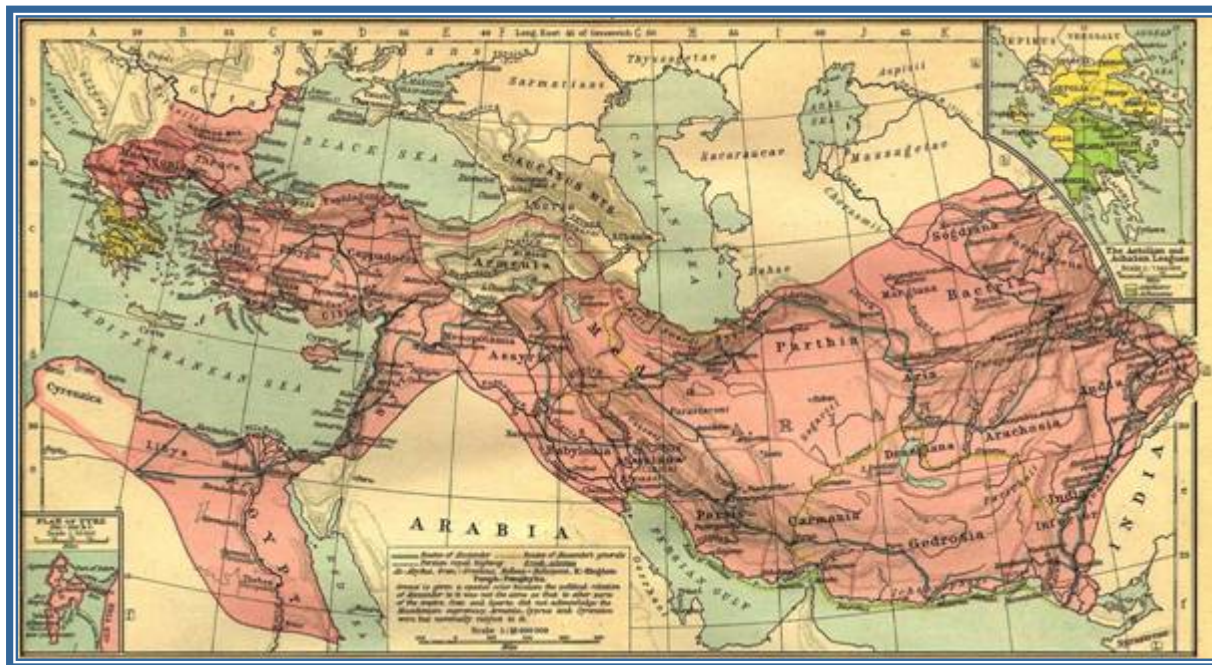
... i ja aleshores es parlava d'àtoms

- **Demòcrit** va introduir el concepte d'**àtom**, com a partícula indivisible i immutable.
 - Al seu entendre, els àtoms tenien tres propietats intrínseques: la mida, la forma i la massa. La resta, com el color o el gust, les interpretava com a interaccions entre els àtoms del nostre cos i els d'allò que observem.



L'Alquímia

- Les conquestes d'Alexandre el Gran difongueren les teories gregues molt lluny d'Europa.
 - Però aquestes es barrejaren amb els **coneixements** i també amb les **creences** populars.



L'Alquímia

- És així com sorgeix l'**Alquímia**, en part filosofia i en part barreja de disciplines com la química, la física o la medicina.

- Fonien materials per crear-ne de nous, especialment buscaven com crear or. (*i no ho van aconseguir*)



- Els àrabs, després de la caiguda de l'Imperi Romà, foren continuadors d'aquesta expansió...
 - L'Alquímia fou molt important fins el segle XVI i mantingué la seva influència fins ben entrat el segle XIX.

La Química (I)

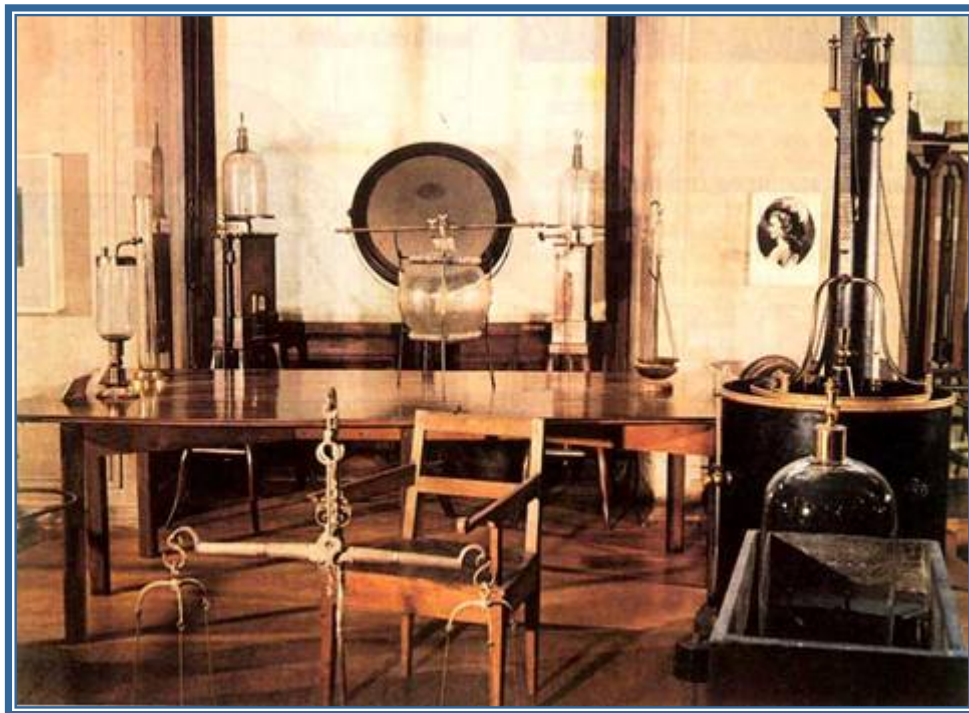
- L'irlandès **Robert Boyle**, al segle XVII, defineix l'**element químic** com aquell que no pot descompondre's en altres.
 - Amb ell podem dir que neix la química moderna: s'inicià un llarg període d'experimentació que portà a descobrir principis bàsics de les reaccions químiques; així com també nous elements.
 - Aviat es veu que alguns dels antics elements alquímics eren de fet molècules, que estan compostes d'elements químics.

	Hidrógeno	PA 1		Estroncio	PA 46
	Nitrógeno	5		Barita	68
	Carbono	5,4		Hierro	50
	Oxígeno	7		Cinc	56
	Fósforo	9		Cobre	56
	Azúfre	13		Plomo	90
	Magnesio	20		Plata	190
	Calcio	24		Oro	190
	Sosa	28		Platino	190
	Potasa	42		Mercurio	167

La Química (II)

- Dos segles més tard, el francès **Joseph Proust** i l'anglès **John Dalton** donen amb les seves teories una empenta a la nova ciència:
 - **Proust: La llei de les proporcions constants**
En un compost químic, els elements que el formen es combinen en proporcions de massa definides i característiques de cada compost. Per exemple, en el cas de l'aigua, en qualsevol mostra, la proporció sempre serà del 88,81% d'oxigen i del 11,19% d'hidrogen.
 - **Dalton: introdueix de nou el concepte d'àtom**
Cada element químic està format d'un tipus d'àtom; tots els àtoms d'un element són iguals entre sí i diferents dels que formen qualsevol altre element.

La Química (III)



Es així com la Química es transforma en l'estudi de les propietats dels àtoms i de com reaccionen entre ells

La Taula Periòdica dels elements

- Així, el 1860 es coneixen ja 60 elements químics.
 - El coneixement de cadascun i de les seves propietats es convertí en un tema clau.
- Una dècada més tard apareixen les **representacions gràfiques del elements**.
 - El 1969 **Mendeleiev** publica la seva primera taula periòdica, que dibuixava els diferents elements ordenats per pes, però també segons les seves propietats.

ОПЫТЪ СИСТЕМЫ ЭЛЕМЕНТОВЪ,

ОСНОВАННОЙ НА ИХЪ АТОМНОМЪ ВѢСѢ И ХИМИЧЕСКОМЪ СХОДСТВѢ.

			Ti=50	Zr=90	?=180.
			V=51	Nb=94	Ta=182.
			Cr=52	Mo=96	W=186.
			Mn=55	Rh=104, ¹	Pt=197, ¹
			Fe=56	Ru=104, ¹	Ir=198.
			Ni=Co=59	Pt=106, ¹	Os=199.
			Cu=63, ¹	Ag=108	Hg=200.
H=1					
	Be=9, ¹	Mg=24	Zn=65, ²	Cd=112	
	B=11	Al=27, ¹	?=68	Ur=116	Au=197 ²
	C=12	Si=28	?=70	Sn=118	
	N=14	P=31	As=75	Sb=122	Bi=210 ²
	O=16	S=32	Se=79, ¹	Te=128 ²	
	F=19	Cl=35, ¹	Br=80	I=127	
Li=7	Na=23	K=39	Rb=85, ¹	Cs=133	Tl=204.
		Ca=40	Sr=87, ¹	Ba=137	Pb=207.
			?=45	Ce=92	
		?Er=56	La=94		
		?Yt=60	Di=95		
		Zn=75, ¹	Th=118 ²		

La Taula Periòdica dels elements

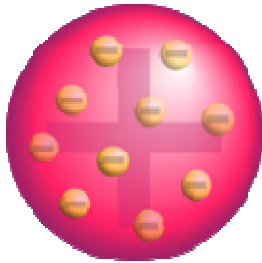
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
	IA	IIA	IIIB	IVB	VB	VIB	VII B	VIII B			IB	IIB	IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA	VIIIA
1	01 H Hidrogen																	02 He Hel
2	03 Li Liti	04 Be Beril·li											05 B Bor	06 C Carboni	07 N Nitrogen	08 O Oxigen	09 F Fluor	10 Ne Neó
3	11 Na Sodi	12 Mg Magnesi											13 Al Alumini	14 Si Silici	15 P Fòsfor	16 S Sofre	17 Cl Clor	18 Ar Argó
4	19 K Potassi	20 Ca Calci	21 Sc Escandi	22 Ti Titani	23 V Vanadi	24 Cr Crom	25 Mn Manganès	26 Fe Ferro	27 Co Cobalt	28 Ni Niquel	29 Cu Coure	30 Zn Zinc	31 Ga Gal·li	32 Ge Germani	33 As Arsènic	34 Se Seleni	35 Br Brom	36 Kr Criptó
5	37 Rb Rubidi	38 Sr Estronci	39 Y Íttri	40 Zr Zirconi	41 Nb Niobi	42 Mo Molibdè	43 Tc Tecneci	44 Ru Ruteni	45 Rh Rodi	46 Pd Pal·ladi	47 Ag Plata	48 Cd Cadmi	49 In Indi	50 Sn Estany	51 Sb Antimoni	52 Te Tel·luri	53 I Iode	54 Xe Xenó
6	55 Cs Cesi	56 Ba Bari	57 La Lantani*	72 Hf Hafni	73 Ta Tàntal	74 W Tungstè	75 Re Reni	76 Os Osmi	77 Ir Iridi	78 Pt Plati	79 Au Or	80 Hg Mercuri	81 Tl Tal·li	82 Pb Plom	83 Bi Bismut	84 Po Poloni	85 At Àstat	86 Rn Radó
7	87 Fr Franci	88 Ra Radi	89 Ac Actini**	104 Rf Rutherfordi	105 Db Dubni	106 Sg Seaborgi	107 Bh Bohri	108 Hs Hassi	109 Mt Meitneri	110 Uun Ununilli	111 Uuu Unununi	112 Uub Ununbi		114 Uuq Ununcuadi		116 Uuh Ununhexi		118 Uuo Ununacti
			*Lantànids	58 Ce Ceri	59 Pr Praseodimi	60 Nd Neodimi	61 Pm Prometi	62 Sm Samari	63 Eu Europi	64 Gd Gadolini	65 Tb Terbi	66 Dy Disprosi	67 Ho Holmi	68 Er Erbí	69 Tm Tuli	70 Yb Íterbi	71 Lu Luteci	
			**Actinids	90 To Tori	91 Pa Protoactini	92 U Urani	93 Np Neptuni	94 Pu Plutoni	95 Am Americi	96 Cm Curi	97 Bk Berkeli	98 Cf Californi	99 Es Einsteiní	100 Fm Fermi	101 Md Mendelevi	102 No Nobeli	103 Lw Laurenci	

L'estructura de l'àtom

- Fou a començaments dels segle XIX quan es comença a parlar d'un àtom format per un **nucli de càrrega positiva i un conjunt d'electrons**.
 - Primer, **Thomson** va parlar d'un nucli positiu sobre el que s'encastaven els electrons –com les panses damunt d'un pastís.
 - **Rutherford**, el seu deixeble, a través d'experiments va veure que de fet l'àtom estava quasi buit: un nucli petit i positiu i un conjunt d'electrons movent-se al seu voltant.
 - Més tard, es va veure que el **nucli** estava format per dos tipus de partícules: **els protons de càrrega positiva i els neutrons sense càrrega**.

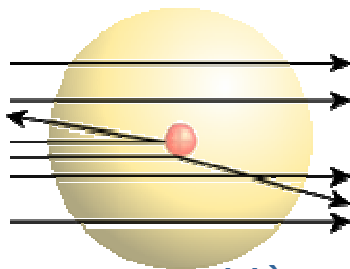
L'experiment de Rutherford

L'àtom segons Thomson

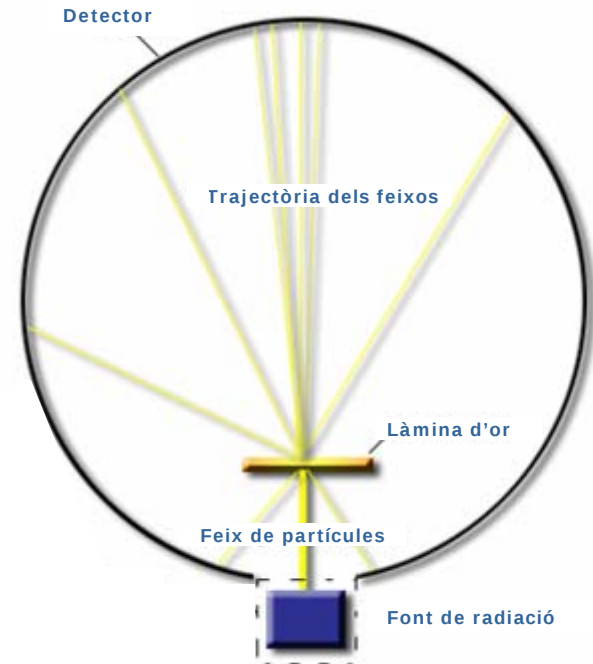


S'esperava que en bombardejar amb un feix de partícules una làmina molt fina d'or, aquestes es desviessin poc.

Els resultats, incompatibles amb el model de Thomson, **mostraven que l'àtom era quasi buit**, amb la càrrega positiva concentrada al centre.

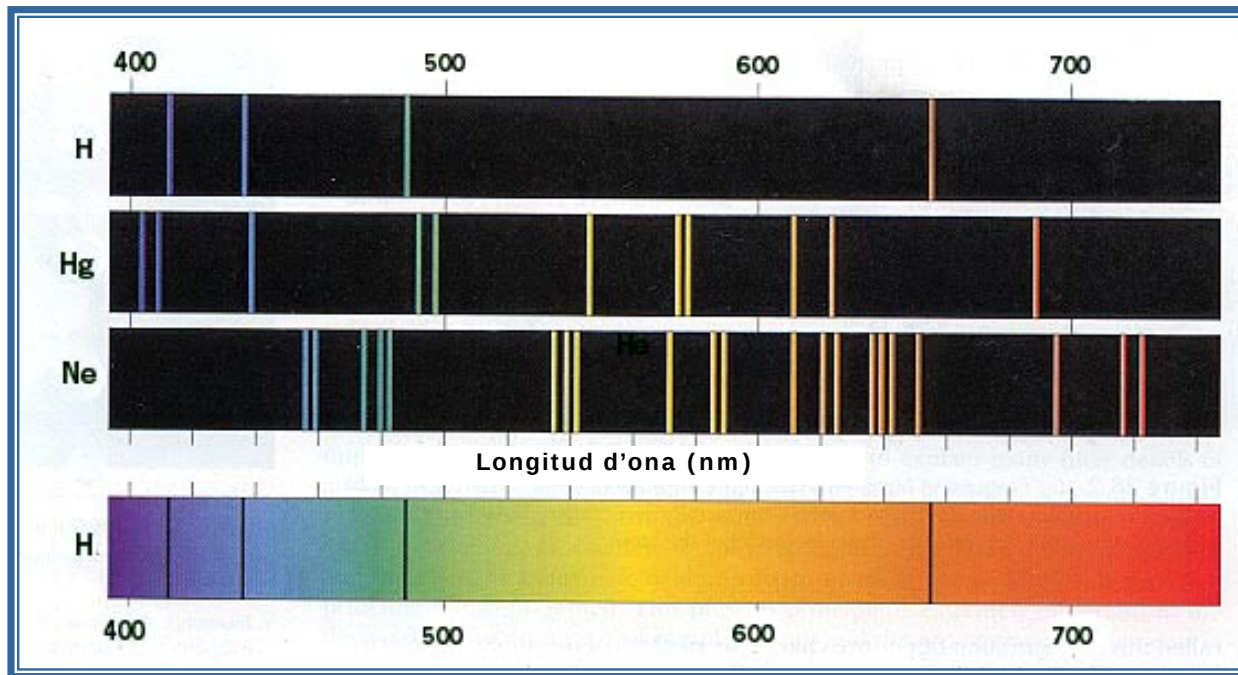


L'àtom segons Rutherford



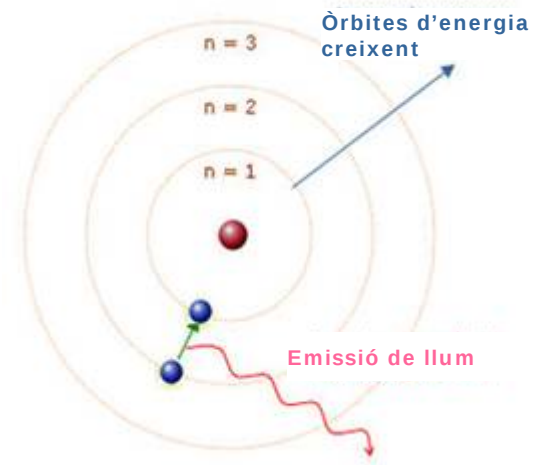
La quantització (I)

- El 1860, **Bunsen y Kirchhoff**, dos físics alemanys, descobriren que els elements químics en escalfar-se emetien un **espectre de llum** que els caracteritzava.



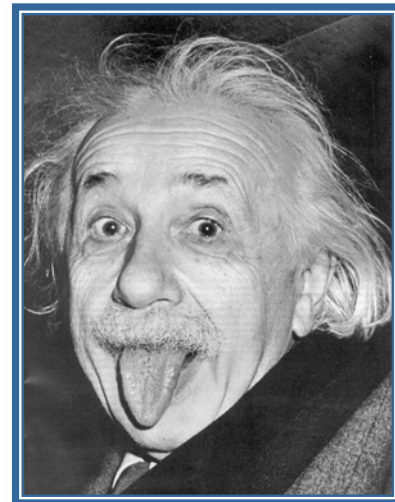
La quantització (II)

- El danès **Bohr**, el 1913, és el primer en explicar aquests espectres a partir de la **quantització de les òrbites electròniques** al voltant del nucli.
 - Les òrbites es classificaven mitjançant 3 números.
 - Era el pas d'una òrbita a l'altra, ja fos en escalfar-se o refredar-se, el que provocava l'absorció o emissió de llum.
- Una dècada més tard la **mecànica quàntica** es postulava com la teoria que explicava el comportament dels electrons i la resta de partícules que formaven els àtoms.
 - **Schrödinger** el 1925 inventa una equació que va descriure per primera vegada l'àtom d'hidrogen.



Einstein

- És en aquesta època, a començaments del segle XX, quan el físic alemany **Albert Einstein** va publicar un seguit de treballs que van revolucionar la ciència moderna.
 - A banda de les seves aportacions als inicis de la mecànica quàntica, va posar les bases de la termodinàmica moderna—la teoria que ens permet fer el pas del món microscòpic al món macroscòpic.
 - Però sens dubte, la seva gran aportació va ser la **teoria de la relativitat**.
 - La **velocitat de la llum es finita**,
 $c = 300.000 \text{ km/s}$
 - **Cap partícula pot viatjar més ràpidament que la llum**
 - $E=mc^2$



de forces i de partícules

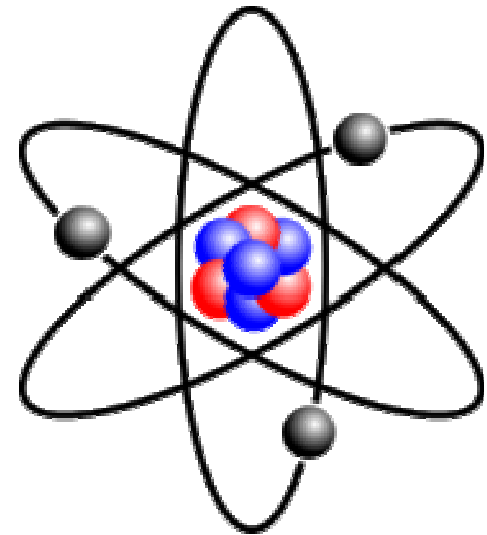
la nostra comprensió del que ens envolta

Les forces de la natura (I)

- Ara ens cal retrocedir una mica en el temps, fins als temps de **Newton**. El 1687 aquest científic anglès va formular la primera teoria universal de la gravitació.
 - **La gravetat**, que mou els astres del nostre univers i que també ens manté enganxats a la Terra, va ser la primera força estudiada.
- Durant els segles XVIII i XIX, amb l'estudi de la química i dels àtoms, es conegueren **l'electricitat i el magnetisme**.
 - Que més tard es demostraren com dues manifestacions d'una mateixa força. Fou el britànic **James Maxwell** qui el 1865 va formular per primera vegada les equacions de la **força electromagnètica**.
 - Aquesta força és la responsable de l'atracció entre càrregues oposades, així com també de l'acció dels imants.

Les forces de la natura (II)

- Ja durant el segle XX, es postula l'existència d'una tercera força, **la força forta**.
 - Rebé aquest nom perquè mantenia units els protons en el nucli, superant l'acció de la ja coneguda força electromagnètica, que els faria separar.
- També és durant aquest segle, i gràcies a l'estudi de la radioactivitat, que es descobreix la quarta força, **la força feble**.



Les quatre forces

Força	Intensitat	Abast (en metres)
Forta	1	10^{-15}
Electromagnètica	10^{-2}	Infinit
Feble	10^{-5}	10^{-18}
Gravetat	10^{-38}	Infinit

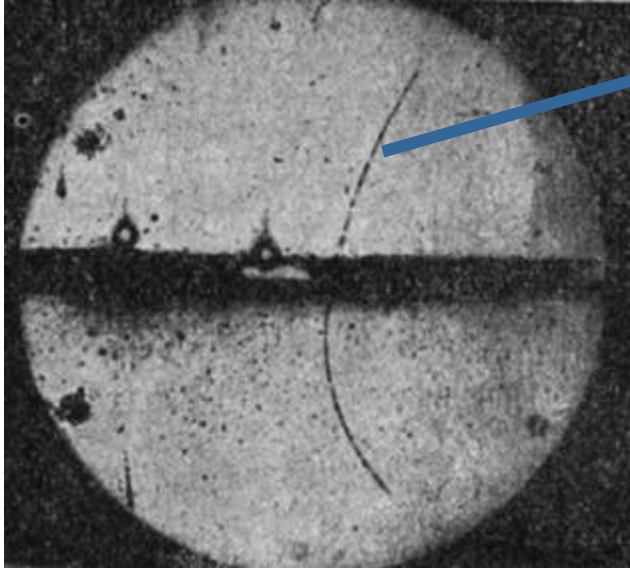
Les partícules elementals

- En el transcurs d'aquests segles es va descobrir que els constituents elementals de la matèria **no són els àtoms sinó unes partícules més petites**.
 - De fet, a mitjans del segle XX, es descobreix també que els **protons i neutrons no són partícules elementals**, sinó que estan compostos d'unes partícules més simples: **els quarks**
 - Al descobriment de la força feble cal afegir-li també el d'una nova partícula, **el neutrí**.
 - Pauli en va predir la seva existència l'any 1930 per a explicar certes desintegracions. El 1956 es demostrà experimentalment la seva existència.

L'antimatèria (I)

- El 1928 **Dirac** inventa una equació per descriure l'electró.
- La seva sorpresa fou que la mateixa equació descrivia també electrons amb energia negativa.
 - Això, ben aviat i en el context de la teoria quàntica, es reinterpreta com la descripció dels estats d'una partícula idèntica a l'electró però amb càrrega positiva (i energia també positiva).
- El 1932, **Carl D. Anderson** descobreix una partícula d'aquestes característiques observant rajos còsmics.
 - És la primera evidència d'antimatèria: el positró.

El descobriment del positró



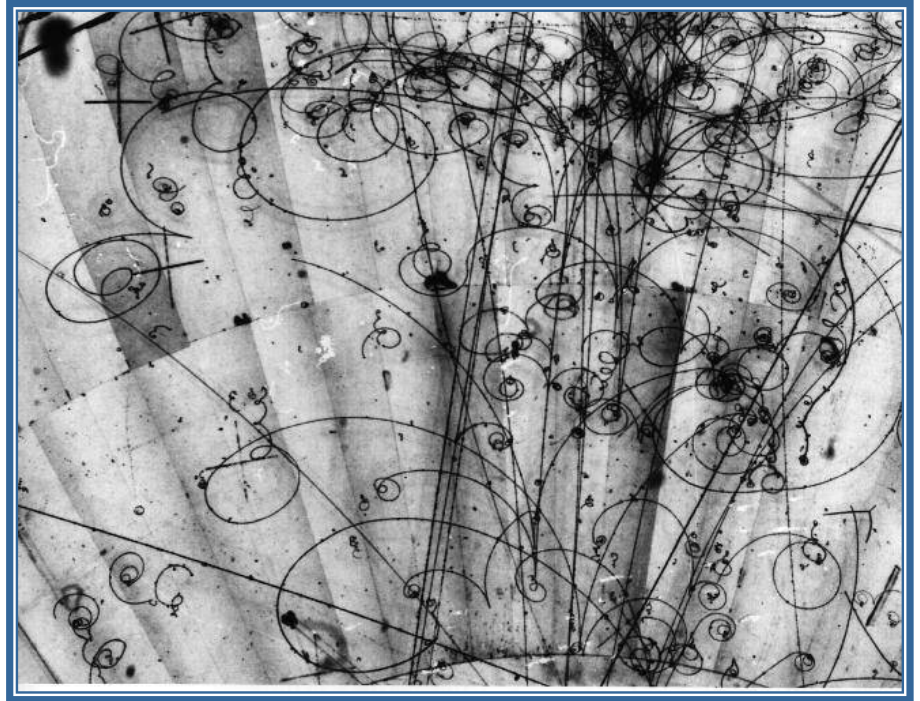
Traça d'una partícula de càrrega positiva i amb una massa igual a la de l'electró.
Imatge original del descobriment d'Anderson.



La direcció de la curvatura ens diu que és una partícula positiva.
El radi ens diu quina és la seva massa.

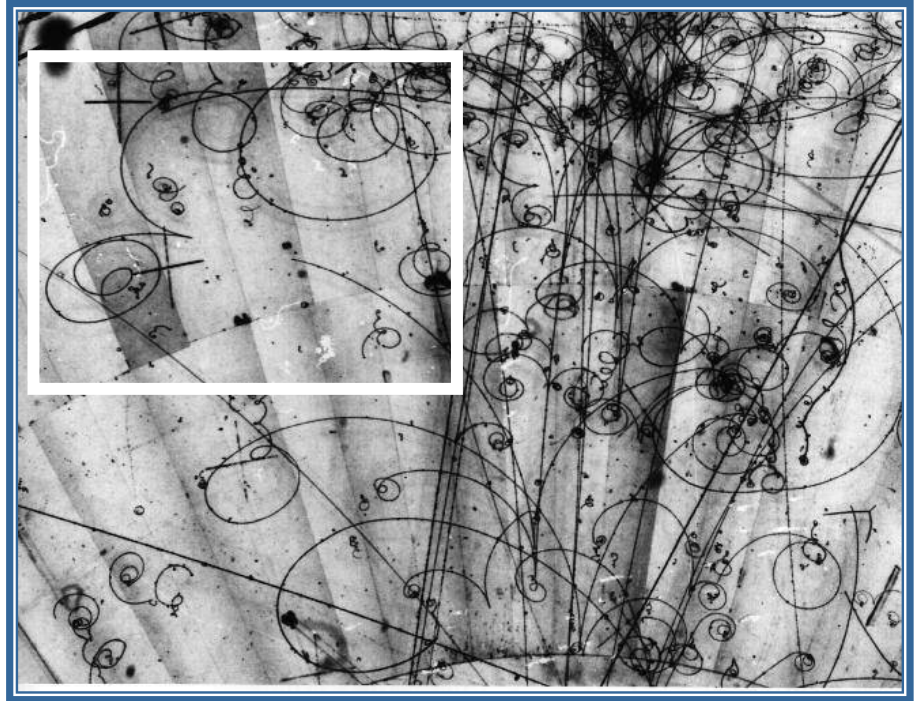
L'antimatèria (II)

- Avui en dia sabem que cada **partícula** té la seva **antipartícula**, amb la mateixa massa i càrregues oposades.
 - Per l'electró, el positró; per cada quark, el seu anti-quark,...
- Quan una partícula i la seva antipartícula col·lisionen s'**anihilen** alliberant energia.
 - A partir d'energia pura també es poden crear parells partícula-antipartícula.



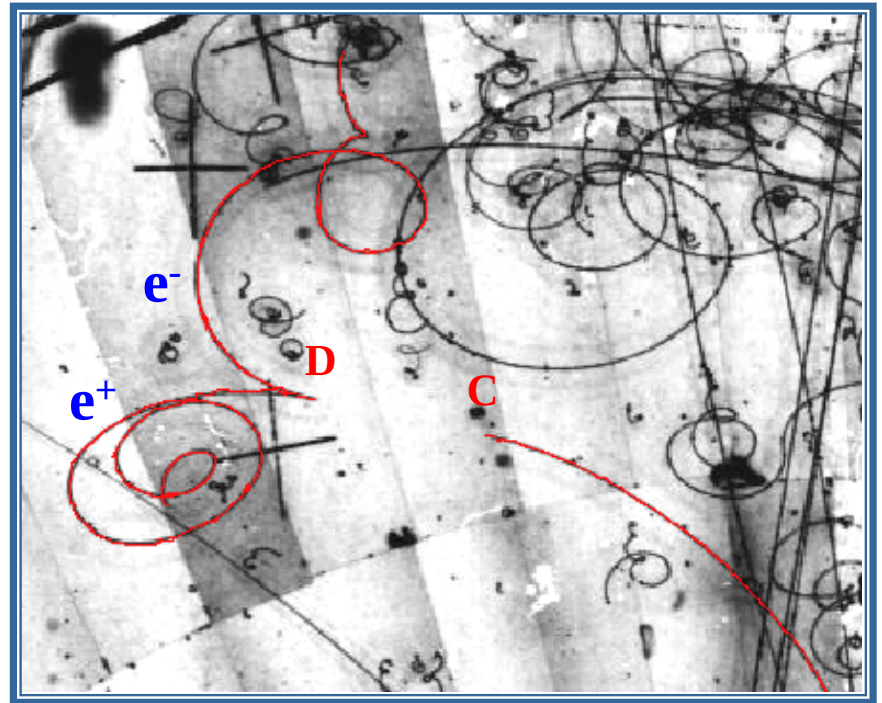
L'antimatèria (II)

- Avui en dia sabem que cada **partícula** té la seva **antipartícula**, amb la mateixa massa i càrregues oposades.
 - Per l'electró, el positró; per cada quark, el seu anti-quark,...
- Quan una partícula i la seva antipartícula col·lisionen s'**anihilen** alliberant energia.
 - A partir d'energia pura també es poden crear parells partícula-antipartícula.



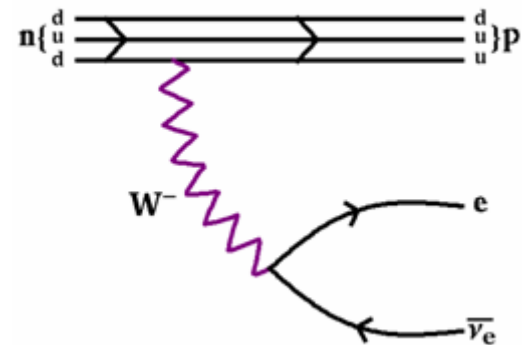
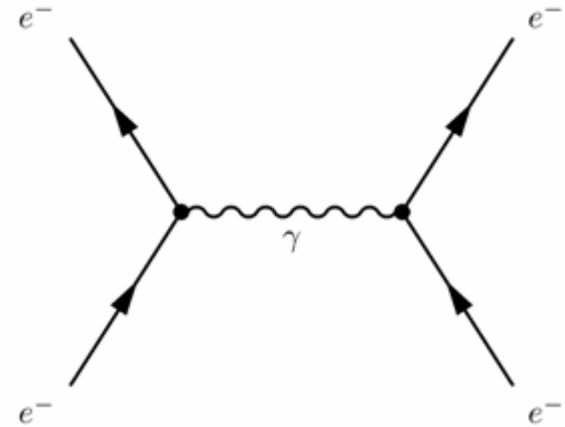
L'antimatèria (II)

- Avui en dia sabem que cada **partícula** té la seva **antipartícula**, amb la mateixa massa i càrregues oposades.
 - Per l'electró, el positró; per cada quark, el seu anti-quark,...
- Quan una partícula i la seva antipartícula col·lisionen s'**anihilen** alliberant energia.
 - A partir d'energia pura també es poden crear parells partícula-antipartícula.



El Model Estàndard

- Durant els anys 60 neix la teoria de la Física que ha estat comprovada amb més exactitud: **El Model Estàndard de la Física de Partícules**
 - Aquesta **unifica** tres de les forces conegudes fins al moment. Totes menys la gravetat.
 - Descriu les **forces** com a **interaccions entre les partícules**
 - Postula que aquesta interacció es produeix **mitjançant l'intercanvi d'un nou tipus de partícula**: els bosons



Les quatre forces en el Model Estàndard

Força	Partícula portadora
Forta	Gluons (g) *
Electromagnètica	Fotó (γ)
Feble	W,Z
Gravetat	Gravitó???

* de gluons n'hi ha de 8 tipus

Les partícules en el Model Estàndard

- Les partícules de matèria, els leptons i els quarks, es classifiquen en **tres famílies**.

	Família I	Família II	Família III
Leptons	Electró (e)	Muó (μ)	Tau (τ)
	Neutrí electrònic (ν_e)	Neutrí muònic (ν_μ)	Neutrí tauònic (ν_τ)
Quarks	Up (u)	Charm (c)	Bottom (b)
	Down (d)	Strange (s)	Top (t)

* en gris, les partícules que formen la matèria estable (la que ens envolta). Els protons i neutrons són agrupacions de 3 quarks: 2 quarks Up i un Down fan un protó; 2 quarks Down i un Up fan un neutró.

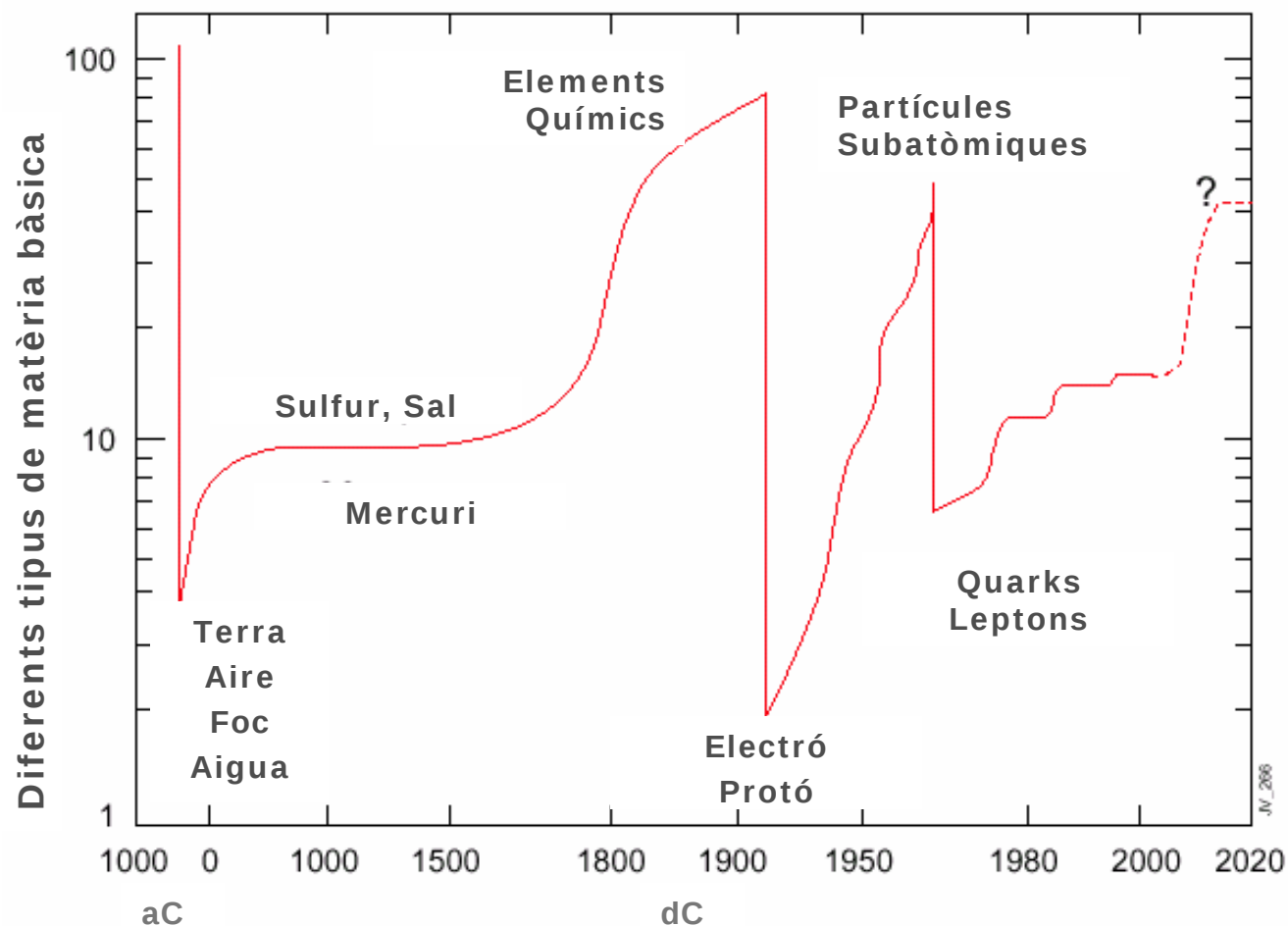
- Per cadascuna d'aquestes partícules existeix la seva antipartícula.
- Aquest Model explica el fet que aquestes partícules tenen massa gràcies a l'existència d'una nova partícula, el bosó de Higgs.

N'hi ha massa de partícules?

Complexitat
(físics insatisfets)



Simplicitat
(físics contents)

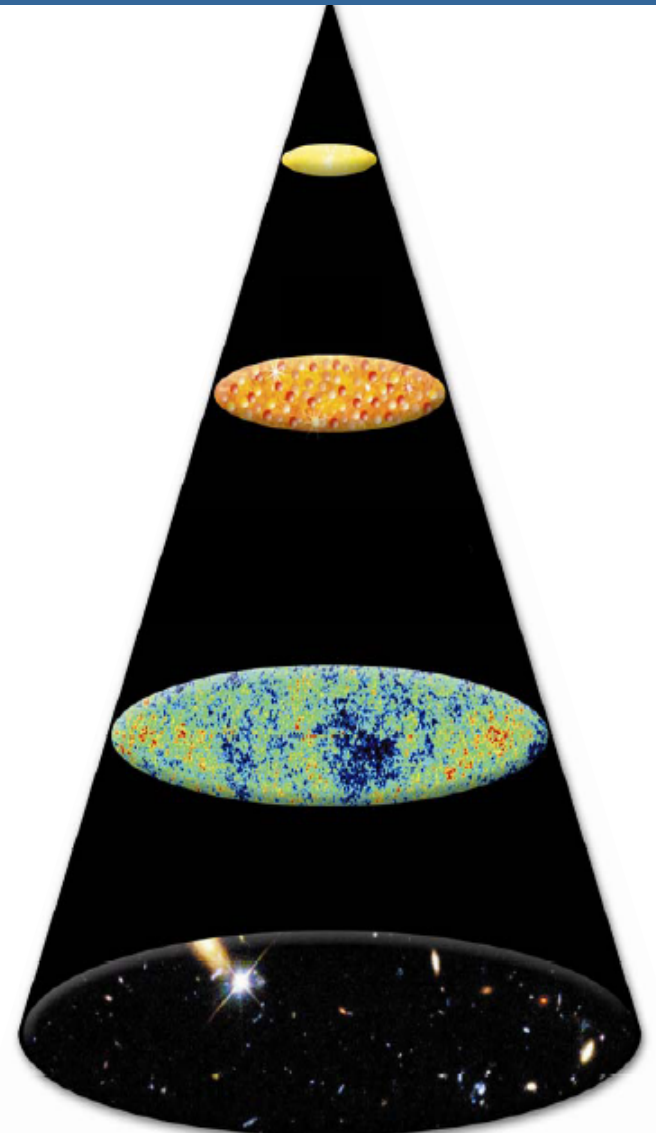


dels orígens de l'Univers

com allò més petit es relaciona amb allò
més gran

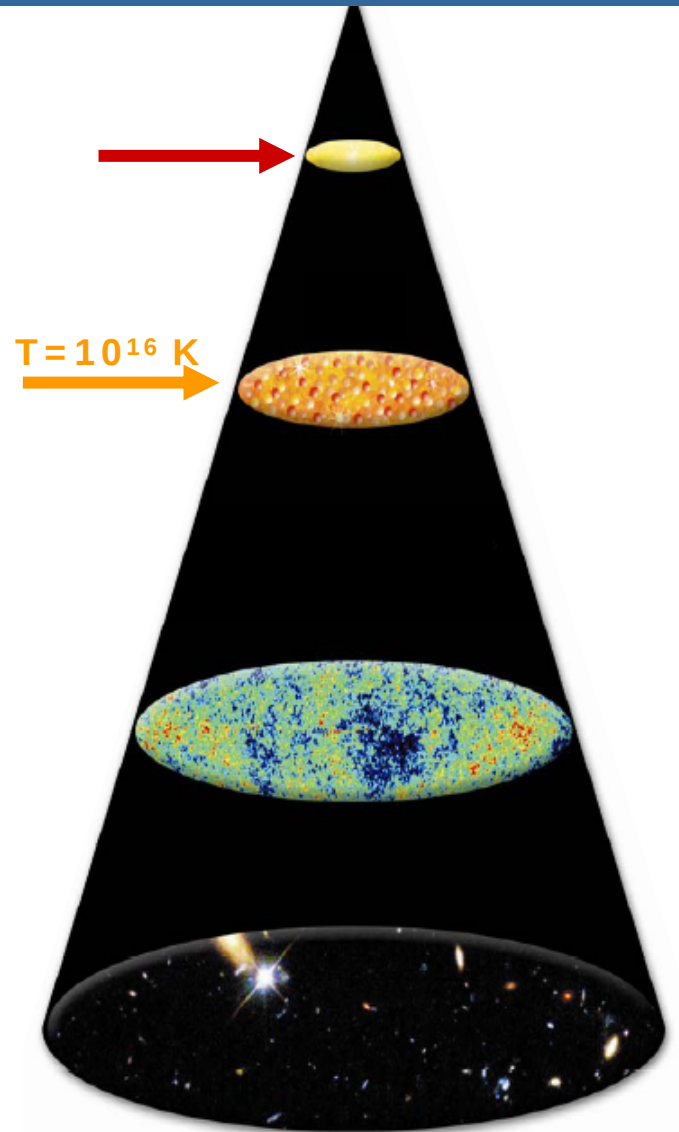
L'origen de l'Univers

- 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

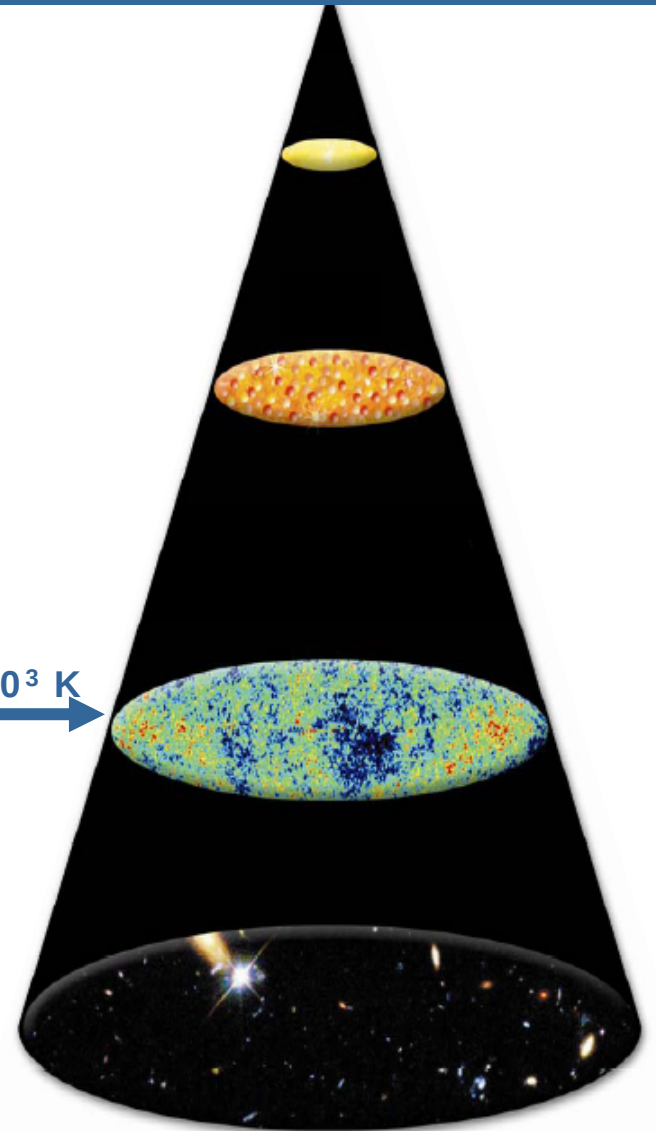
- Durant els primers instants de l'univers **només hi ha energia i partícules elementals**.
 - Ens ho podem imaginar com una sopa, extremadament calenta i tan densa que **la llum no pot propagar-se**.
- Quan tan sols ha transcorregut una centèsima de mil milionèsima de segon (10^{-11} s), **la quantitat 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.

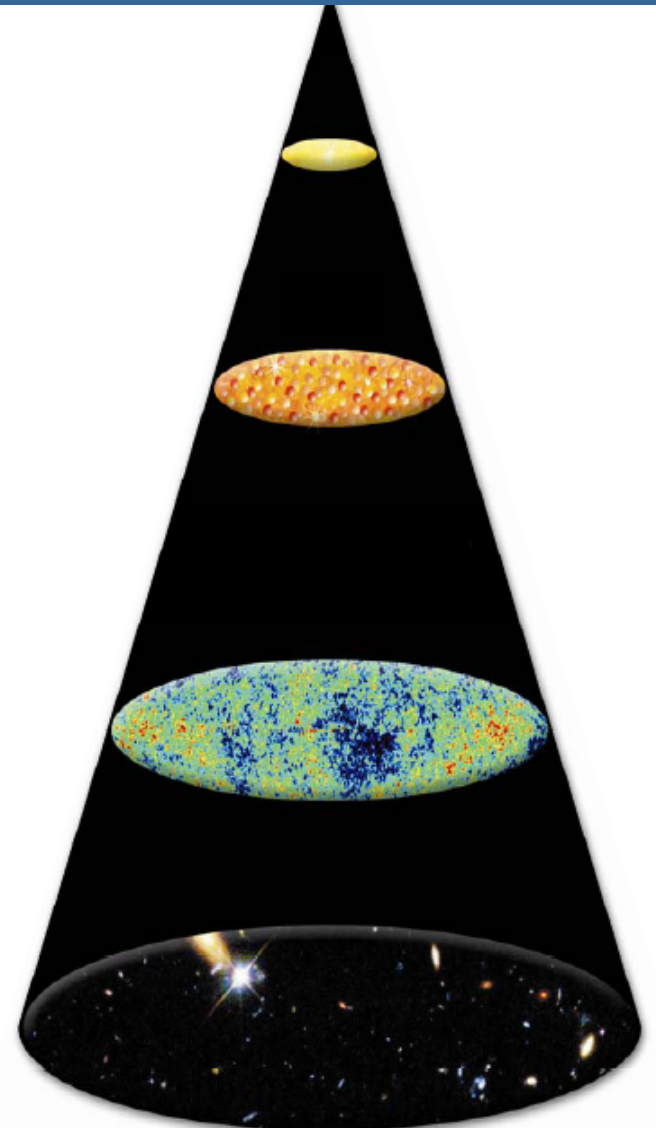
$T = 10^3 \text{ K}$



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

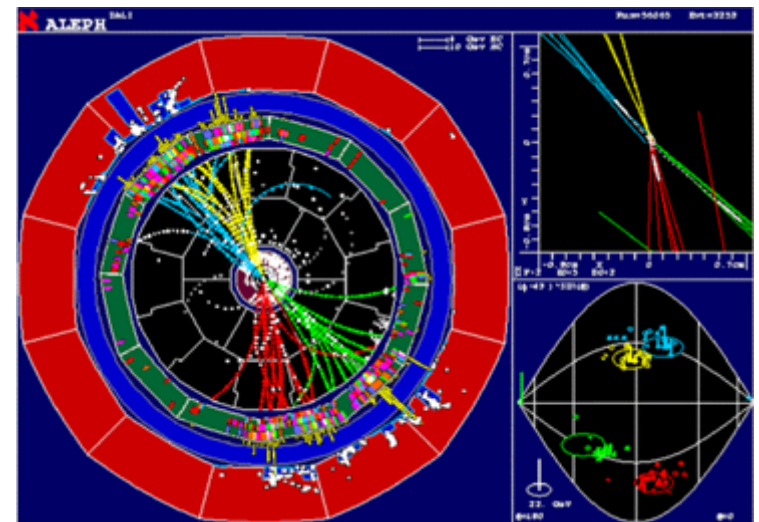
EL CERN

- El proposa 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.

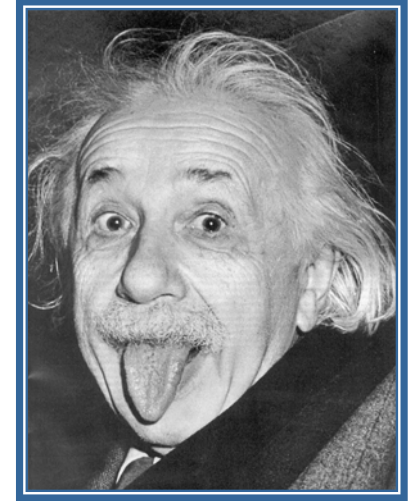


Recordeu a Einstein?

- 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.

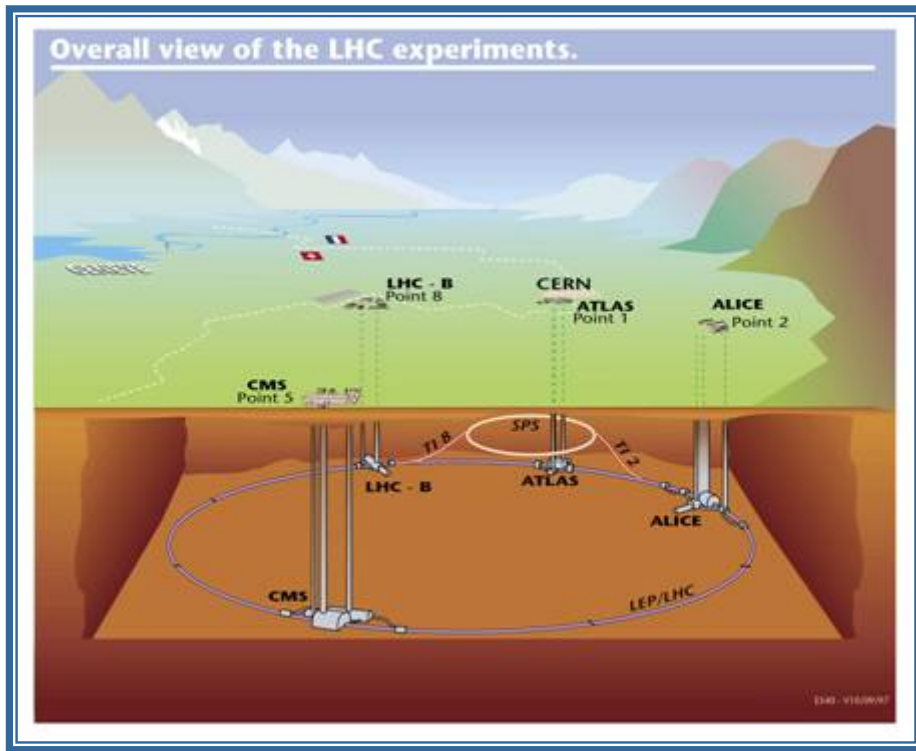


- **$E = mc^2$**



- 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



L'HHC es posarà en marxa el novembre de **2007**, i es preveu que funcioni durant uns **10 anys**.

- L'HHC, 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.

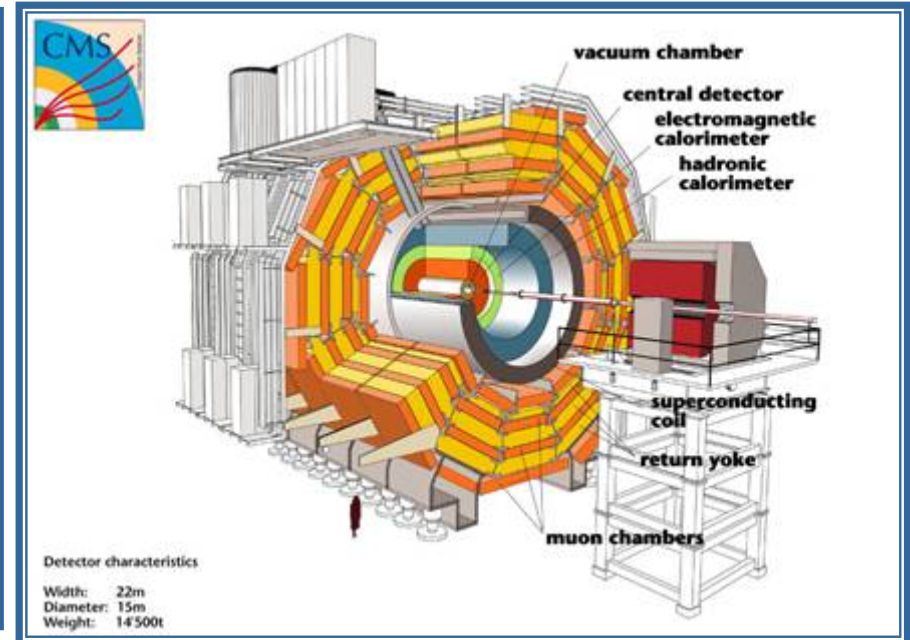
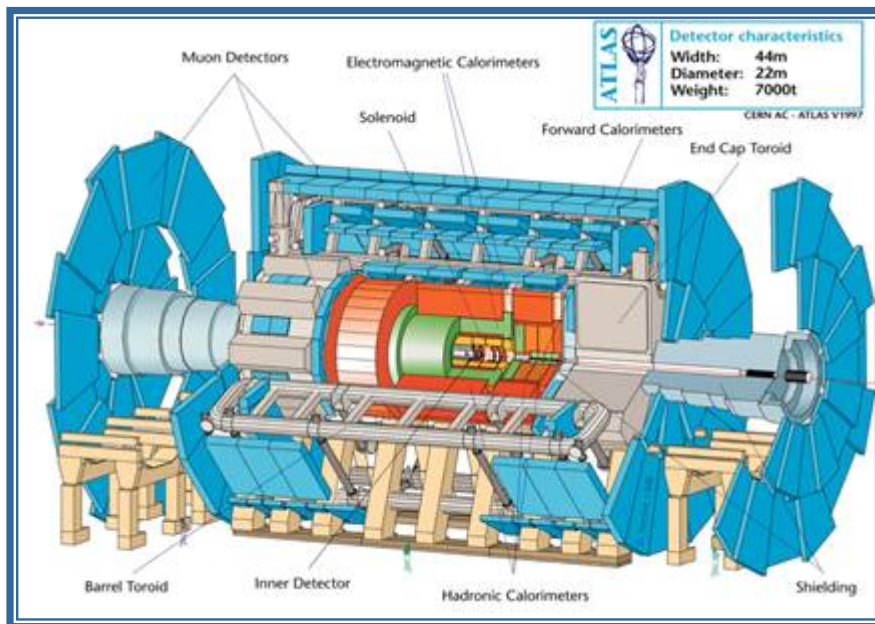
Els experiments de l'LHC: ALICE

- 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.



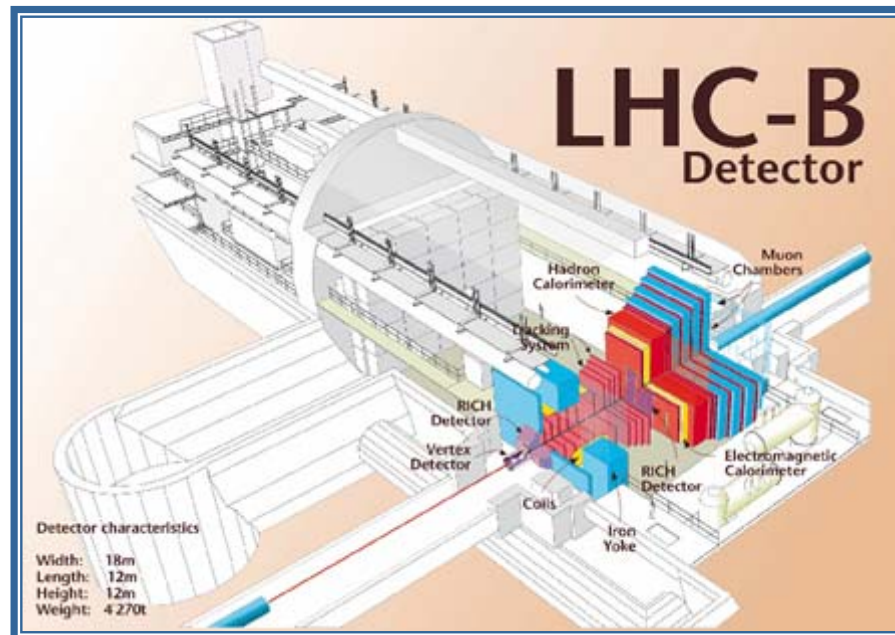
Els experiments de l'LHC: ATLAS i CMS

- 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 topar 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.

Crèdits

- Els continguts d'aquesta presentació han estat preparats per Sílvia Bravo i Gallart, amb l'assessorament d'Ariadna Frutos, Lluís Garrido, Hugo Ruiz i Joan Soto.
- Totes les imatges són de la Xarxa. Per qualsevol ús fora de la presentació a l'aula, consulteu els drets i autoria.
 - Galatea de les esferes <http://www.ub.es/devp/dali/dali.html>
 - Elements grecs http://aportes.educ.ar/quimica/nucleo-teorico/recorrido-historico/antecedentes/elementos_y_otras_teorias_de_g.php
 - Demòcrit <http://www-personal.umich.edu/~jbourj/money.htm>
 - L'imperi d'Alexandre <http://faq.macedonia.org/history/alexander.the.great.html>
 - L'Alquímia <http://contanatura.weblog.com.pt/arquivo/alquimia.jpg>
 - Taula pesos atòmics http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/03/htm/sec_34.htm
 - Laboratori Lavoisier http://encina.pntic.mec.es/~jsaf0002/images/Laboratorio_Lavoisier.jpg
 - Taula Mendeleiev <http://bancroft.berkeley.edu/events/bancroftiana/119/images/introtable1.jpg>
 - Taula periòdica <http://scq.iec.cat/scq/nostrescotes/taula/taulespremiades/anamoracho/tp/taules/tpeagreg.jpg>
 - Experiment de Rutherford http://es.wikipedia.org/wiki/Experimento_de_Rutherford
 - Espectres atòmics <http://sol.sci.uop.edu/~jfalward/physics17/chapter13/atomicspectra.jpg>
 - Àtom de Bohr <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/en/thumb/5/54/Bohr-planetary-atom-model.jpg/300px-Bohr-planetary-atom-model.jpg>
 - Einstein <http://www.fabrica.it/blog/uploads/silvia/einstein.jpg>
 - Àtom http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/e/e2/Stylised_Lithium_Atom.png/180px-Stylised_Lithium_Atom.png
 - Descobriment Positró http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/4e/Cloud_chamber_-_visible_trace_of_positron.JPG
 - Anihilació <http://teachers.web.cern.ch/teachers/materials/bubblechambers.htm>
 - Matèria bàsica al llarg de la història <http://cmsinfo.cern.ch/outreach/CMSdocuments/JimInaugural/pdf/page4.pdf>
 - Des de la pàgina 33 en endavant, totes són del CERN <http://cern.ch>