

ASTRONOMIA

AQUESTA ESTRANYA MATÈRIA

Antoni Petit i Deulofeu

RESUMEN

La historia de nuestro universo es la historia de una evolución que va desde la simplicidad de una sopa de *quarks* a la complejidad que observamos hoy en día en las Galaxias, las estrellas, los planetas y la vida, que fueron apareciendo a lo largo de miles de millones de años bajo la guía de las leyes básicas de la física cósmica.

La gran fábrica del universo se puso en marcha segundos después del *Big Bang* y en sus inicios estaba desprovisto de materia, pero en su seno abrigaba una poderosa fuerza: la gravedad cuántica, la cual se escindió en dos fuerzas capitales: la fuerza electro-débil y la fuerza fuerte. Estas fuerzas dieron nacimiento a las primeras partículas de materia y fueron suficientes los primeros 5 minutos para que el universo se enfriase a menos de 10 000 °C, se confinaron los primeros núcleos y a continuación los primeros átomos de la materia.

SUMMARY

The history of our universe is the story of evolution beginning in the simplicity of a quark soup to the complexity we can observe nowadays in the galaxies, stars, planets and life, that have been appearing through thousand million years guided by the basic laws of astrophysics.

The big factory of the universe was started up in seconds after the *Big Bang* and in the beginning it lacked in matter, but deep inside itself, it wrapped up a powerful force: quantum gravity, which it split into two main forces: electroweak force and strong force. These forces had given birth to the very first particles of matter and 5 minutes were enough for the universe to be cool down below 10,000°C, the first atomic cores were formed, followed by the first atoms of matter.

Keywords: *Systematic, Organic matter, Dark matter, Vacuum, False vacuum Quantum chromodynamic (QCD), Quantum electrodynamics (QED), Entropy. Electron-volt (eV)¹.*

¹ Unitat d'energia equivalent a $1,602 \cdot 10^{-19}$ joules.

1. PREÀMBUL

La teoria desenvolupada pel científic Niels Bohr ens demostra que tota matèria es compon de dues menes de partícules: els electrons i els protons. Però la massa de un protó és aproximadament 1835 vegades més gran que la d'un electró.

En la figura 1, obtinguda pel WMAP *Science Team*, les variacions de càrrega estan elegides de tal manera que es minimitza la contribució de l'emissió galàctica i amb això es millora la imatge. Per tant aquest mapa proporciona una imatge de les anisotropies de la radiació còsmica de fons. Aquesta imatge va emergir 380000 anys després del *Big Bang*.

La matèria té una llarga història, tan llarga que de fet va començar quasi quan va néixer el nostre Univers: ara farà uns 13 700 milions d'anys i va ser solament en els cinc primers minuts que la matèria va emergir per formar els primers àtoms. Ja en el segle V abans de Crist, els savis de l'antiga Grècia van determinar que la matèria estava constituïda per elements indivisibles: els àtoms (Leucipi i Demòcrit, aquest últim va ésser un savi de talent universal, s'ocupà també de les Matemàtiques i de l'Astronomia.). Durant el període que va dels anys 30 aC fins els 200 dC la ciència conreada dins els territoris del món culte d'aquella època, conservà l'esperit i el llenguatge propi de la cultura grega.

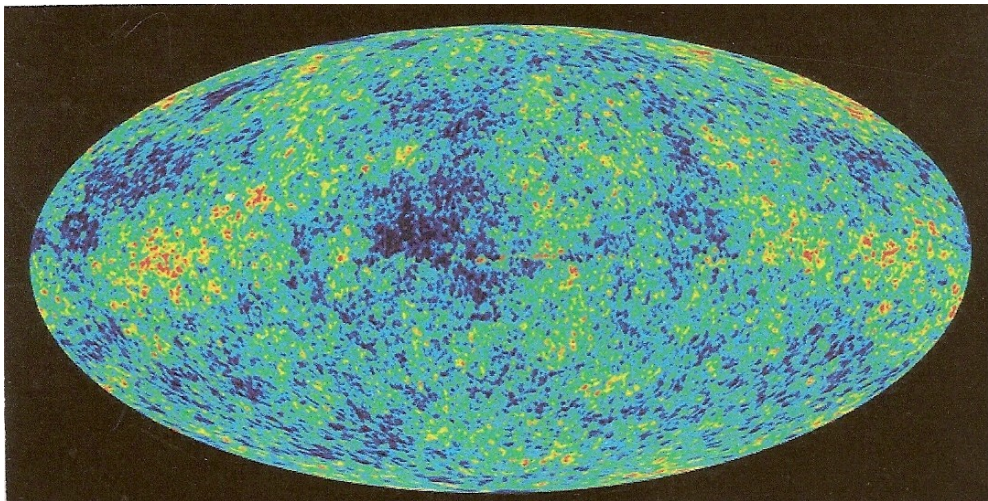


Figura 1

En els temps foscos de l'Edat mitjana, fou una etapa caracteritzada pel predomini cultural exclusiu de l'Església (*L'escolàstica*). En el segle XV comença el Renaixement. Els humanistes es van inspirar en l'Antiguitat Clàssica, traduint i estudiant els seus textos en profunditat. L'humanisme va defensar la recerca de la veritat a través de la reflexió personal i la investigació. Els segles del XVI al XVIII foren definitius en noves hipòtesis en Astronomia i Matemàtiques. El mèrit de la primera formulació clara de la Teoria Heliocèntrica, pertany a Nicolau Copèrnic (1473). Tycho Brahe i Johannes Kepler i també amb la obra de Galileu Galilei, entre els anys de 1550 a 1630, en van completar la teoria.

Utilitzant el Problema del Mètode, es podien deduir veritats particulars a partir d'una veritat general, mitjançant la tècnica del sil·logisme. Amb la utilització d'aquesta tècnica es va aconseguir emmenar durant alguns segles l'esforç dels estudiosos i feu desplaçar el centre d'interessos de "*l'objecte*" - la naturalesa de Déu i del món, en què s'havien entestat els filòsofs antics i medievals - devers el "*subjecte*", és a dir, l'home i els mètodes del coneixement. Cal tenir en compte que en la nostra civilització actual, el coneixement només té una antiguitat de 400 anys.

El prestigi immens de Newton va fer que, durant el segle XVIII, els científics acceptessin la teoria corpuscular de la matèria, ja que Hertz, poc abans de morir ho va demostrar a través de l'efecte fotoelèctric. Efectivament s'anava a mostrar que l'energia lluminosa, interactuant amb la matèria tenia una estructura discontinua i que estava formada per unes mini-partícules, que van anomenar fotons (quants d'energia lluminosa). I així fou que l'existència de la naturalesa ondulatòria de la matèria fou posada en evidència per Planck i Einstein en el segle XX.

Apareix en aquest punt un nou concepte en la Física, la invenció més important des l'època de Newton: el *camp d'influència*. Ha calgut una poderosa imaginació científica per a concebre que no són ni les càrregues ni les partícules el que és essencial per a la descripció dels fenòmens físics. La teoria de la relativitat neix dels problemes que va originar l'aplicació del camp d'influència. Les contradiccions i incoherències de les teories antigues van obligar a atribuir noves propietats al contínuum temporal-espacial, que és l'escenari de tots els esdeveniments del nostre món físic. La Teoria de la Relativitat d'Einstein es descabdella en dues etapes. La primera mena a la teoria de la relativitat especial, que s'aplica només a sistemes de coordenades d'inèrcia, o sigui a sistemes on és vàlida la llei d'inèrcia de Newton.

Aquesta nova teoria modifica les lleis antigues de la mecànica. Ja que les lleis antigues no són vàlides, si la velocitat de la partícula s'acosta a la velocitat de la

llum; tot això ha quedat confirmat llargament per l'experimentació. A més la teoria de la relativitat combina les dues lleis de conservació de la massa i de l'energia en una de sola, la llei de la conservació de la massa-energia.

La Teoria de la Relativitat General, dóna una anàlisi encara més profunda del contínuum temporal-espacial. La teoria ataca el problema de la gravitació i formula noves lleis d'estructura pel camp gravitacional. De fet la teoria de la relativitat insisteix sobre el concepte de camp en la física, però encara ens falta formular una física basada únicament en el camp. De moment hem de continuar suposant l'existència de dues realitats: la matèria que té massa i el camp que no en té.

2. MODEL ESTÀNDARD DE LA FÍSICA DE PARTÍCULES

El model estàndard de la física de partícules és una teoria científica que descriu les interaccions fonamentals (forta, feble i electromagnètica), així com el conjunt de les partícules elementals que constitueixen la matèria.

La mecànica quàntica estableix com es comporten les partícules elementals i com les forces es transmeten per unes partícules portadores: les que formen la matèria s'anomenen fermions (les va descobrir el físic E. Fermi), i les que transmeten les forces s'anomenen bosons (descobertes pel físic S.N. Bose).

Bosons

Els bosons, partícules d'espín² sencer (com ara 0, 1, 2...), són els responsables de transmetre les forces fonamentals de la natura; i els fermions tenen l'espín semi-enter (com ara 1/2 o 3/2). Serveix per indicar el moment angular intrínsec de les partícules elementals. És un dels nombres quàntics que caracteritzen l'estat de les partícules, el seu valor és :

$$\sqrt{s(s+1)} \cdot h$$

on (s) és l'espín i (h) la constant de Planck que està dividida per 2π . (Fig.2)

Els físics de partícules van classificar les partícules conegudes per descriure tota la matèria i les seves interaccions. Al llarg de d'història de la física hi ha hagut moltes partícules que en el seu moment s'han definit com indivisibles, com ara els protons i neutrons, que més endavant s'ha demostrat que no ho eren. En l'actualitat amb el Model estàndard es pot descriure la matèria que constitueix l'Univers i les seves interaccions.

2 Espin (de l'anglès *spin*). Abreviatura de "*spinning moment*", nombre quàntic que descriu el moment angular de totes les partícules atòmiques i nuclis.

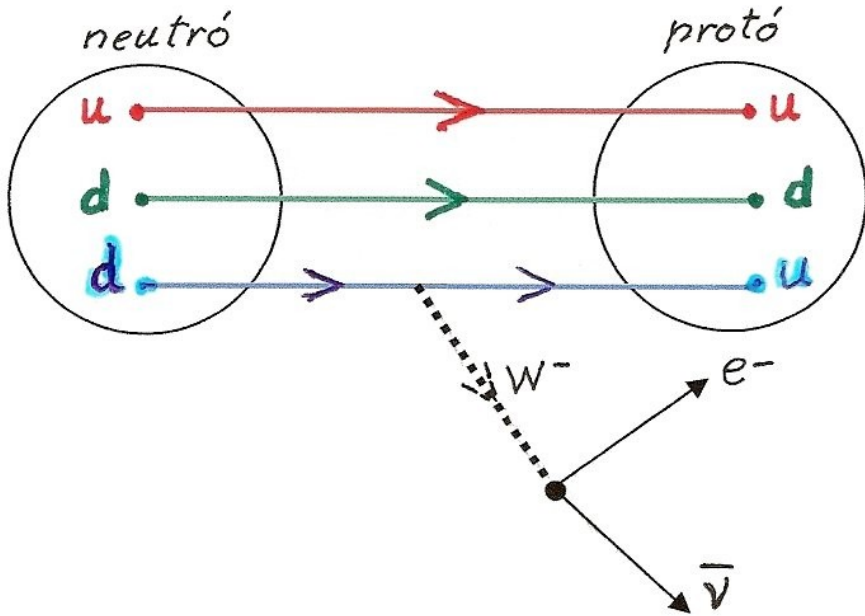


Figura 2. Diagrama de Feynman d'una desintegració beta. Procés mitjançant el qual un neutró pot convertir-se en protó. En la figura un dels $\frac{2}{3}$ del neutró, emet una partícula W^- passant a ser un quark, la partícula emesa (W^-) es desintegra en un antineutrí i un electró.

Segons el Model estàndard, els bosons són quatre (taula 1):

Partícula	Símbol	Massa (Gev/c ²)	Càrrega elèctrica	Espín	Interacció
Fotó	Γ	0	0	1	Electromagnètica
Bosó W	W^\pm	80,4	± 1	1	Feble
Bosó Z	Z^0	91,187	0	1	Feble
Gluó	G	0	0	1	Forta.

Taula 1.

Fermions

Els fermions són partícules amb espín fraccionari que estan subjectes al principi d'exclusió de Pauli, o sigui que dues partícules no poden estar en un mateix estat quàntic al mateix moment. Els fermions són bàsicament partícules de matèria, però a diferència dels bosons, no tots els fermions són partícules elementals. El cas més clar són els protons i neutrons que estan compostos per *quarks*. Els fermions es divideixen en dos grups: els *quarks* i els *leptons*. Aquesta diferència s'aplica perquè els *leptons* poden existir aïllats, a diferència dels *quarks* que només formen grups. Les seves propietats es poden observar a la taula 2.

3. TEORIES DE LA GRAN UNIFICACIÓ (GUT)

Teories que tracten d'unificar totes les interaccions conegudes a excepció de la gravitació i que són: l'electromagnètica, la nuclear dèbil i la nuclear forta.

Suposant que sigui possible una Gran Unificació de totes les interaccions, llavors totes aquestes que ara observem no són més que diferents aspectes de la mateixa teoria unificada. No obstant, els entesos es pregunten: - Com pot ser aquest cas possible, quan les interaccions forta, dèbil i electromagnètica són tant diferents en intensitat i efecte?

Encara que sembli estrany, les dades i les teories actuals suggereixen que aquestes variades forces conflueixen cap una única força, quan les partícules afectades estan a energies suficientment elevades. De fet des dels anys 60 existeix una teoria unificada de les interaccions electromagnètica i dèbil: Teoria electrodèbil.

Actualment existeixen diferents propostes de GUT, de tal forma que algunes propietats del comportament de les partícules amb energies de l'ordre de 10^{16} GeV són conegudes i es poden aplicar a l'estudi de l'Univers quan aquest tenia només 10^{-35} segons. Un dels primers Models Unificats que es coneixen fou degut a M. C. Maxwell, ja que les equacions de Maxwell permeten tractar l'electricitat, el magnetisme i la propagació de la llum com un únic fenomen. Einstein, amb la seva equació de la relativitat general, va demostrar la unió entre la gravitació i la geometria de l'espai-temps. La següent unificació establerta i la més recent, per ara, fou la teoria electrodèbil de Salam-Weinberg (Veure taula 3.)

Tipus de Fermió	Nom	Símbol	Càrrega electromagnètica	Càrrega dèbil	Càrrega de color	Massa (MeV/c ²)
Leptó	Electró	e ⁻	- 1	- ½	0	0,511
	Muó	μ ⁻	- 1			105,7
	Tauó	τ ⁻	- 1			1777
	Neutrí electrònic	ν _e	0	+1/2	0	< 2,2
	Neutrí muònic	ν _μ	0	+ ½	0	< 0,170
	Neutrí tauònic	ν _τ	0	+ ½	0	< 15.5
Quark	Up (amunt)	u	+2/3	+ ½	R/G/B	1,5 – 3,3
	Charm (encant)	c	+2/3	+1/2	R/G/B	1160 - 1340
	Top (cim)	t	+2/3	+ ½	R/G/B	(169 a 173)·10 ³
	Down (avall)	d	- 1/3	- ½	R/G/B	3,5 – 6,0
	Strange (estrany)	s	- 1/3	- ½	R/G/B	70 - 130
	Bottom (alfons)	b	- 1/3	- ½	R/G/B	4130 – 4370

Taula 2. (R/G/B = Red/Green/Blue)

4. FÍSICA DE LES TRANSICIONS DE FASE. RUPTURA DE SIMETRIA

En física, la matèria condensada d'un sistema, es pot descriure per la seva energia lliure segons:

$$E_{\Phi} = F = U - T \cdot S ;$$

U = Energia interna ; T = temperatura i S = entropia.

En un sistema que experimenta una transició de fase, l'energia lliure serà funció no solament de la temperatura sinó també d'un inevitable paràmetre d'ordre, $F(\phi, T)$.

En general es diu que un sistema experimenta una transició de fase quan passa d'un estat amb un cert grau de simetria a un altre de distint grau de simetria. I quan la transició de fase es produeix en un estat de menys simetria, es diu que la transició de fase té lloc amb una ruptura de simetria.

Caiguda de pesos	Gravitació de Newton	Teoria Relativitat General d'Einstein			SÚPER UNIFICACIÓ
Orbites de planetes					
Geometria de l'espai-temps					
Electrodinàmica	Electrodinàmica de Maxwell	Electrodinàmica quàntica	Model Electrodebil de Salam i Weinberg	GUT	
Magnetisme					
Propagació de la llum					
Interacció dèbil	Model de Fermi				
Interacció forta	Cromodinàmica quàntica				

Taula 3. Representació esquemàtica de les Teories d'Unificació en la Física actual.

En física de partícules, les transicions de fase associades a la pèrdua d'unificació d'interaccions, estan governades per un camp escalar (ϕ), el camp de Higgs³, que actua com a paràmetre d'ordre, i pel seu potencial efectiu corresponent $V(\phi)$. El desenvolupament en sèrie de $V(\phi)$ seria:

$$V(\phi, T) = V_0 + \alpha|\phi|^2 + \beta|\phi|^3 + \gamma|\phi|^4 \quad (1)$$

El càlcul és molt complex, ja que s'han de tenir en compte les variacions quàntiques del camp.

En la figura 3 mostrem el panorama en el qual es desenvolupa l'energia potencial en el cas d'un doblet espectral de camps escalars. En el centre es mostra la barrera energètica en el fals buit, que la partícula ha de superar per continuar el seu procés. Però en mecànica quàntica es possible la penetració de la partícula dins la barrera gràcies a l'efecte túnel.

3 Aquest camp fa possible que les partícules adquireixin massa.

Degut a aquest efecte la partícula lliscarà per la pendent molt lentament, fins arribar al buit real del nostre món. La matèria que es forma en aquest buit és de caràcter espumós i llur concentració en el ventre de les estrelles formarà els elements de la taula periòdica que s'escamparan per l'espai amb les explosions de supernoves.

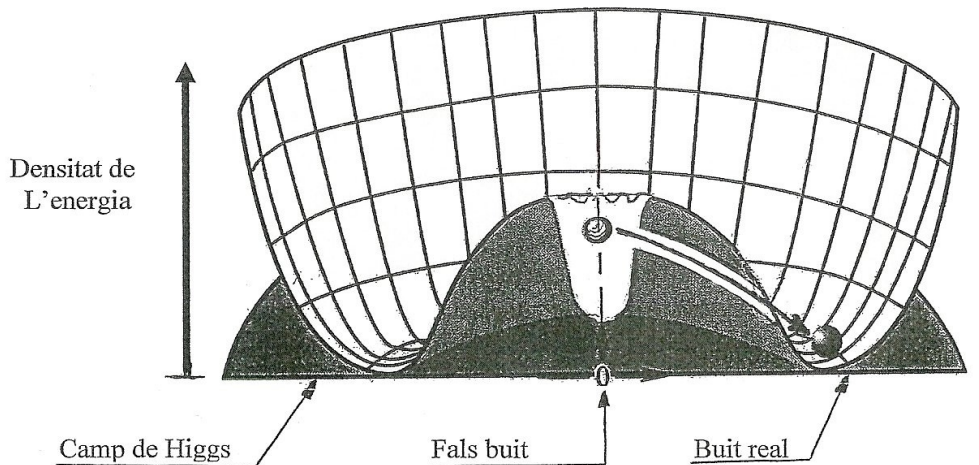


Figura 3.

El potencial dins l'efecte túnel té una inclinació suau i per tant la partícula de matèria es desplaça lentament per aquest pendent. Durant el seu desplaçament l'energia del fals buit és quasi constant.

Segons el principi d'indeterminació de Heisenberg, se segueix que les partícules de força haurien de tenir una massa que rondés els 10GeV (10 000 milions de eV.). A més la segona limitació, que concerneix a la simetria de la família, no permet que ni els quarks, ni els leptons tinguin massa; però en la realitat aquests la posseeixen. Amb aquest problema es van trobar els físics teòrics Peter Higgs, Robert Brout, François Englert, i altres. Els quals, a partir de l'estudi de la superconductivitat on certs materials oposen resistència al pas del corrent, quan aquests estan a temperatures molt baixes, van arribar a la conclusió que les lleis pròpies de l'electromagnetisme són simètriques, però el comportament de l'electromagnetisme dins un material superconductor no ho és.

En el superconductor els fotons adquireixen massa i limiten la intrusió de camps magnètics en el material. En aquest cas el mecanisme de ruptura de simetria seria l'anomenat Mecanisme de Higgs, que invoca el Camp de Higgs i que posseeix el bosó de Higgs, com bosó portador.

Nom	Espín	Càrrega elèctrica	Massa GeV= 10^9 eV	Força	Existència
Gravitó	2	0	0	Gravitatòria	No observada
Fotó	1	0	0	Electromagnètica	Observada
Gluó	1	0	0	Força	Indirecta
W ⁺	1	+1	80	Dèbil	Observada
W ⁻	1	- 1	80	Dèbil	Observada
Z ⁰	1	0	91	Dèbil	Observada
Higgs	0	0	<160	Camp de Higgs.	No observada.

Taula 4. Bosons portadors coneguts fins el moment.

Quan la temperatura de l'equilibri tèrmic baixa per sota d'una certa temperatura crítica, les interaccions se separen i les forces assoleixen intensitats distintes.

La conseqüència immediata aplicada a la cosmologia és que les distintes forces es van unificar en les primeres etapes de l'Univers, quan aquest es trobava en un equilibri tèrmic a alta temperatura. Però al descendir la temperatura degut a la expansió, les distintes interaccions es van fent successivament distingibles.

Com ja s'ha assenyalat, en cada separació d'una interacció l'Univers perd simetria en evolucionar passant d'un estat simètric (interaccions unificades) a un altre menys simètric (interaccions separades) i es produeix el que es denomina una transició de fase amb ruptura espontània de simetria.

A energies de 10^{15} GeV la interacció forta, electromagnètica i dèbil tenen la mateixa intensitat i això és indicatiu que és la energia requerida per una unificació GUT.

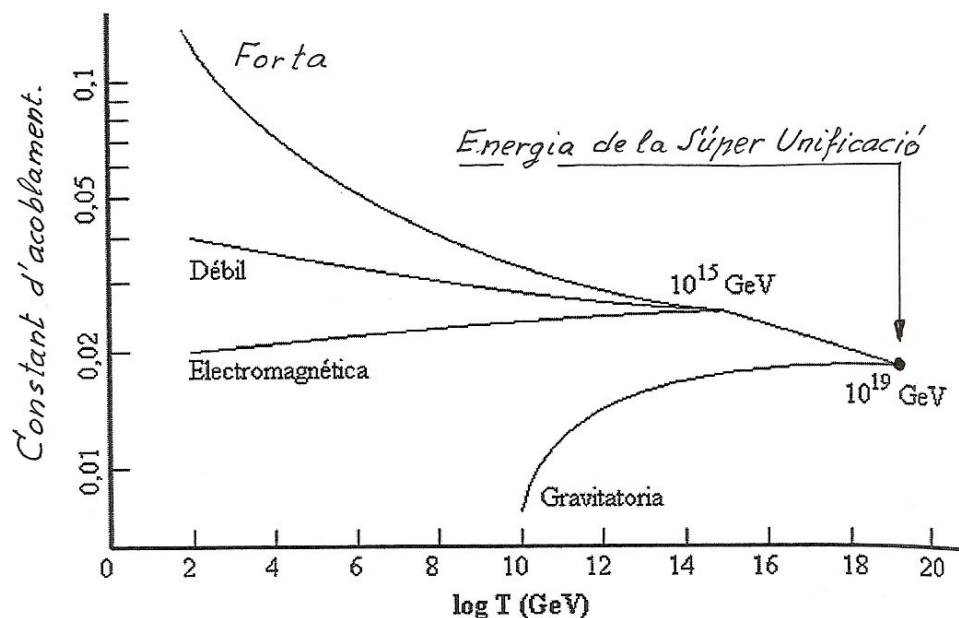


Figura 4. Gràfic de les Forces aplicades quan l'Univers tenia uns 10^{-35} segons.

4.1. Interaccions fonamentals

Per no violar els principis de la conservació de l'energia i del moment, el bosó portador d'una força ha de ser virtual, ja que deu obeir el principi d'indeterminació energia-temps, segons el qual el producte de l'energia del bosó portador per la seva vida mitjana no pot ser més gran que $(h / 2 = \text{Constant de Planck})$.⁴

Interacció	Intensitat relativa	Abast (m)	Bosó portador	Massa (GeV)
Forta	1	10^{-15}	Gluó	0
Electromagnètica	1/137	∞	Fotó	0
Dèbil	$5 \cdot 10^{-7}$	10^{-18}	W^+ i Z^0	80 i 91
Gravitatòria	$6 \cdot 10^{-39}$	∞	Gravitó	0

Taula 5. Comparació entre les característiques de les distintes interaccions.

⁴ La constant cosmològica s'identifica com l'energia del buit, ja que continua existint fins i tot quan totes les altres densitats d'energia són nul·les.

Llavors cal puntualitzar que l'abast màxim de la interacció serà inversament proporcional a la massa en repòs del bosó portador. Ja que la massa en repòs és la mínima energia que pot tenir aquest bosó.

Els bosons amb massa nul·la proporcionen un abast il·limitat mitjançant el principi d'incertitud energia-temps. Però en canvi aquesta regla no es pot aplicar als gluons, perquè estan confinats juntament amb els quarks dintre del nucli. Per tenir una idea dimensional de l'àtom, podem dir que un àtom mesura dins l'ordre de 10^{-10} m. i un nucli atòmic de l'ordre de 10^{-15} m.

El bosó de Higgs és postulat per la teoria de la interacció electrofeble principalment per explicar l'origen de les masses de les partícules. En un procés conegut com mecanisme de Higgs, el bosó de Higgs i els altres fermions del Model Estàndard adquireixen massa a través de la ruptura espontània de simetria del camp de Higgs.

El bosó de Higgs ens diu que hi ha un origen comú per a totes les partícules que tenen massa. I si aquest bosó no existís, la teoria es complicaria molt, ja que llavors caldria estudiar una estructura més profunda de les partícules elementals.

La massa intrínseca de les partícules elementals s'explica per la interacció amb el camp de Higgs. De fet el bosó de Higgs és l'única partícula del Model Estàndard que encara no ha estat observada. S'espera amb gran delit que aquest bosó sigui descobert amb el Gran Col·lisionador d'Hadrons de Ginebra (CERN).

5. DIFERENTS CASOS DE RUPTURA DE SIMETRIA

A partir de la funció potencial (1) s'estudien els dos casos més importants que realment es poden presentar:

1^{er} cas: $\beta = 0$

el potencial prendrà la forma: $V(\phi, T) = V_0 + \alpha|\phi|^2 + \gamma|\phi|^4$ (2)

que presenta extrems en la solució trivial: $(\phi = 0)$ i en $(|\phi| = \sqrt{-\alpha / 2\gamma})$ ⁵

En aquest cas ha tingut lloc una transició de fase de segon ordre.

2^{on} cas : $\beta \neq 0$

$$V(\phi, T) = V_0 + T^2|\phi|^2 - |\phi|^3 + |\phi|^4 \quad (3)$$

⁵ Els càlculs han estat compilats de l'obra *Cosmologia Física* del llicenciat Jordi Cepa per la Universitat de Barcelona. En la Bibliografia hi ha les dades de l'obra.

La figura 6 ens indica que quan s'arriba a la temperatura crítica, apareix un mínim en ($\phi = 0$), però en aquest cas l'Univers no ha canviat d'estat, segueix en ($\phi = 0$) que està en un mínim de potencial, però no és el potencial mínim.

Per tant es diu que està en un fals buit. Al continuar l'expansió la temperatura segueix disminuint i el potencial segueix canviant però no es produeix la transició de fase. Es diu que l'Univers està sobregebrat, amb analogia amb el que ocorre quan l'aigua es refreda per sota del punt de congelació. Existeix llavors una calor latent.

Depenent dels valors dels coeficients de (1) es pot desenvolupar la transició de fase per efecte túnel, llavors el sistema evoluciona ràpidament per una de les solucions de (2), donant un canvi sobtat de fase que és l'anomenat buit verdader. L'operació es denomina: transició de fase de primer ordre, que alliberarà calor latent reescalfant l'Univers.

La inflació va tenir lloc en algun moment entre la fi de l'època de Planck i la transició electrodèbil i no associada a una transició de fase. Tres condicions es donen en el moment de la ruptura de simetria GUT⁶, que és quan se suposa que es va desenvolupar la *bariogènesis*, amb la ruptura electrodèbil.

Aquí es convenient assenyalar que les reaccions que violen la conservació del nombre bariònic B, produeixen un excés de leptons amb respecte als antileptons del mateix ordre que la simetria dels barions, encara que inicialment en aquell punt l'Univers fos simètric.

Antileptó → quark, leptó → antiquark

Aquesta època acaba amb la ruptura de simetria entre la *força forta* i la *electrodèbil* mitjançant una transició de fase de primer ordre, basada en el mecanisme de Higgs, que proporciona massa als bosons X, distingint-los de les altres partícules portadores.

Època electrodèbil

Inici 10^{-36} seg. → Final 10^{-10} s.

Composició: Matèria leptònica i matèria quark.

Descripció: Domini de la Unificació Electrodebil.

Neutrons i protons s'uneixen i formen els elements químics primordials:

6 GUT: Teoria Gran Unificació, en anglès.

Heli (2p + 2n);

Deuteri (1p + 1n) ; Liti (3p + 3n) ; Beril·li (4p + 4n), ...

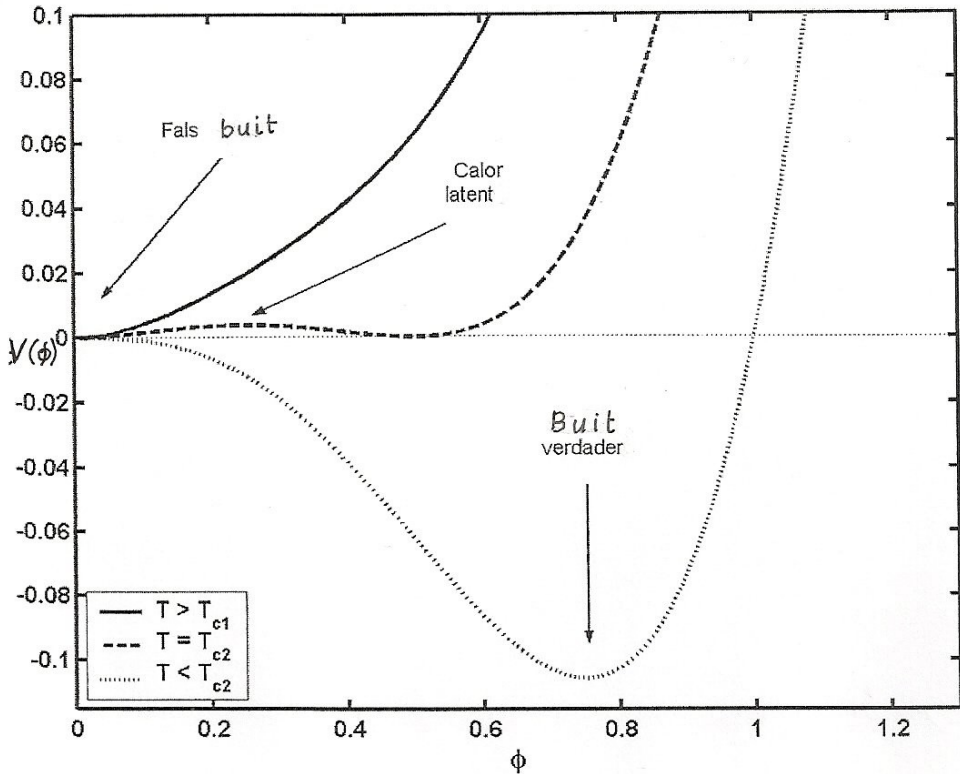


Figura 5.

6. PARTÍCULES COMPOSTES

Hadrons

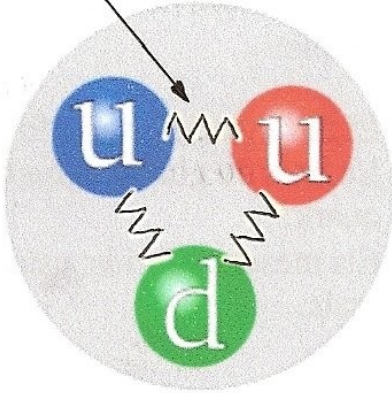
Són les partícules que transmeten la interacció forta, n'hi ha de dos tipus: Fermions compostos que reben el nom de Barions i Bosons compostos que reben el nom de Mesons.

Els Hadrons estan compostats de quarks i romanen lligats per la interacció forta que és transmesa pels gluons.

Època	Edat (s)	Successos importants	Comentaris
Planck	0 $4 \cdot 10^{-44}$	Inici de l'Era. Singularitat inicial. Desacoblament del gravitó. Fi de l'època.	Totes les interaccions estan unificades. Es troba en el seu mínim de potencial i l'expansió és la pròpia d'un Univers dominat per la radiació.
G U T	$4 \cdot 10^{-44}$ 10^{-36}	Inici de l'època GUT i pròpiament de l' Era de la Radiació. Transició de fase de 1 ^{er} ordre amb ruptura de simetria. Fi de l'època.	Unificació de totes les interaccions menys la gravitació. Univers compost de matèria GUT i que s'expandeix exponencialment.
Electrodèbil	10^{-36} 10^{-10}	Inici de l'època. Transició de fase de 1 ^{er} ordre amb ruptura de simetria. Fi d'aquesta època	Unificació electrodèbil. Es en aquest precís moment que entrarà en funcions el mecanisme de Higgs. En aquest estadi tots els elements de la matèria ordinària són presents.
Quarks	10^{-12} $2,5 \cdot 10^{-5}$	Inici de l'època. Transició quark-hadró. Fi de l'època	Totes les interaccions estaran separades. L'Univers queda compost per un plasma de: Quarks-gluons i Leptons.
Neutrons i Protons	10^{-4} 3 minuts	Sota l'acció de la força forta, els quarks es combinen entre ells en paquets de 3, formant neutrons i protons. Sota l'acció de la força electromagnètica els nuclis atòmics, estiren els electrons lliures i aquests se satel·litzen al seu voltant. (T=10000 °K.)	El regne dels fotons toca a la seva fi. Malgrat la continuació del procés d'anihilació de partícula-antipartícula que està buidant el Cosmos, els protons prenen avantatge. Els àtoms emergeixen finalment. L'Univers és encara opac, però comença el confinament dels electrons al voltant dels nuclis. Finalment l'Univers esdevindrà transparent i lluminós.
La Gravitació Modela el Cosmos	Big Bang + 300 000 Anys.	L'ensamblatge atòmic és acabat i la gravitació entra en l'escena. Immensos grumolls i filaments de matèria apareixen, d'on emergiran els cúmuls galàctics i llurs estels.	Mentre l'Univers es refreda fins els 4000° K, la gravitació entra en escena i les grans estructures còsmiques es poden començar a formar. Mentre que en el cor d'aquests astres, la fusió nuclear de l'hidrogen i de l'heli engendraran els elements químics mancants.

Taula 6. Resum dels principals esdeveniments de l'Univers primordial a partir de la Era de la Radiació.

Gluons



Nucleons

Són els components fermiònics dels nuclis dels àtoms.

Protons : compostats per dos quarks *up* i un quark *down* (uud).

Neutrons : compostats per dos quarks *down* i un quark *up* (ddu).

Hiperons

Són barions amb estranyesa (s)⁷ diferents de zero, contenen un o més quarks.

Figura 6. Estructura d'un protó: 2 quarks *up* i 1 quark *down*.

Mesons

També coneguts com bosons. Habitualment aquestes partícules estan formades per un *quark* i un *antiquark*. I atès que els *mesons* tenen espín 0 o 1, no són partícules elementals i són considerats com *bosons compostos*. Com exemples podem citar els *pions*, *kaons* i també el *meso J/ψ*. En els models de la hidrodinàmica quàntica els *mesons* són els transmissors de la força nuclear entre els nucleons.

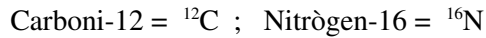
Nucli atòmic

Els nuclis dels àtoms són formats per *protons* i *neutrons*, que al seu torn són formats per quarks. Cada tipus de nucli conté un nombre específic de protons i neutrons i poden ésser anomenats núclids i isòtops, en funció de les característiques que es considerin.

Una reacció nuclear pot modificar un núclid i convertir-lo en un altre de diferent. Això passa amb els anomenats *isòtops*, que són núclis amb un nombre diferent de neutrons, però que tenen el mateix nombre atòmic i per tant són el mateix element

⁷ *Strange* (s), són partícules de vida curta i més pesades que els nucleons.

químic. Per exemple :



Àtoms

Els àtoms són les partícules neutres més petites que es pot dividir la matèria per mitjà d'una reacció química. Un àtom consisteix en un petit i pesat nucli envoltat per un núvol relativament gran i lleuger d'electrons. Cada tipus d'àtom correspon a un dels elements químics. Els maons de la matèria estan constituïts de quarks a partir dels quals es formen els protons i els neutrons.

Fins el moment han estat identificats 117 elements, amb nombres atòmics que van de l'1 al 118. Existeix una Taula Periòdica que abasta fins els 118 elements.

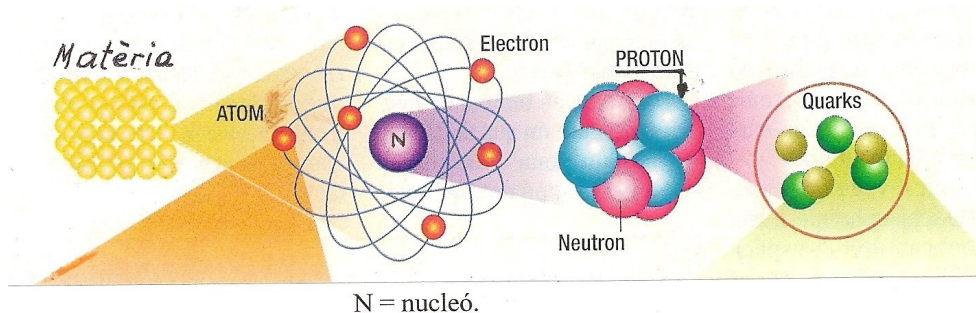


Figura 7.

7. EL PROBLEMA DE LA MATÈRIA OBSCURA

En el nostre Univers només existeix un 4% de matèria normal, aquella que forma tot el que podem veure: estrelles, planetes i nosaltres mateixos.

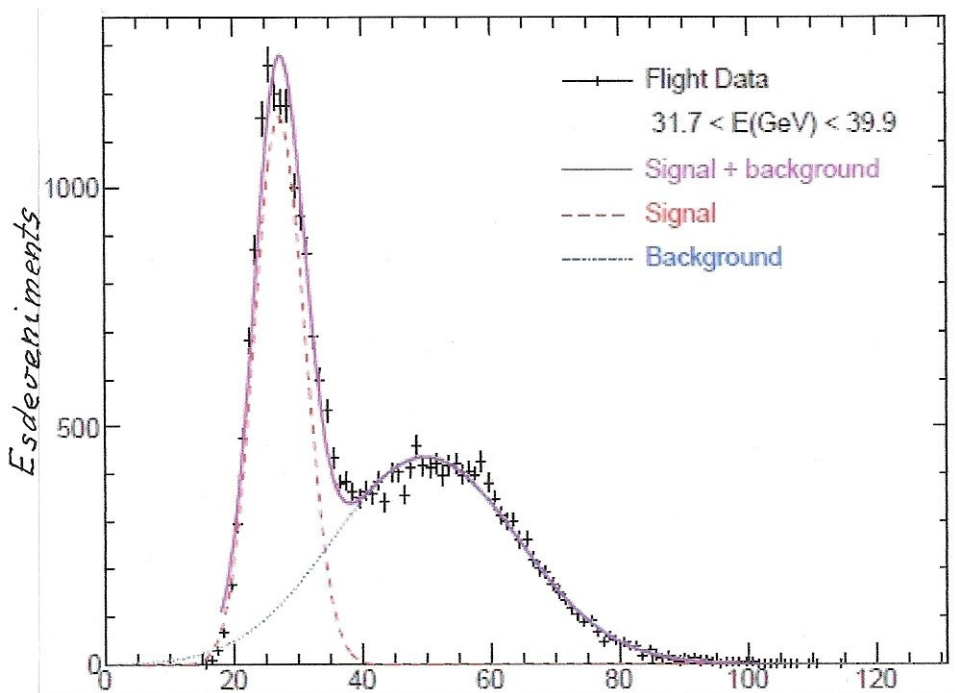
A banda els científics ens diuen que existeix una matèria fosca (26%), desconeguda per la física i indetectable per nosaltres en el rang de la llum visible. I més rar encara és el restant 70% del Cosmos, constituït per una misteriosa força, anomenada: energia obscura.

El telescopi espacial de raigs gamma Fermi de la NASA, juntament amb el satèl·lit europeu Pamela de raigs còsmics, van observar durant l'any 2008 un excés de positrons (antipartícula de l'electró) en els raigs còsmics. Els físics van interpretar que aquest excés de positrons era degut a l'anihilació de la matèria obscura del

halo galàctic de la Via Làctia.

En concret, l'espectre de l'energia observable apunta a una partícula tipus WIMP que pot assolir fins a uns 240 GeV. Si es confirmen aquests resultats, s'haurà demostrat una vegada més l'existència d'aquesta matèria fosca.

Aquesta matèria no bariònica pot ser de dos tipus diferents: de matèria fosca freda, formada per partícules massives no relativistes i matèria fosca calenta, formada per partícules relativistes. L'opinió més estesa és que el nostre Univers en deu contenir de les dues classes.



Pluja transversal de partícules (mm).

Figura 8. Gràfic de la confrontació dels satèl·lits Fermi i Pamela

Cal tenir en compte que estem en la dècada de la matèria fosca i hi ha un gran nombre d'experiments en curs. Molts dels senyals que estem observant ara no seran deguts a la matèria obscura i per tant cal donar temps al temps. Deixem un marge d'un parell de lustres (10 anys), com a molt tard.

BIBLIOGRAFIA

BOROVoi. A. (1985). *Como se registran las partículas*. Ed. Mir. Moscou.

CEPA, JORDI (2007). *Cosmologia Física*. Ed. Akal. Barcelona.

DAVIES, PAUL (1998). *Super-Fuerza*. Salvat Editores (1988) Barcelona.

GELL-MANN, MURRAY (1998). *El quark y el jaguar*. Ed Tusquets. Barcelona.

KRAUS, LAWRENCE M. *Antigravedad Cosmològica*.-Revista Investigación y Ciència, núm: 270.

PASCUAL, ROMAN (1999) – *Del átomo al Quark*.- Ed. Vicens Vives. Barcelona.

SAZHIN, M.V. (2002). *Cosmologia Moderna*. Edit. URRS (2002) Moscou.

WEINBERG, STEVEN (1992). *Dreams of a final Theory*. Pantheon Books. (1992)

WEBGRAFIA

[http://ca. Wikipedia.org/wiki/Taula-de-part%C3%ADcules](http://ca.wikipedia.org/wiki/Taula-de-part%C3%ADcules).

[http://fr. Wikipedia.org/wiki/Physique-des-particules](http://fr.wikipedia.org/wiki/Physique-des-particules).

[http://es. Wikipedia.org/wiki/Ruptura-espon%C3%A1nea-de-simetr.%ADa.elec](http://es.wikipedia.org/wiki/Ruptura-espon%C3%A1nea-de-simetr.%ADa.elec).