

## COSMOLOGIA

### **SOBRE UN COSMOS ESTRUCTURAT**

*Antoni Petit i Deulofeu*

#### RESUMEN

En Astrofísica se estudia lo que se llama “Lente gravitacional“, que de hecho es como un espejismo pero de carácter gravitacional, que un objeto muy masivo produce (un cúmulo de galaxias por ejemplo), el cual deforma el tejido espacial. En este artículo se estudian los efectos gravitacionales en el Universo. Este mecanismo exótico ha ayudado a detectar la **materia oscura** presente en nuestro Universo. Como ya previó Einstein en la Teoría de la Relatividad, el espacio se curva i distorsiona por acción de la fuerza de la gravedad. Por tanto la luz que también es energía, varía en su trayectoria. La edad y la densidad del Universo está estrechamente relacionado con la conocida Constante de Hubble, que es la relación entre la velocidad de recesión de un cuerpo sideral lejano y su distancia a partir de la Tierra.

**KEY WORDS:** Gravitational lenses, Einstein Rings, Expanding Universe, Dark Matter, Cluster of galaxies, Higgs particle.

#### INTRODUCCIÓ

Observacions recents mostren que el nostre Univers sembla estar en expansió amb una determinada taxa d'acceleració. La manera popular d'explicar aquest fenomen dins la Cosmologia Física, és mitjançant la hipotètica energia fosca que impregna tot l'espai, produint una pressió negativa que tendeix a incrementar la taxa d'expansió del nostre Univers. En el Modelo Estàndard de la Cosmologia, la energia fosca actualment aporta les tres quartes parts de la massa-energia total de l'Univers. La Relativitat i la Mecànica Quàntica donen la resposta a la creació de matèria a partir de l'energia, sota la forma de parells de partícules-antipartícules, en el buit espumós que va precedir el Big Bang.

#### 1. SOBRE ELS LÍMITS DE L'UNIVERS

Aquesta fou la pregunta que es van fer l'equip de científics de Hawking, estudiant els orígens de l'Univers: - Es que l'Univers no té límits ?

Si s'extrapolen els resultats de la suma d'històries dels temps imaginaris a temps reals, es podria veure que la formació d'aquest Univers en el seu principi, podria

ésser molt diferent que la seva fi. El fenomen de la inflació va permetre la formació d'un Univers, llis i uniforme a gran escala, que va evitar refondre's sobre si mateix. Per tant existeix avui en dia una alta quantitat de partícules materials de l'ordre de  $10^{80}$ , que formen part de l'Univers observable per nosaltres. - D'on van venir aquestes partícules materials ? No del no-res.

La resposta és que la Relativitat i la Mecànica quàntica permeten la creació de matèria a partir de l'energia, sota la forma de parells partícula-antipartícula. L'Univers té un enorme deute en energia gravitacional negativa, que compensa exactament l'energia positiva de la matèria. Durant el període inflacionista, l'Univers va manllevar la seva energia gravitacional per finançar la creació de la matèria.

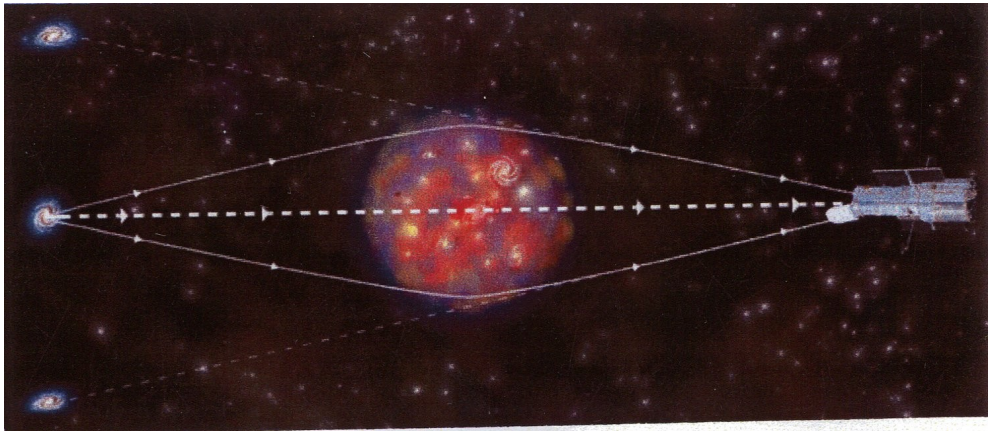


Figura 1. Doble imatge d'un quàsar detectat pel telescopi Hubble.

El resultat ha estat un Univers vigorós en plena expansió, reomplert d'objectes materials. El deute en energia gravitacional no haurà pas ésser retornat abans de la fi de l'Univers. Si en el futur algun dia la Ciència pot resoldre el problema de la manera que es va formar l'Univers, aquesta sí que mai no podrà respondre a la pregunta: - Perquè l'Univers es va donar el sentiment propi d'existir?

## 2. SOBRE LA CONSTANT COSMOLÒGICA D'EINSTEIN

En el 1916, Einstein va publicar llur Teoria de la Relativitat i va tractar de aplicar-la a l'estructura de l'Univers que es coneixia en aquella època. Però en aquell moment es pensava que l'Univers era perenne i immutable. Einstein va afegir a llur teoria una "Constant cosmològica", que creava una força de repulsió capaç d'oposar-se a

la contracció de l'Univers. Va concebre així un model de cosmos estàtic que no es contraïa ni expandia.

Però més tard, un jove matemàtic rus, Alex Friedman, va modificar aquesta teoria i va formular tres possibilitats en relació a l'evolució de l'Univers, basant-se en la densitat de la matèria que contenia: un Univers en contínua expansió, un altre que en un determinat moment deixa d'expandir-se i comença a contraure's i un tercer que segueix expandint-se, però a una velocitat moderada.

Finalment en 1929, l'astrònom nord-americà Edwin Hubble, va demostrar que l'Univers estava en expansió. Quan Einstein va tenir notícia d'aquests descobriments, va definir la seva teoria sobre la immutabilitat de l'Univers com el més gran error de la seva vida. Però com comprovarem més endavant no estava tan desencaminat.

El científic F. Hawking juntament amb el matemàtic Roger Penrose, van demostrar que la Teoria general de la Relativitat d'Einstein implicava que l'espai i el temps tindrien un principi, l'anomenat Big Bang i un final amb els Forats Negres, on la matèria es difuminaria. A més els resultats indicaven que calia unificar la Relativitat General amb la Teoria Quàntica. Com a conseqüència d'aquesta unificació van descobrir que els forats negres també emetien radiacions i per tant al llarg del temps podrien dissipar-se i també desaparèixer.

### 3. TEORIA RELATIVISTA DE CAMP QUÀNTIC

Amb aquesta teoria els físics han inventat un nou llenguatge, introduint un repertori de nous conceptes teòrics per abordar les noves qüestions i descobriments. Les propietats observades de les partícules quàntiques es poden ara descriure amb exactitud gràcies al nou llenguatge i dins aquest llenguatge matemàtic, la noció de simetria ha passat a acomplir un paper molt important i creixent.

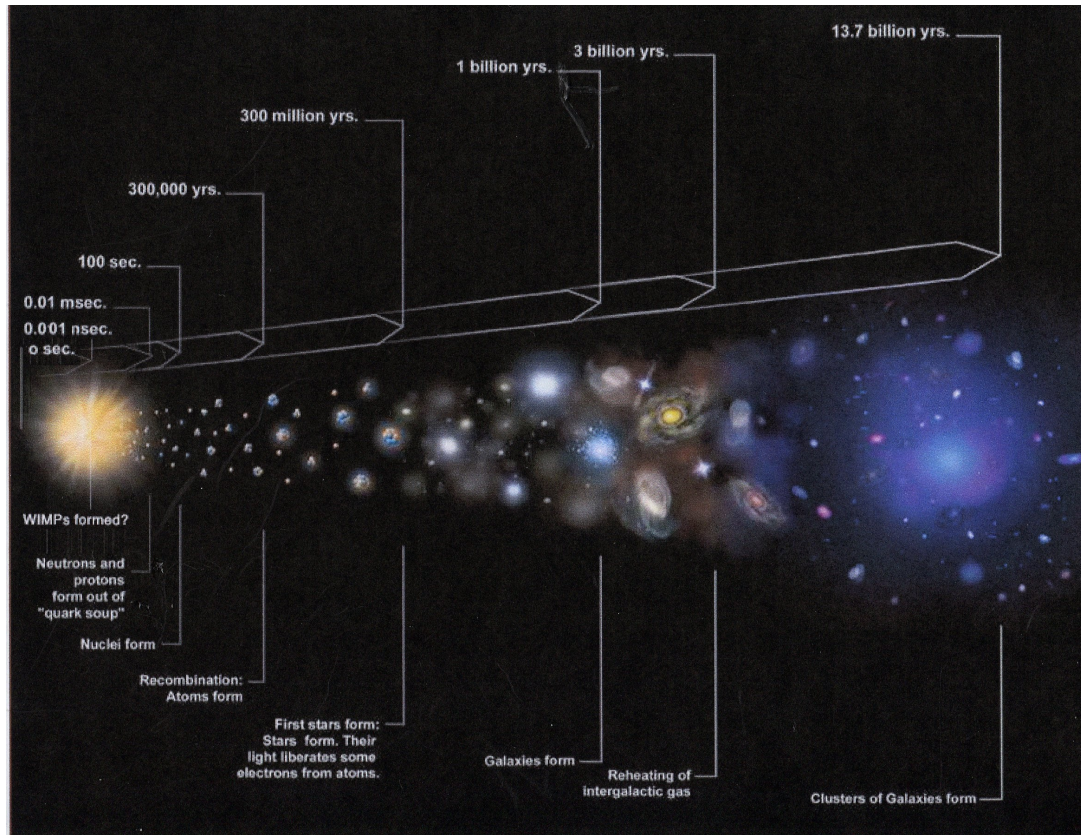
Efectivament el concepte de simetria resulta summament útil per descriure quelcom que manca de parts i és molt petit. Suposem una esfera en l'espai, té la propietat de ser simètrica i encara que es contragui fins el format d'un punt, conservarà la propietat de la simetria esfèrica. El físic teòric C. N. Yang va comentar sobre aquesta teoria:

*... La naturalesa sembla aprofitar les simples representacions matemàtiques de les lleis de la simetria. Si ens aturem a considerar l'elegància i la bella perfecció del raonament matemàtic que entra en joc i ho comparem amb les conseqüències físiques complexes, de tan llarg abast, sorgeix sempre un profund sentit de respecte pel que fa al poder de les lleis de simetria ...*

La teoria relativista dels camps quàntics (el llenguatge que descriu les simetries de les partícules quàntiques), és una disciplina matemàtica complexa, però llurs idees bàsiques es poden captar en termes elementals. Després del període inflacionari l'evolució de l'Univers és molt més compresa gràcies al progrés de la Física de partícules i de la Física nuclear.

<b>Nombre de l'època i processos físics del temps</b>	<b>Temps passat des de la Gran Explosió</b>	<b>Temperatura</b>
Naixement de l'Espai-Temps clàssic.	$10^{-43}$ segons	$10^{32}$ °K.
Fase inflacionària.	$\approx 10^{-42}$ a $10^{-36}$ seg.	Variacions en intervals molt grans.
Naixement de la Matèria.	$10^{-36}$ seg.	$\approx 10^{29}$ °K
Naixement de l'excés bariònic.	$10^{-35}$ seg.	$\approx 10^{29}$ °K
Transició de fase electrodèbil.	$10^{-10}$ seg.	$\approx 10^{27}$ a $10^{16}$ °K
Confinament dels quarks.	$10^{-4}$ seg.	$\approx 10^{13}$ a $10^{12}$ °K
Nucleosíntesis primària.	1 a 200 segons.	$\approx 10^{10}$ a $10^9$ °K
Domini de la matèria fosca.	800 anys.	300 000 °K
Recombinació dels àtoms.	300 000 anys.	100 000 °K
Formació dels primers estels.	$300 \cdot 10^6$ anys.+	4000 a 5000 °K
Formació de les galàxies.	$10^9$ a $3 \cdot 10^9$ anys.	100 °K
Època actual. Es formen els cúmuls galàctics.	13 700 000 000 anys.	3 °K

*Taula 1. Principals èpoques de l'evolució de l'Univers.*



Làmina I. Big Bang relacionat amb el temps còsmic (En EEUU 1 bilió =  $10^9$ )

Entre els  $10^{-30}$  i els  $10^{-6}$  segons del Big Bang, l'Univers ja estava constituït de quarks i leptons lleugers. Després de  $10^{-6}$  segons els quarks es combinarien per formar els nucleons, els neutrons i protons. Després d'un segon i durant 3 minuts, els nucleons van formar els nuclis d'heli i els seus isòtops. La formació dels elements pesants en quantitats importants es produiria després d'alguns milions d'anys, durant els quals els estels massius van implotar sota l'efecte de la gravitació. Més endavant a través d'una gran transformació, van convertir l'energia gravitacional en energia nuclear i per reacció nuclear van realitzar la formació d'elements pesants ejectats en les explosions de Supernoves. El període de desacoblament dels fotons amb la matèria es va efectuar als 500 000 anys després del Big Bang i gràcies als fotons restants, fou possible detectar aquella explosió primordial.

Tots els fets relatats més amunt són coherents amb el Big Bang i amb l'anomenada teoria "Model estàndard", que comprèn les següents observacions :

- L'obscuritat nocturna. (La paradoxa d'Olbers). E. Harrison va resoldre aquesta paradoxa a partir de la vida finita dels estels.
- La Llei de Hubble. El decalatge espectral està en funció de la distància, tant en les galàxies pròximes, com amb les més llunyanes. En l'actualitat es disposa de dades molt precises.
- L'homogeneïtat. Dades fiables mostren que la nostra localització dins l'Univers, no té res de particular.
- Isotropia. Dades fiables revelen un Univers totalment isotrop.
- Dilatació temporal en les corbes de llum de les Supernoves llunyanes.
- El comptatge de les Radio fonts i dels quàsars en funció del seu flux. Elles mostren que l'Univers ha evolucionat.
- L'existència de la Radiació de Fons Cosmològic (RFC) de tipus cos negre. Això mostra que l'Univers ha sortit d'un estat isotèrmic dens.
- Variació de la temperatura del (RFC) en funció del decalatge vers el roig. (*Redshift*). Això permet una observació directa de l'evolució de l'Univers.
- Abundància del Deuterium,  $^3\text{He}$ ,  $^4\text{He}$  i  $^7\text{Li}$ . Aquests isòtops lleugers que són les reaccions produïdes en els tres primers minuts del Big Bang.
- El satèl·lit WMAP va permetre determinar amb precisió els paràmetres cosmològics essencials.

#### 4. L'ÈPOCA DELS QUASARS

Els quàsars s'identifiquen amb una classe de galàxies, molt llunyanes, amb nuclis extremadament actius. "Quàsar" és l'acrònim anglès de (*quasi-stellar radio source* - Fonts de radio quasi bé estel·lars-). Els quàsars tenen la particularitat de mostrar un decalatge cap el vermell molt alt, en el seu espectre (*Redshift*). La massa dels quàsars es de l'ordre de  $10^9$  masses solars i la seva lluminositat és de varis ordes més gran que la nostra Galàxia. Els primers quàsars van ser descoberts a mitjans dels anys 60, per l'astrònom Maarten Schmidt. Van ser els objectes més brillants i llunyans de l'Univers en aquella època.

Però de fet el seu estudi va començar amb la investigació experimental de les Lents gravitatòries extragalàctiques que començà l'any 1979. Quan els investigadors anglesos Walsh, Carswell i Weymann van anunciar el descobriment de l'anomenat quàsar doble (Q0957 + 561 A,B), que estaven separats en una distància de 6 segons. Aquests quàsars tenien un *redshift* ( $z \approx 1,4$ ), però amb un mateix espectre, ja que eren el mateix quàsar. De fet eren el miratge d'un mateix objecte. En la figura 2 s'observa una porció de l'espai altament deformada pels efectes gravitatoris d'una potent massa de matèria exòtica que és invisible per nosaltres. Es tracta d'un agregat de matèria fosca que té en llur centre un cúmul galàctic gegant.

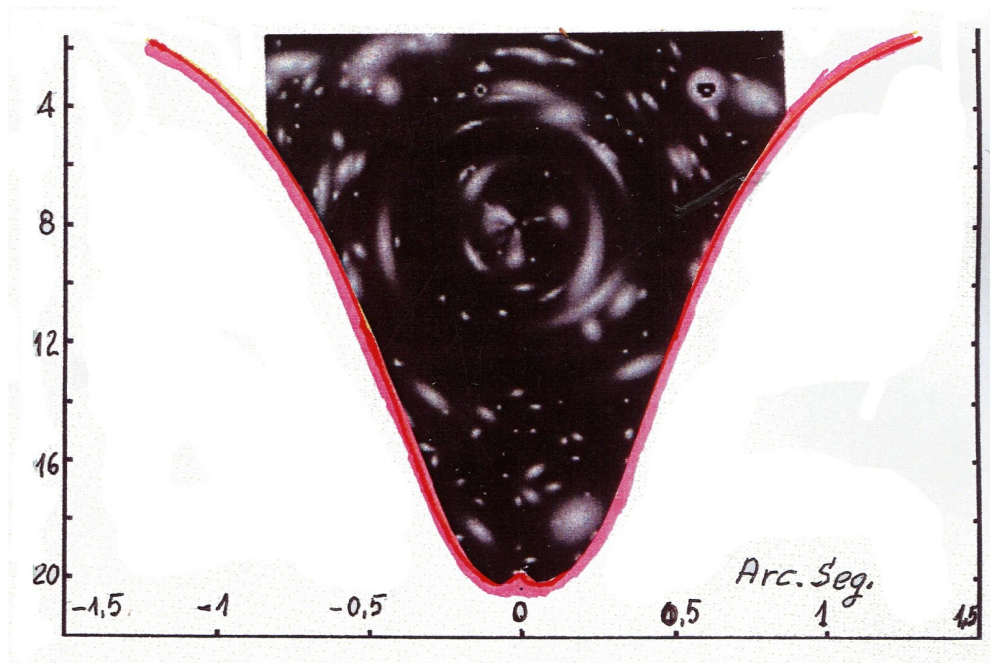


Figura 2. Agregat de matèria fosca

La font lluminosa que determina els “miratges gravitatoris” és bastant extensa i sol produir un fenomen prou singular: la imatge no es solament múltiple sinó que assumeix la forma d’un arc o anell lluminós, amb el centre en la posició de la massa deflactant N. Són cèlebres els arcs i anells gravitacionals d’Einstein. Abell 370 presenta un decalatge (*redshift*) molt pronunciat, això vol dir que la font deu trobar-se molt més distant que el nucli central N, uns 700 milions d’anys llum (figura 3a).

Actualment es coneixen més de 100 000 quàsars. I tots els espectres observats tenen un desplaçament cap el roig considerable, que va des de  $z = 0,06$  fins un màxim de  $z = 8,2$ . Per tant, tots els quàsars se situen a grans distàncies de la Terra, el més proper a 780 milions d’anys llum i el més llunyà a 13 000 milions d’anys llum. La majoria dels quàsars se situen a més de  $10^9$  km de distància.

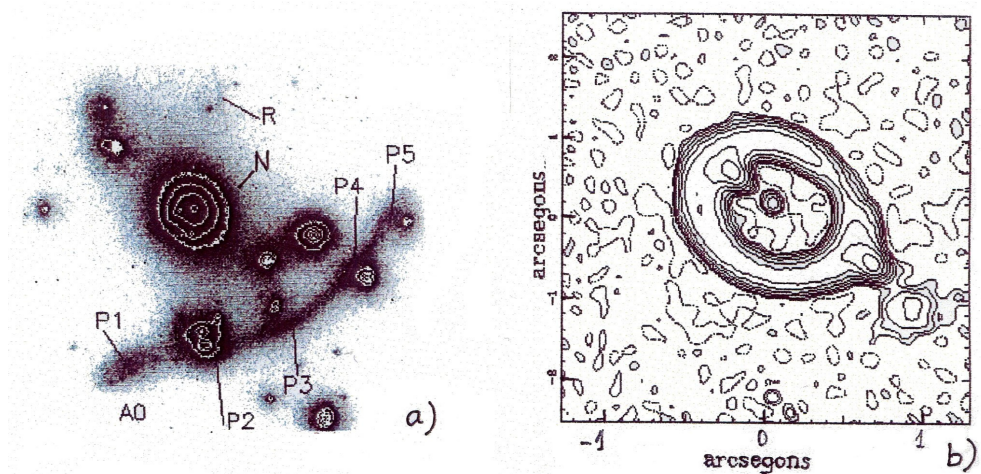


Figura 3. Cúmulo galàctic Abell 370. a) Arc gegant en Abell 370. b) Radio-mapa (8GHz) que mostra un anell d’Einstein en la galàxia M81121+0456

I com que la llum ha de trigar un temps molt llarg a recórrer tota aquesta distància, els quàsars que ara observem van existir fa molt de temps, per tant de fet el que ara observem és l’Univers com era en aquell passat distant.

La millor explicació per els quàsars és que estan alimentats per forats negres supermassius, ja que per crear una lluminositat de  $10^{40}$  Watts (la lluentor típica d’un quàsar), un forat negre supermassiu hauria de consumir la matèria equivalent a 10 estels com el Sol per any i els quàsars més brillants coneguts haurien de devorar 1000 masses solars de matèria per any.



La creença científica és que els quàsars s'encenen i s'apaguen depenen del seu entorn. Però es presenta una implicació i és que un quàsar no pot continuar alimentant-se a aquesta velocitat durant 10 000 milions d'anys. Això explicaria satisfactòriament perquè no hi ha quàsars propers. En aquest marc, després que un quàsar acabés de consumir el gas i la pols, es convertiria en una galàxia normal.

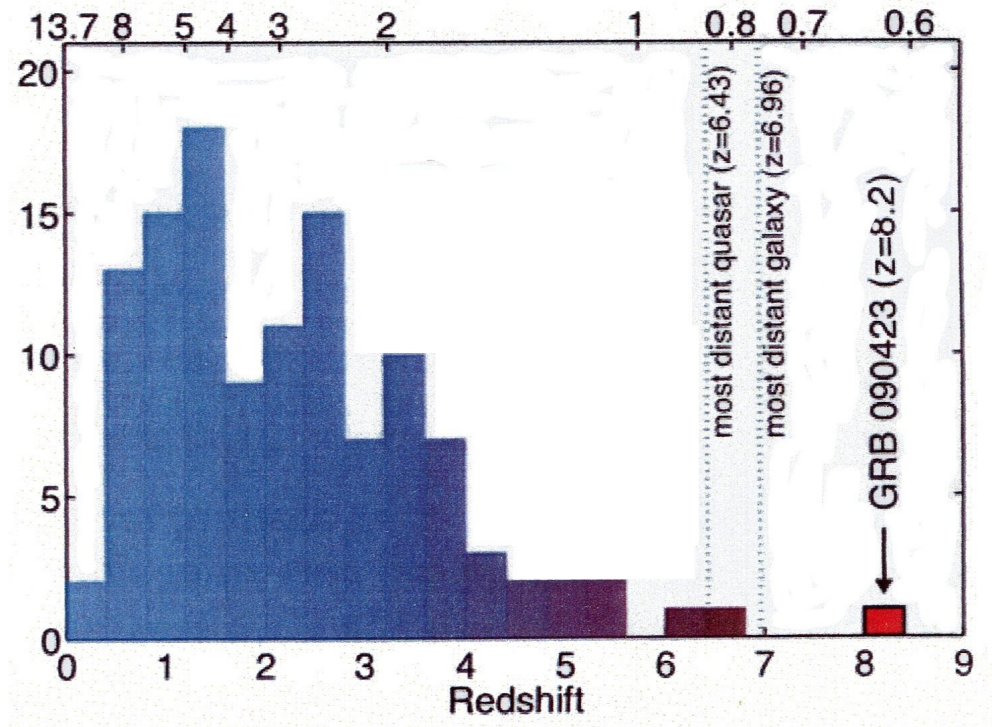


Figura 4. Edat de l'Univers en  $10^9$  anys (mils de milions d'anys).

Per fer-nos una idea de la quantitat d'energia que un quàsar, a escala reduïda produeix, imaginem que una galàxia té la grandària d'una habitació semblant a un cub de 6 metres d'aresta. Un quàsar no seria més gran que una espurna de pols a penes visible. I no obstant aquell quàsar produiria cent vegades més d'energia que la que irradien tots els mils de milions d'estrelles de la nostra Galàxia. A més aquell quàsar irradiaria tota aquesta energia durant uns 10 milions d'anys que significaria un total equivalent a convertir en energia pura cent milions de Sols.

## Jets relativistes

Són jets de plasma extremadament poderosos que emanen del centre d'algunes galàxies actives i quàsars. La seva extensió pot arribar a milers o centenars de milers d'anys llum<sup>1</sup>. Es pensa que el gir dels camps magnètics en el disc d'acreció col·lima l'efusió dels raigs al llarg de l'eix de rotació de l'objecte central, de manera que quan les condicions són favorables, un doll emergeix per cada costat del disc d'acreció.

Els mecanismes per la creació de dolls (*jets*) i la composició d'aquests, els quals se suposa que estan compostos per una barreja elèctricament neutre d'electrons, positrons i protons pel fet de que els quàsars poden ser observats en moltes zones de l'espectre electromagnètic com radiofreqüència, infrarojos, llum visible, ultraviolada, raigs X i fins i tot raigs gamma.

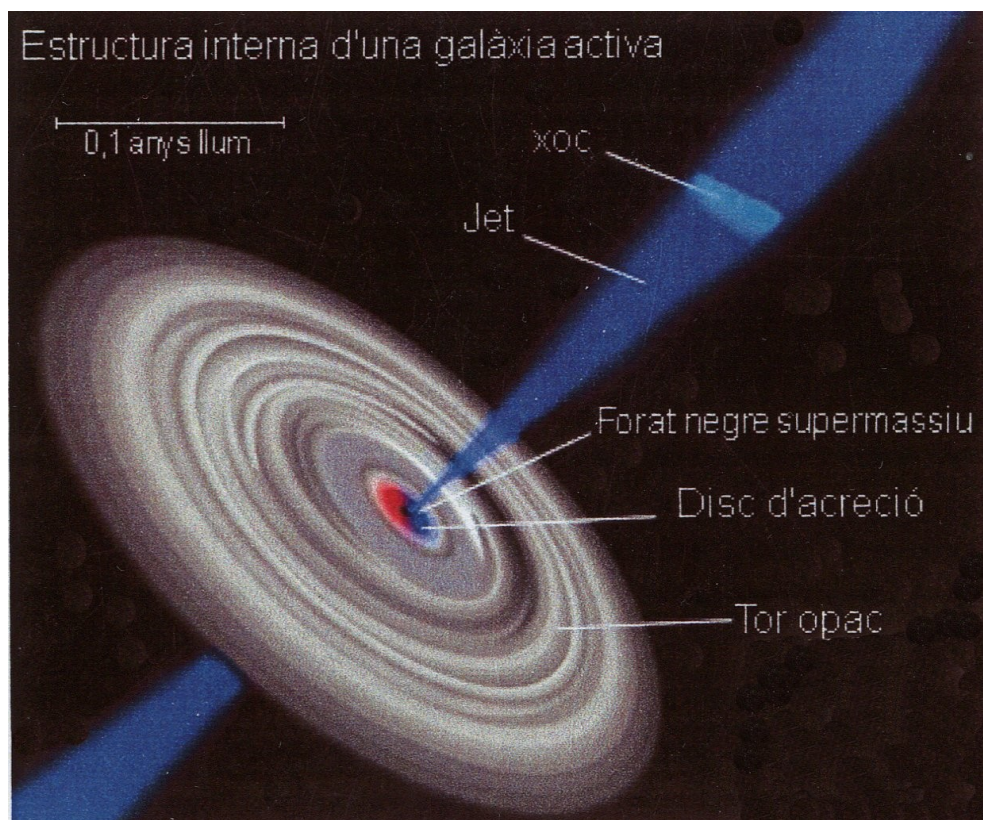


Figura 5. Estructura interna d'una galàxia activa.

<sup>1</sup> 1 Any llum =  $9,4 \cdot 10^{12}$  Km

Tenim el cas del quàsar hiperlluminós APM 08279+5255. Quan es va descobrir en 1998, tenia una magnitud absoluta de (-32,2), encara que les imatges d'alta resolució del telescopi espacial Hubble i el telescopi Keck van revelar que aquest sistema formava una lent gravitacional. De fet es tractava d'un objecte més lluminós que els quàsars més propers i en l'actualitat se l'hi dóna una magnitud absoluta de (-30,3) a causa de l'efecte de la lent gravitacional.

## 5. LENTILLA GRAVITACIONAL

En astrofísica, una lentilla gravitacional és un objecte còsmic molt massiu (un cúmulo de galàxies, per exemple) que situat entre un observador i una font lluminosa molt llunyana, produeix una curvatura local de l'espai-temps, la qual provoca un efecte de deflexió dels raigs lluminosos.

D'acord amb la Teoria d'Einstein en la Relativitat General, l'acció de la gravetat entre la matèria i l'energia, inclou també la llum amb la seva vesant ondulatoria. Els raigs de llum que vénen d'un estel llunyà i que passa a la vora d'un objecte còsmic extremadament pesant, el seu camí quedarà desviat per l'efecte gravitatori i llavors l'estel apareixerà en una posició diferent en el cel.

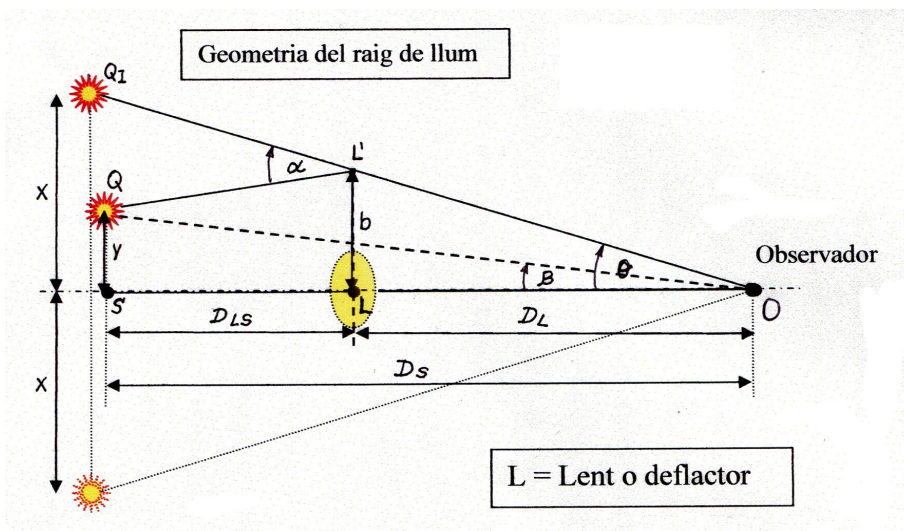


Figura 6. Aplicació de la teoria de l'efecte de lent gravitacional

La curvatura de la llum solar per l'efecte gravitacional, fou una de les proves que va utilitzar Einstein per verificar la seva teoria. Fou durant l'eclipsi solar de 1919, amb l'expedició feta per Sir Arthur Eddington, on es va demostrar. D'acord amb ella

tota llum que passa a una distància (b) de la massa M (del punt L) es veurà amb un angle ( $\alpha$ ) que en radians valdrà:

$$\alpha = \frac{4 G M}{b c^2} = \frac{2 R_S}{b} \quad (1)$$

On  $R_S$  és el radi d'Schwarzschild igual a ( $2 G \cdot M / c^2$ ), que correspon a (3 Km) per un estel de la massa del Sol.

Objectes	Masses solars	Radi (km)	Velocitat d'escapament (km/s)	Radi de Schwarzschild
Terra	0,00000304	6357	11,3	9,0 mm
Sol	1	696 000	617	2,95 km
Enana blanca	0,8	10 000	5 000	2,4 km
Estrella de neutrons	2	8	250 000	5,9 km
Núcli d'una galàxia	50 000 000	Via Làctia 1,12 e <sup>17</sup>	?	147 500 000 km

Taula 2. Radi de Schwarzschild per alguns objectes del cosmos

### El cas del radi d'Einstein

En el cas especial que la font S estigui darrere de la lent o deflector ( $\beta = 0$  en la figura 6), i degut a la simetria, es forma un anell el radi del qual és anomenat Radi d'Einstein  $\theta_E$ .

$$\theta_E = \left[ \left( \frac{4 G M}{c^2} \right) \cdot \left( \frac{D_{LS}}{D_L \cdot D_S} \right) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

On:

- G = Constant Newtoniana gravitacional.
- M = Massa de la lentilla gravitacional.
- $D_L$  = Distància de l'observador fins la lentilla.
- c = Velocitat de la llum
- $D_S$  = Distància de l'observador fins a la font.
- $D_{LS}$  = Distància entre la lentilla i la font S.

En el cas que la font S i la massa del deflector M estigui en línia ( $\beta = 0$ ), llavors podem observar arcs circulars al voltant de la massa del deflector (figura 6). És possible mesurar el radi d'aquest cercle i si les distàncies són conegudes és també possible calcular llur massa aproximada.

### Angle de desviament característic ( $\alpha_0$ ) i la posició ( $\theta$ ) de la lent

En observar el triangle OSQ (figura 6), es dedueix:

$$\theta = \frac{\sin(180 - \alpha)}{D_S} = \frac{\sin(\theta - \beta)}{D_{LS}} \quad (3)$$

I es verifica,  $\sin(180 - \alpha) = \sin \alpha$

Per angles més petits, aproximarem el sinus al seu angle, i així deduirem:

$$\beta = \theta \cdot \left( \frac{D_{LS}}{D_S} \right) \cdot \alpha \quad (4)$$

Per la geometria del problema,  $\tan \theta \approx \theta$ , i tenint en compte que  $\theta$  és molt petit farem  $\theta \approx \tan \theta$ , i substituint  $\alpha = D_L \cdot \theta$  en la relació anterior i en la relació calculada per  $\alpha$  prèviament, obtindrem:

$$\beta = \theta - \left( \frac{4 G M}{c^2} \right) \cdot \left( \frac{D_{LS}}{D_L \cdot D_S} \right) \cdot \left( \frac{1}{\theta} \right) \quad (5)$$

Finalment introduint l'angle característic del desviament ( $\alpha_0$ ), com un valor que només depèn de la massa del deflector i de les distàncies a la font i al deflector  $\alpha_0$  (eq. 2), llavors deduirem:

$$\theta = \frac{1}{2} \cdot (\beta \pm \sqrt{4 \alpha^2 + \beta}) \quad (6)$$

Així doncs, per a cada  $\beta$  pot haver-hi més d'un  $\theta$ .

Resumint,  $\theta$  dona la posició de la lent, la qual depèn de la posició de la font S,  $\beta$  i  $\alpha_0$ .

El mètode de la corba de llum amb lents gravitatòries és llarg i laboriós. És difícil trobar candidats que compleixin les característiques necessàries de la brillantor de les imatges i que aquestes no estiguin massa properes entre si. Per aquesta raó en particular no permeten mesurar distàncies de qualsevol galàxia, sinó només a aquelles a què estan sotmeses a l'efecte de lent gravitacional.

Però des que s'ha descobert que l'Univers actual està accelerat, aquesta dependència de  $H_0$  amb el temps ens permet determinar el Model Cosmològic que més s'ajusta al nostre Univers real. Actualment combinant les observacions de Supernoves distants i la radiació còsmica del fons de microones i de la distribució de matèria en l'Univers, podem calcular molt millor la Constant  $H_0$  (veure làmina 1).

### Llei de Hubble

Aquesta llei estableix la proporció entre la distància  $D$  en la qual es troba la galàxia observada.

$$z = \frac{\lambda_{obs} - \lambda_{lab}}{\lambda_{lab}} \quad (7)$$

$\lambda_{obs}$  = longitud d'ona de la ratlla espectral observada en l'objectiu.

$\lambda_{lab}$  = longitud d'ona de la ratlla en estat normal, en el laboratori.

$$\frac{\lambda_0}{\lambda_1} - 1 = \frac{1 + \frac{v}{c}}{\left(1 - \frac{v}{c}\right)^{\frac{1}{2}}} - 1 \approx \frac{v}{c} \quad (8)$$

Decalatge cap el roig:

$$z = \frac{H_0 \cdot D}{c} \quad (9)$$

$H_0$  = Const. De Hubble en l' instant de l'observació.

$D$  = Distància actual de la galàxia observada en megaparsecs (Mpc).

$c$  = Velocitat de la llum.

Es dedueix:

$$H_0 = \frac{c \cdot z}{D} \quad (10)$$

que es correspon amb l'expansió actual de l'Univers. En l'actualitat, els científics han adoptat com a valor general de la Constant de Hubble:

$$H_0 = 65 \pm 8 \text{ km/seg/Mpc.}$$

## 6. TEORIA QUÀNTICA DE CAMPS (TQC)

Amb la Mecànica quàntica va quedar definida la relació existent entre partícules atòmiques i llurs camps d'influència. D'acord amb la teoria la radiació electromagnètica es genera i s'absorbeix per porcions discretes: els quants o fotons, els quals, a l'igual que les partícules tindran una determinada energia ( $E$ ) i un impuls ( $p$ ):

$$E = h \cdot \nu \quad i \quad p = \frac{h}{\lambda} \quad (11)$$

$\nu$  = freqüència

$\lambda$  = longitud d'ona de la radiació.

$h$  = Constant de Planck ( $6,62 \cdot 10^{-34}$  J·s)

Al passar a la mecànica quàntica les oscil·lacions col·lectives es quantifiquen i els quants resultants poden ésser considerats com partícules que posseeixen, igual que les ones, energia i impuls i per tant també posseiran una certa massa. La TQC necessàriament deu ser una teoria relativista que estableix l'enllaç entre l'energia  $E$ , l'impuls ( $p$ ) i la massa ( $m$ ) de la partícula:

$$E^2 = (m \cdot c)^2 + (p \cdot c)^2 \quad (12)$$

L'energia mínima (energia en repòs) necessària per la formació d'una partícula amb massa és igual a ( $m \cdot c^2$ ). I amb això queda clar que les úniques partícules que poden desplaçar-se a la velocitat de la llum són les que no tenen massa, així si la massa en repòs d'una partícula és zero, com la del fotó, aquesta es mourà sempre a

la velocitat de la llum. De fet totes les partícules subatòmiques poden classificar-se segons la seva massa en repòs sigui aquesta zero o no.

La possibilitat, bastant real, que el nombre bariònic no es conservi, ens ve de les teories cosmològiques actuals. Podem suposar que si l'Univers hagués començat amb quantitats iguals de matèria i antimatèria, en conseqüència tindria un nombre igual de barions i antibarions. Així amb aquesta hipòtesi l'Univers hauria començat amb un nombre bariònic ( $N_B$ ) igual a zero. I si aquest  $N_B$  es conserva, deuria seguir essent zero. Per tant en aquell Univers quasi tots els protons i neutrons s'haurien aniquilat en col·lisions amb antiprotons i antineutrons i avui contindria només que un tènue brou de protons i neutrins, sense estels ni planetes ni científics caps-quadrats.

Però sobre aquest punt cal dir que existeix la possibilitat que l'Univers comencés ja amb un excés de matèria sobre l'antimatèria, de tal forma que alguna cosa quedaria després de l'aniquilació entre partícules i antipartícules.

## 7. ARA ESTEM DAVANT D'UNA FUTURA FÍSICA NOVA

LHC són tres lletres que evolucionaran la nostra visió del que ens envolta. *Large Hadron Collider* (El gran col·lisionador d'hadrons del CERN, Ginebra).

Els científics han iniciat una boja cursa per descobrir, de primer antuvi, el famós bosó de Higgs o la partícula encarregada de donar massa a totes les altres, que els físics estan empaitant fa més de 40 anys. I a més amb aquest pas els busca-raons compten també resoldre una sèrie d'enigmes que es resisteixen encara amb els seus models:

- Quina és la natura de la vida?
- Perquè la antimatèria quasi ha desaparegut del nostre Univers?
- Quines són les partícules, de la matèria fosca, que constitueixen el 80 % de tot l'Univers ?

El Model Standard es basa en tres pilars fonamentals: el decaïment cap el roig, la radiació còsmica de fons i la abundància dels elements lleugers.

Mes enllà, tot el món espera percebre els primers signes d'una nova Física que aclareixi les incògnites que resten, però els físics de la nostra època no s'enganyen pas. D'una banda saben que disposen actualment, d'acord amb el Model Standard, d'un conjunt teòric d'una precisió excepcional per descriure la matèria, però a la vegada també saben que el seu Model no és perfecte.

Tot va començar quan els científics americans Steven Weinberg i Abdus Salam



(tots dos premis Nobel), van comprendre que el famós bosó de Higgs podia ser la clau de la Teoria electrofeble.

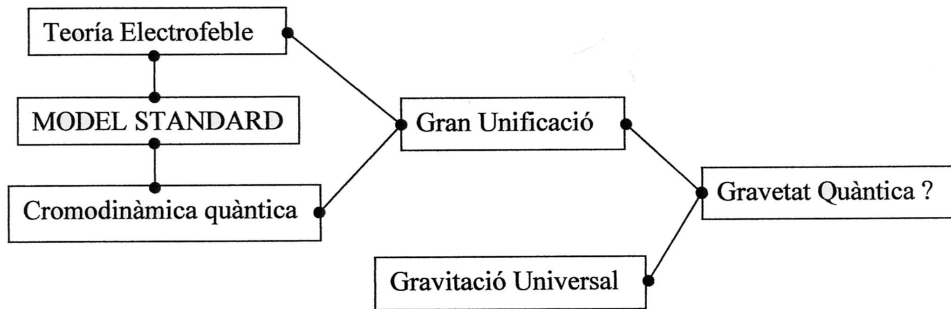


Figura 7. Esquema de la teoria Electrofeble

L'esquema ens presenta un model de comportament en el qual la unificació electrofeble és un procés que permet fer als físics un pas més vers la teoria última, segons la qual totes aquestes entitats serien l'emanació d'una única interacció que avui en dia encara és desconeguda: La gravetat quàntica.

Seguint als primers es va presentar una *entente cordiale* entre els científics: Robert Brout, François Englert i l'escocès Peter Higgs (aquest últim gran matemàtic), que van aportar una pedra més a l'edifici del Model Standard. La nova partícula efectivament completava la nova teoria dels primers: La Gran Unificació Electrofeble.

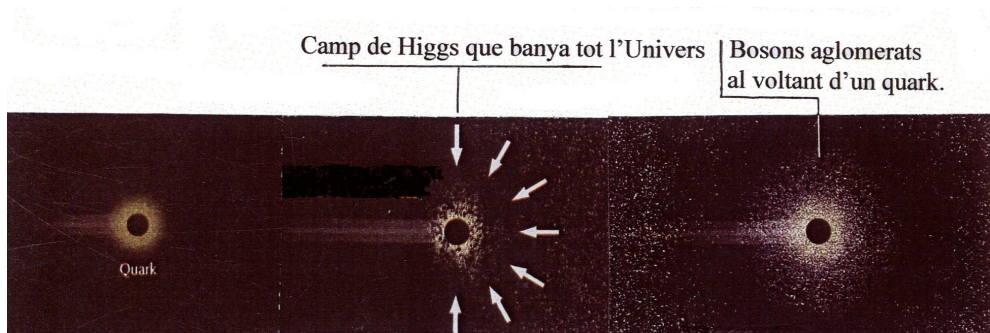


Figura 8. Com els bosons de Higgs donen llur massa a les partícules.

Amb ella, no solament es resolen les incoherències lligades amb el fet que els bosons  $W^+$ ,  $W^-$  i  $Z$  tinguin una massa, ja que de fet és aquest procés el que li dona la massa.

En primer lloc la partícula isolada no té massa (figura 8). Quan el quark entra en el camp de Higgs els bosons s'aglutinen al seu voltant provocant que el seu desplaçament quedi frenat i llavors la partícula absorbeix massa. Com més la partícula concentra bosons al seu voltant, més massa adquireix.

## 8. LA PEDRA ÚLTIMA DE L'EDIFICI DEL MODEL STANDARD

Com podem veure sobre el paper el bosó de Higgs podria ser la clau del Model Standard, però - què és el bosó de Higgs?

És la partícula elemental que transporta la força d'ancoratge de la massa en el camp de Higgs (cal tenir en compte que un camp d'influència té un valor precís en tots els punts de l'espai-temps). Per comprendre la teoria anem a fer ara una metàfora sobre aquest tema.

Imaginem una sala de recepcions plena de convidats que estan esperant que el funcionari de torn els assabenti d'unes qüestions econòmiques. Com que el funcionari es retarda, els organitzadors, per evitar que la gent marxi, introdueixen en la sala un *buffet* ple de *delicatesen* i de begudes d'alta qualitat. Llavors tots els convidats s'aglutinen al voltant del bufet i quan veuen que els articles són de bona qualitat, encara s'hi acosten més. Amb les partícules quàntiques deu passar una cosa semblant, l'aglutinació serà més o menys massiva si el nombre de bosons augmenta al voltant del quark.

De fet el Model Standard preveu l'existència del bosó de Higgs i aquest resulta que s'amaga encara dins els racons de l'espai-temps. Es per això que ara tots els científics estan pendents que aquesta partícula es digni manifestar-se en aquest super-accelerator que és la catedral de les partícules físiques. Segons els tècnics llur captura sembla imminent.

Si partim que en l'actualitat es coneixen la mesura de moltes altres partícules, els físics poden aproximar les mesures a partir dels descobriments més recents.

Resultat obtingut: el valor d'aquesta partícula estarà entre un màxim de 144 Gev fins un mínim de 114 Gev<sup>2</sup>.

En l'última entrevista que se li ha fet al físic Steven Weinberg, ha dit el següent:

*... Suposant que LHC no trobi el bosó de Higgs, segur que trobarà un altre enginy que acompleixi la mateixa funció. Ara cal reconèixer que si no es troba una partícula nova, la teoria actual, tal com està, adoloriria d'inconsistències matemàtiques ...*

---

2 Gev = Giga-electróns-volts.

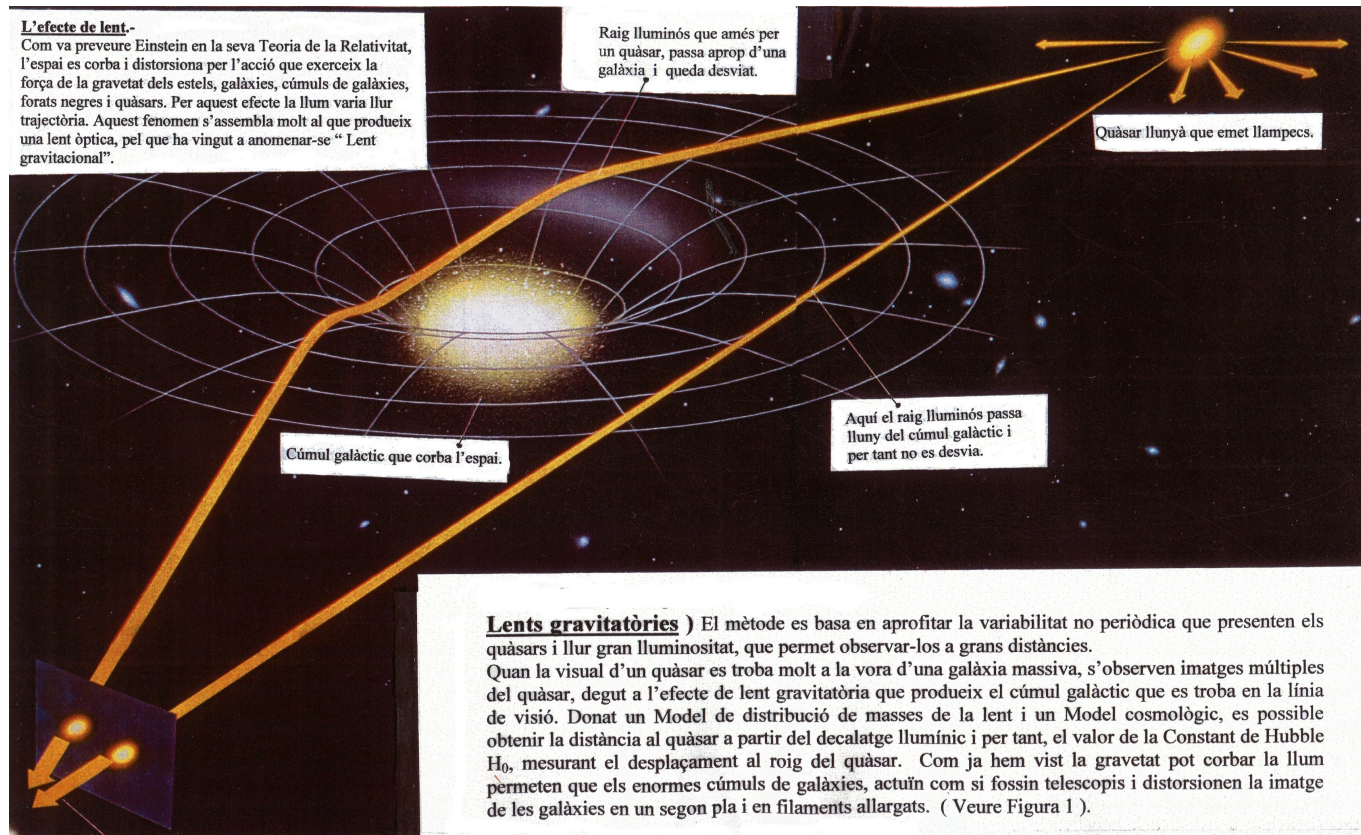
## BIBLIOGRAFIA

- PAGELS, H.R. (1988). *La búsqueda del principio del tiempo*.- Edit. Bosch.- Barcelona.
- WEINBERG, STEVEN (1993). *Los tres primeros minutos del Universo*. Alianza Editorial. Barcelona.
- ELBAZ EDGARD (1992). *Cosmologie*. Edit. Ellipses. Paris.
- PETIT, A. (1995). Les grans eres de la formació del nostre Univers. *Butll. Centre Est. de la Natura del Barcelonès Nord*. Vol. III (2). Santa Coloma de Gramenet.
- SPARKE, LINDA S ( 2000). *Galaxies in the Universe*. Cambridge University Press.
- PENROSE, ROGER (2007). *El camino a la realidad*. Ed. Debate. Barcelona.
- HAWKING, S. & L. MLODINOW. (2010). *El gran disseny*. Ed. Columna. Barcelona.
- ACZEL, AMIR B. (2011). Entrevista con Steven Weinberg. *Revista Investigación y Ciencia*, núm. 412 (gener).

The Cosmos (1994). TIME/LIFE. *Ediciones Folio SA*. Barcelona.

## INTERNET

- Llentilla gravitacional (francès): [http:// fr. Wikipedia. Org/wiki/Llentilla-gravitationnelle](http://fr.Wikipedia.Org/wiki/Llentilla-gravitationnelle)
- Quasar (català):[http:// ca. Wikipedia. Org./wiki/Qu%C3%A0sar](http://ca.Wikipedia.Org/wiki/Qu%C3%A0sar)



Làmina 1.