

**5**

**2019**

ASTRONOMIA

FISICA

ASTROFISICA

COSMOLOGIA

AS SIMPLE AS POSSIBLE,  
BUT NOT SIMPLER ...  
A EINSTEIN

# PARADOJA DE OLBERS

SI : UNIVERSO INFINITO (EN ESPACIO Y TIEMPO)



CADA LINEA DE MIRA (DE VISION) TERMINARIA  
EN LA SUPERFICIE DE UNA ESTRELLA



POR QUÉ EL CIELO NOCTURNO  
ES OSCURO?

WILHELM OLBERS (1826) DIXIT





SOLUCION : EL UNIVERSO  
NO ES ETERNO



\* COMENZO → BIG BANG  
(~ 15.000.000.000 AÑOS ATRAS)  
[13.700.000.000 AÑOS]

\* LUZ NO LLENA EL UNIVERSO  
PORQUE NO TUVO TIEMPO

● ADEMÁS : EL UNIVERSO SI CAMBIA

SE EXPANDE !

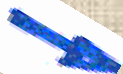
(COMO ESPACIO-TIEMPO)

— LAS GALAXIAS SE SEPARAN ENTRE SI



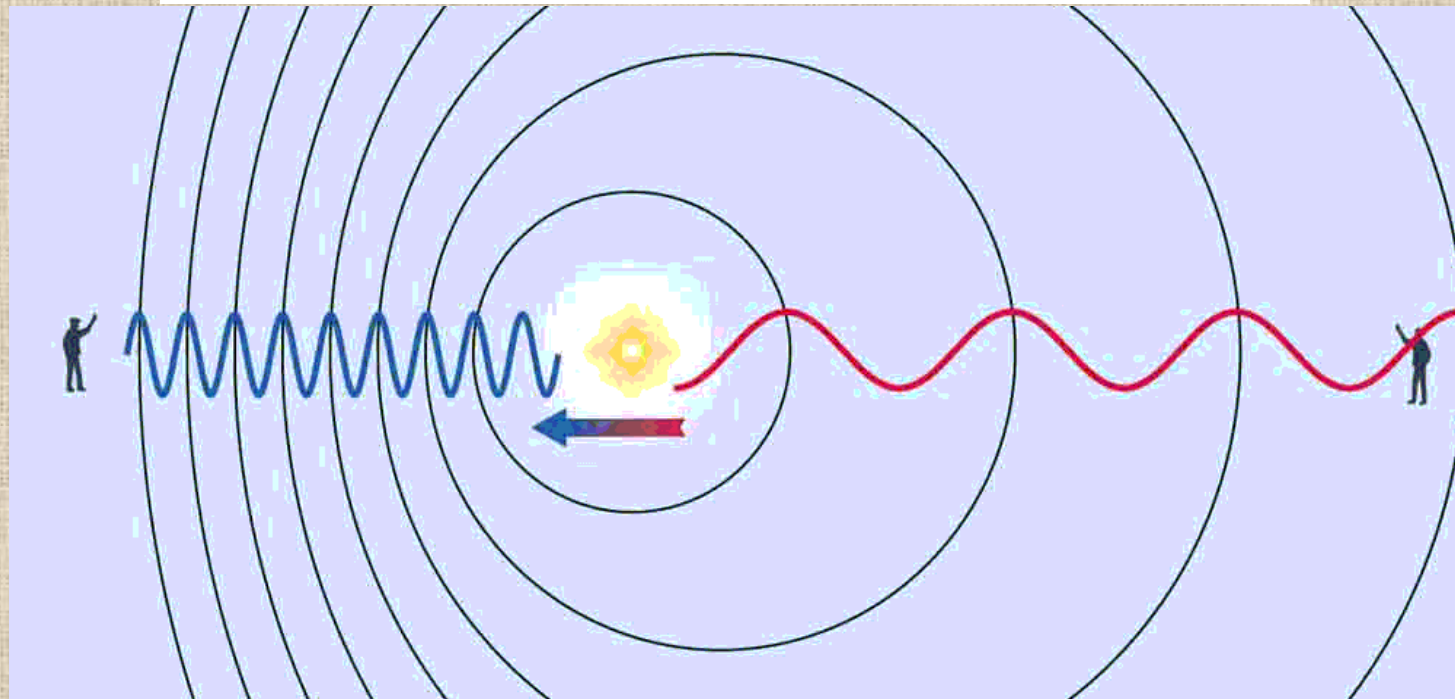
CORRIMIENTO AL ROJO (DOPPLER)

DE LA LUZ DISTANTE (  $\omega$  DISMINUYE )



DISMINUYE EN EL VISIBLE

● IMPORTANCIA EFECTO DOPPLER!



ENTRE LAS GALAXIAS SE DETECTA  
LA RADIACION DE FONDO DE MICROONDAS  
 $\sim T = \underline{2.7^\circ K}$

# SIGLO XX

\* DESARROLLO IMPRESIONANTE DE  
LAS FRONTERAS DEL CONOCIMIENTO CIENTÍFICO

● RELATIVIDAD  
(EINSTEIN)



CAMBIO TOTAL Y PERMANENTE  
DE NUESTRA VISION DE:

ESPACIO - TIEMPO - GRAVITACION

● MECANICA CUANTICA



CAMBIO EL LENGUAJE  
PARA DESCRIBIR LA NATURDEZA

~~PARTICULAS~~  
( $\vec{r}, \vec{v}$ )



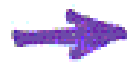
FUNCION DE ONDA  
PROBABILIDADES



● RELATIVIDAD

+

● MECANICA CUANTICA



LA MATEMA PERDIO

su PAPEL PROTAGONICO

$E=mc^2$  - ANTIPARTICULAS



PRINCIPIOS DE SIMETRIA

(LOS PROTAGONISTAS)

ESTUDIO DEL COSMOS



# GRAVITACION

## ESTRUCTURA DEL COSMOS

# \* COSMOS ≡ UNIVENSO \*

— TOTALIDAD DE LO QUE EXISTIO Y EXISTIRÁ —

ESTUDIO DEL COSMOS

● ASTRONOMIA:



(USANDO CONCEPTOS Y LEYES DE LA FISICA)

\* ASTRONOMIA : CIENCIA \*

● ASTROLOGIA : PSEUDOCIENCIA

UNIVERSO



**“En lo que a mi concierne, no sé nada con certeza,  
pero mirar las estrellas me hace soñar...”**

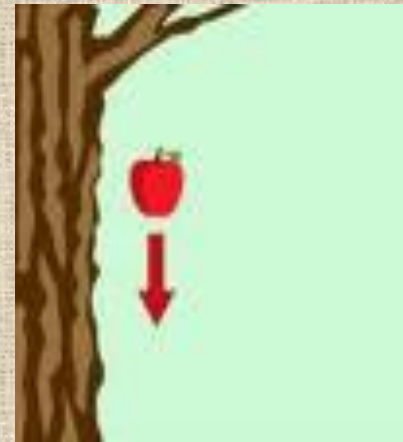
**Vincent Van Gogh**

# \* UNIVERSO \*

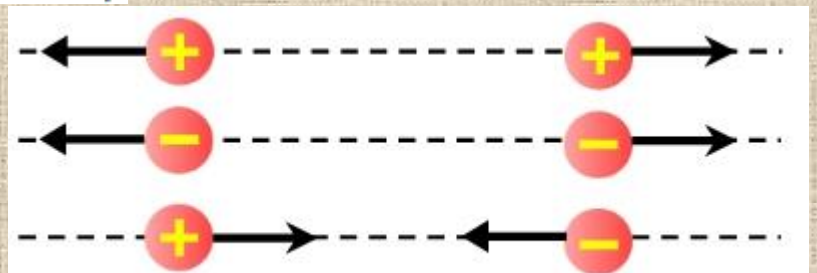
- COSMOLOGICA Y ASTRONOMICAMENTE MANEJADO POR LA GRAVEDAD

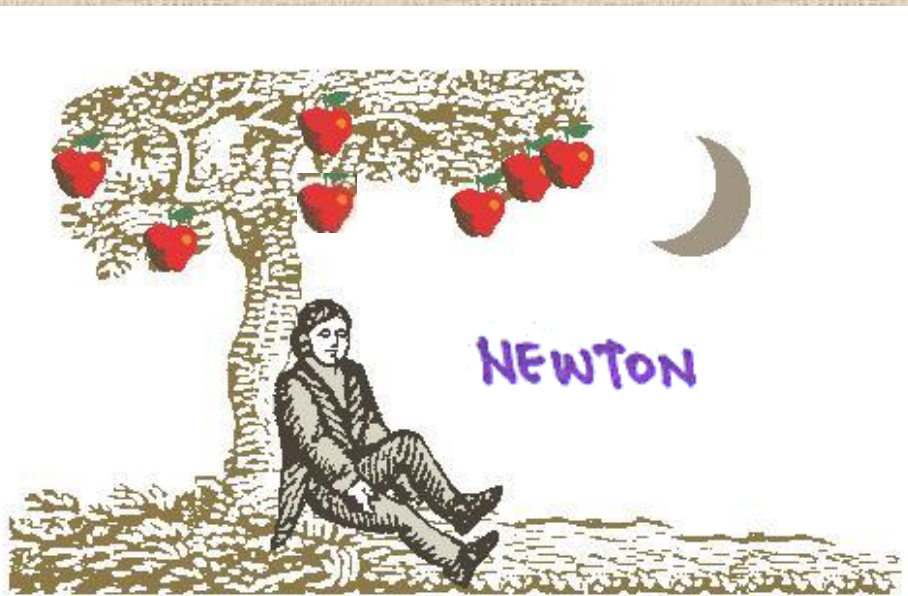
(FUERZA)

GRAVEDAD: ALCANCE INFINITO  
SOLO ATRACTIVA  
(MUY DEBIL A NIVEL PARTICULAR)



[ ELECTROMAGNETISMO: ATRACCION Y REPULSION ]  
(PROMEDIA A CERO PARA GRANDES NUMEROS DE PARTICULAS)





La manzana CAE...  
La luna CAE...  
La tierra CAE...

$$F_{\text{Grav}} = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$



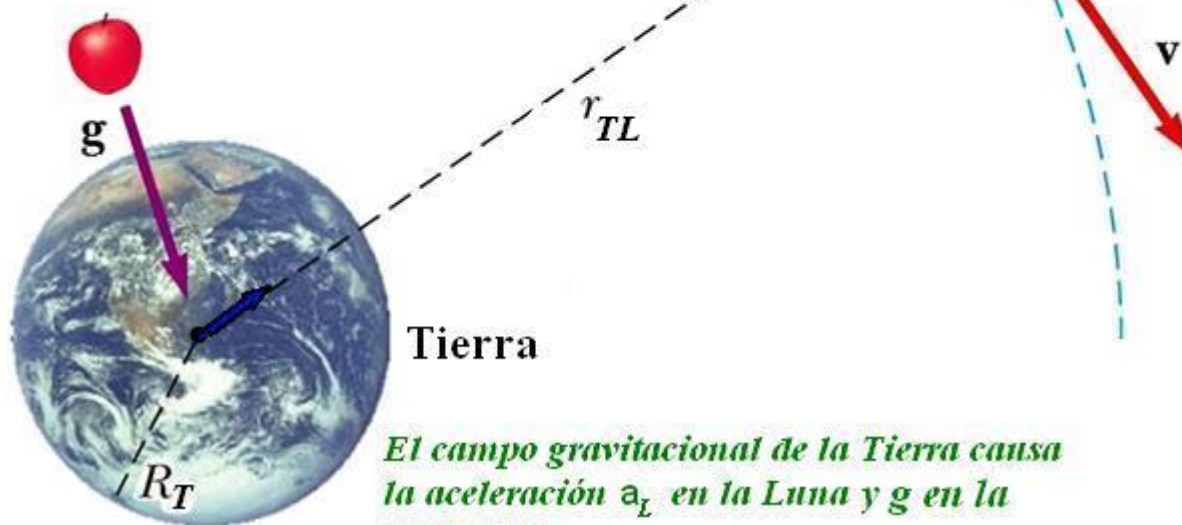
$$G = 6,67 \times 10^{-8} \text{ DINA} \cdot \text{CM}^2 / \text{g}^2$$



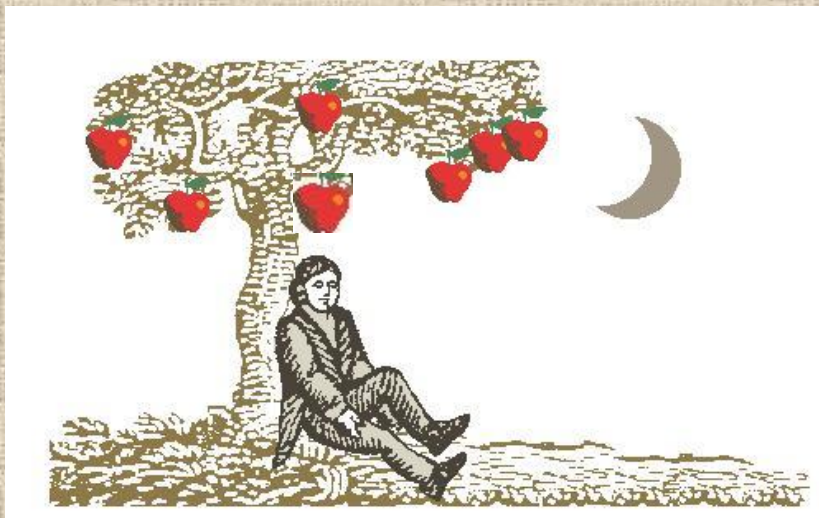


## Ley de Gravitacion Universal de Newton

$$F_G = \frac{G m_T m_L}{r_{TL}^2}$$



*El campo gravitacional de la Tierra causa la aceleración  $a_L$  en la Luna y  $g$  en la manzana.*



$$F_{\text{grav}} = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

$$G = 6,67 \times 10^{-8} \text{ DINA} \cdot \text{cm}^2 / \text{g}^2$$



NEWTON :

$$\vec{F} = m \vec{a}$$

→ : VECTOR

si

$$F = F_{\text{GRAV}} = G \frac{m' m}{r^2}$$

$a$

$$a = \underline{g}$$

$$g_T = 9,8 \frac{\text{metros}}{(\text{segundo})^2}$$

ACELERACIÓN DE LA GRAVEDAD



PESO = FUERZA

$$\vec{P} = m \vec{g}$$

\* PESO = MASA x ACELERACIÓN DE LA GRAVEDAD \*

• NEWTON (1642-1727) : "LEINO" POR SIGLO!

• EINSTEIN (1916) : RELATIVIDAD GENERAL

\* GRAVEDAD ↔ "EJERCI" DEL ESPACIO \*  
↓

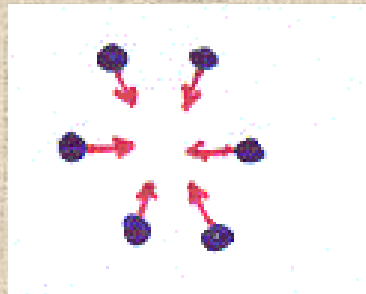
GRAVEDAD → ATRACCION → TODO EL UNIVERSO  
SE UNIFICA EN UN  
UNICO LUGAR ?

~ 1920 : UNIVERSO NO SE CONTRAHE (NI EXPANDE)  
" EN ESTADO ESTACIONARIO "



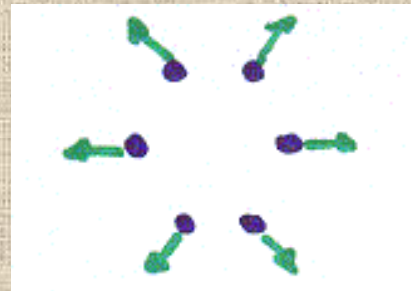
EINSTEIN AGREGO A SUS ECUACIONES LA  
"CONSTANTE COSMOLÓGICA"

(HIPOTÉTICO CAMPO DE ENERGÍA DE CARÁCTER REPULSIVO)

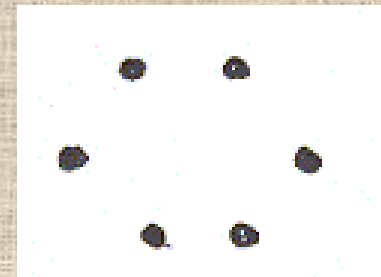


GRAVEDAD

+



CONSTANTE COSMOLÓGICA



FUERZA NETA = 0

SOLO PARA CONTRABALANZAR LA ATRACCIÓN GRAVITATORIA  
Y MANTENER AL UNIVERSO ESTÁTICO

(CONSTANTE  $\rightarrow$  UNIFORME EN TODO EL COSMOS)

1929: HUBBLE → EVIDENCIA DE LA  
EXPANSION DEL UNIVERSO

(HACIA  $-t$ ) ⇒ COMPRESION



BIG BANG

(Hacia  $-t$ )  $\Rightarrow$  COMPRESSION

$\leftarrow$  N O I S N A P X E

\* COMIENZO DEL UNIVERSO \*

HACE 13.700.000.000 AÑOS

COMENZO LA EXPANSION A PARTIR DE UN ESTADO  
DE ALTISIMA DENSIDAD Y TEMPERATURA

$\uparrow$   
= BIG BANG =

EXPANSION  $\Rightarrow$  EINSTEIN: "ME EQUIVOQUE"



# DIG BANG

"EXPLOSION" A PARTIR DE UN PUNTO Y UN INSTANTE

EXPANSION

(DEFINITIVAMENTE NO EXISTIA ESPACIO NI TIEMPO)

EN ALGUN MOMENTO (MUY POSTERIOR) : ESTRELLAS !

DIG BANG AUN HOY ACTUANDO !

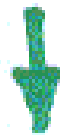
LA EXPANSION CONTINUA (Y SE ACELERA !)

EXPANSION → EINSTEIN: "ME EQUIVOQUÉ"



ELIMINAR LA CONSTANTE COSMOLÓGICA

WMAP (2000 →): EXPANSION ACELERADA!



\* CONSTANTE COSMOLÓGICA VOLVÉ! \*

( ENERGÍA OSCURA )

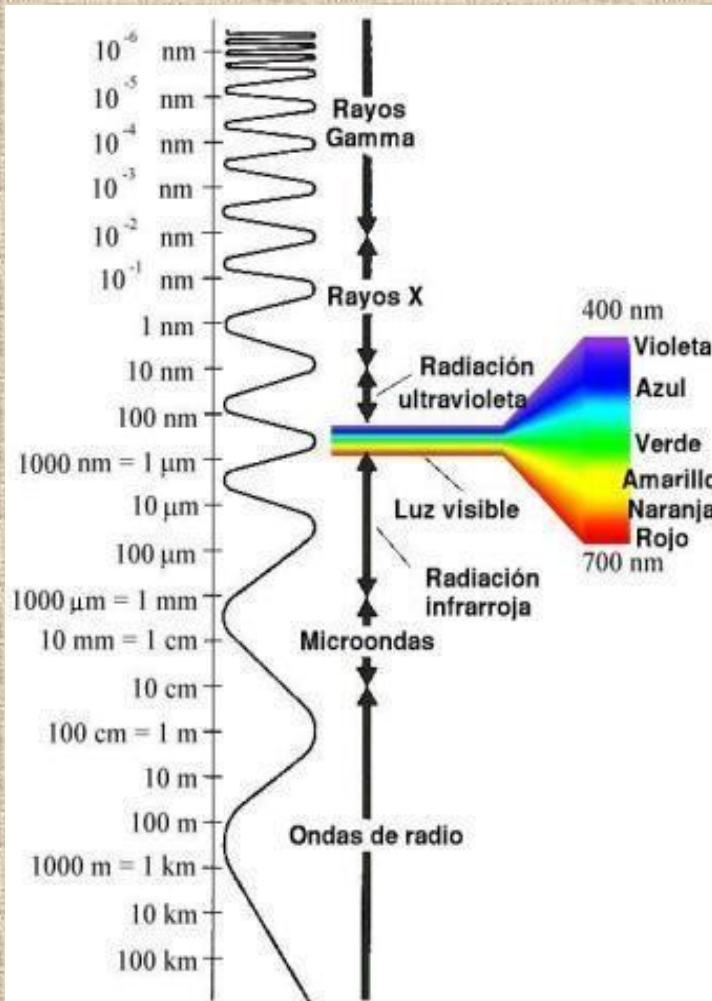
- CONEXION CON EL COSMOS:

- NUESTROS ATOMOS SE "COCINAN" EN ESTRELLAS DISTANTES!

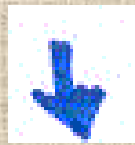


- ESTAMOS HECHOS DE POLVO DE ESTRELLAS!

# \* CONEXION CON EL COSMOS : LUZ



(OTRAS FORMAS DE RADIACION)



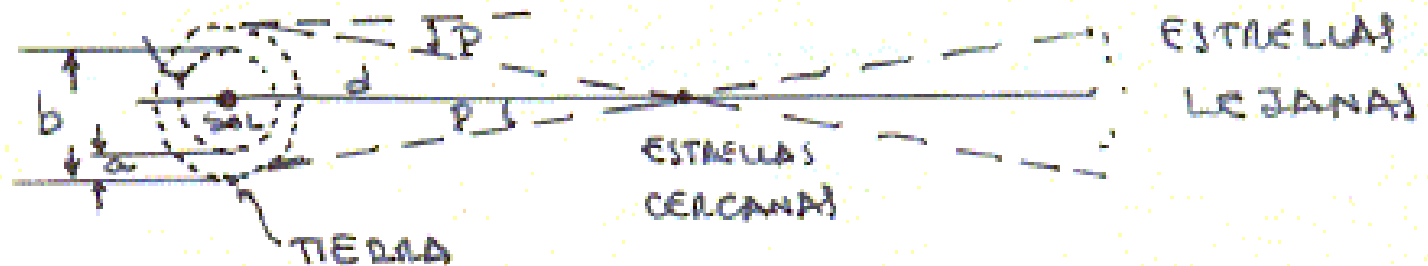
## IMPORTANCIA DEL ELECTROMAGNETISMO

VELOCIDAD DE LA LUZ :  $C = 299.792.458 \frac{m}{s}$   
(VACIO)

(EN 1 SEGUNDO : 7,5 VUELTAS A LA TIERRA)

# DISTANCIAS

## UNIDAD ASTRONOMICA



a: MENOR DISTANCIA  
b: MAYOR DISTANCIA

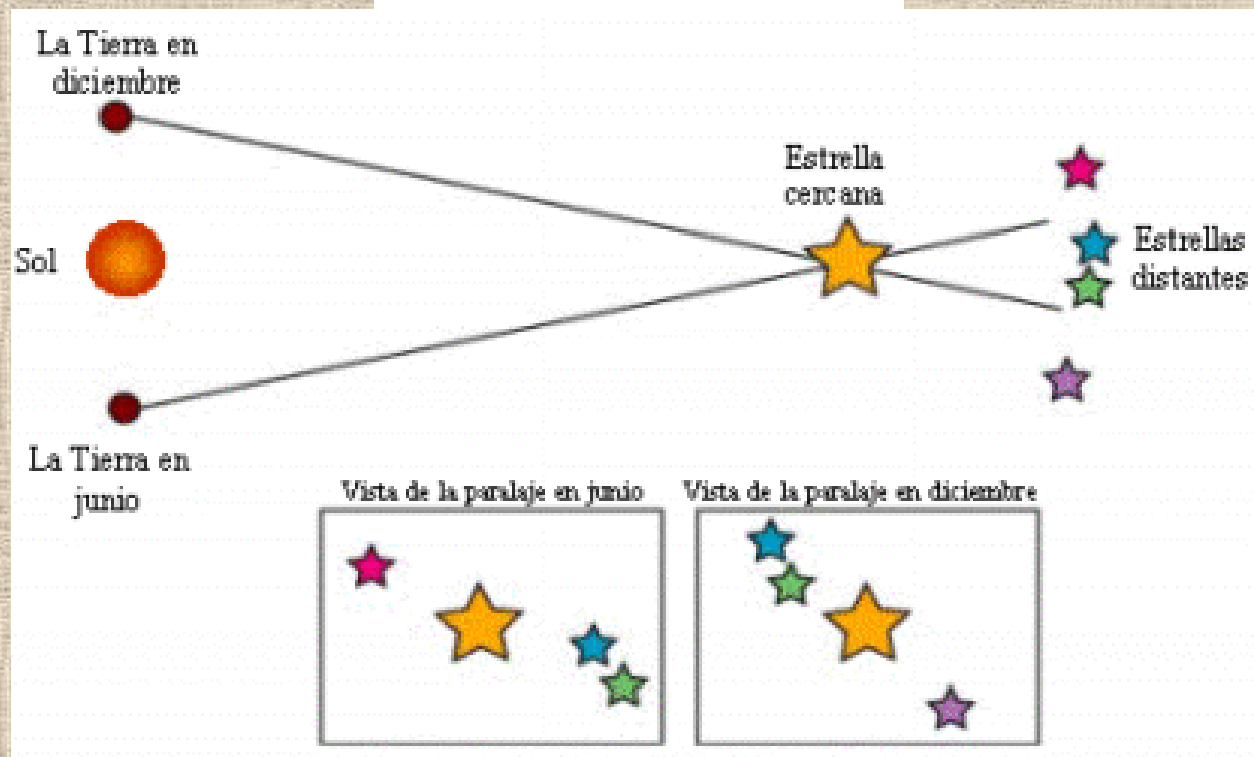
(REPETIR MUCHOS AÑOS)  
(DIANETROS Y EXENTRICIDADES  
MEDIDAS)

DISTANCIA MEDIA TIERRA - SOL

$$* \frac{a+b}{2} \equiv 1 \text{ AU} *$$

●  $1 \text{ AU} = \underline{1.496 \times 10^{11} \text{ m}}$  \*

# PARALAJE



MOVIMIENTO APARENTE DE UNA ESTRELLA RESPECTO DE ESTRELLAS MUY DISTANTES, DEBIDO AL MOVIMIENTO DE LA TIERRA RESPECTO DEL SOL

PARALAJE  $p$  :  $\frac{1}{2}$  DESPLAZAMIENTO ANGULAR APARENTE

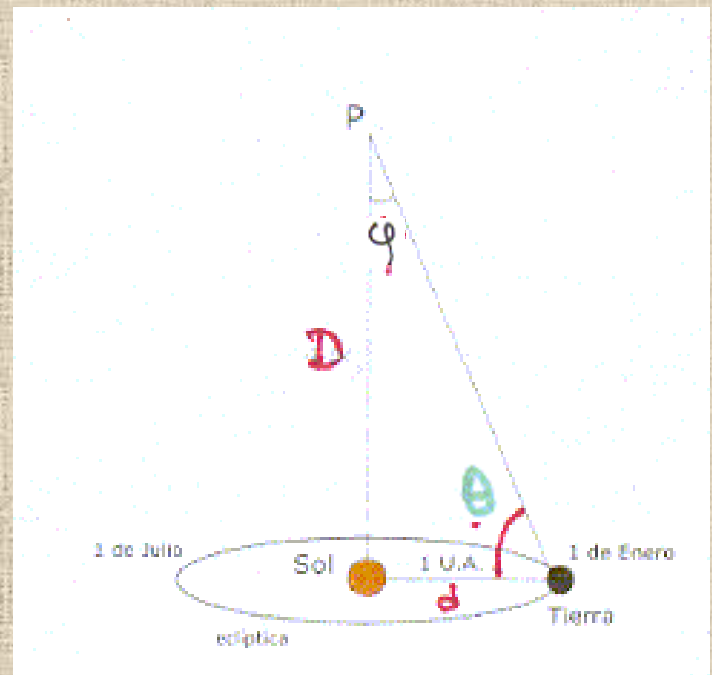
$\theta$ : ANGULO DE VISION DE UNA ESTRELLA  
RELATIVO AL PLANO DE LA ORBITA TERRESTRE  
(MEDIDO EN DIFERENTES EPOCAS DEL AÑO)

$d$ : DISTANCIA TIERRA-SOL

$D$ : DISTANCIA A LA ESTRELLA

$\theta$ :  $\theta = 89,99994^\circ \Rightarrow$

PARALAJE  $\varphi = 0,00006^\circ$



$$D = \frac{d}{\sin \varphi} \approx \frac{d}{\varphi} = \frac{1,5 \times 10^8 \text{ Km}}{1 \times 10^{-6}} = \underline{\underline{1,5 \times 10^{14} \text{ Km}}}$$

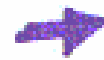
( $\approx 15 \text{ a.l.}$ )

● UNA ESTRELLA CON  $p = 1$  SEGUNDO DE ARCO

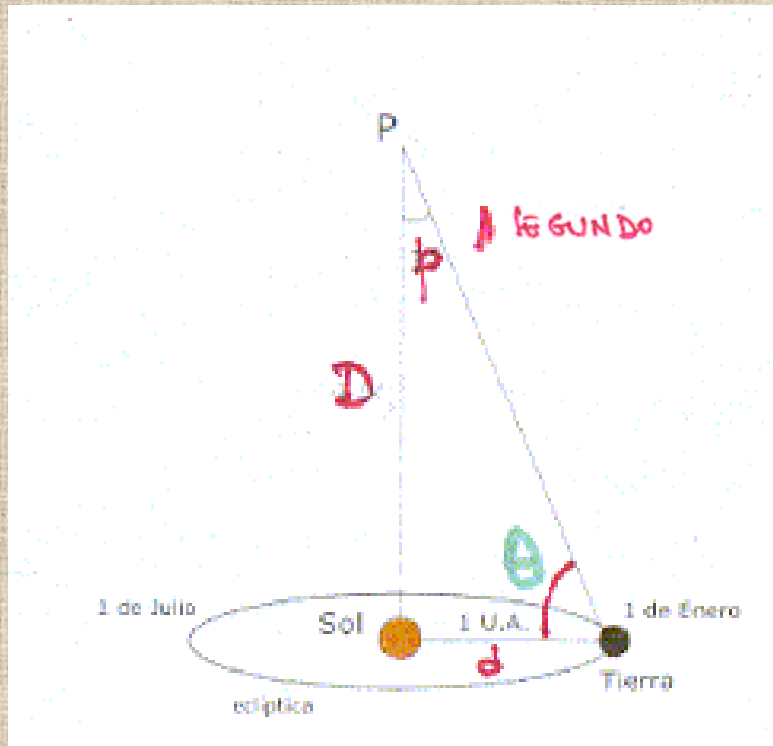
$$(1'' = 5 \times 10^{-6})$$

SE ENCUENTRA A UN PARSEC

$$1 \text{ pc} = 3.0856 \times 10^{16} \text{ m}$$



PARSEC:



D

$$* 1 \text{ pc} = 3,26 \text{ a.l.} *$$

● DETERMINACION CONFIABLE DEL PARALAJE PARA

$$d \approx 50 \text{ pc} \quad (p = 0.02'')$$



## UNIDADES

- $m_p \times c^2 = 938.3 \text{ MeV} \approx 1 \text{ GeV} \quad (10^9 \text{ eV})$
  - $m_e \times c^2 = 0.511 \text{ MeV} \approx 0.5 \text{ MeV}$
  - $1 \text{ eV} = 1.602 \times 10^{-19} \text{ Joule} = 1.602 \times 10^{-12} \text{ erg}$
  - $E_\gamma = h\nu = hc/\lambda = 1.2399/\lambda = 4.136 \times 10^{-15} \text{ eV}$
  - $E = kT = 8.617 \times 10^{-5} \text{ T eV}$
  - $1 \text{ ly} = 9.4605 \times 10^{15} \text{ m}$
  - $1 M_\odot = 1.989 \times 10^{30} \text{ kg}$
  - $1 R_\odot = 6.9598 \times 10^8 \text{ m}$
  - $L_\odot = 3.90 \times 10^{26} \text{ W}$
- $1 \text{ pc} = 3.2616 \text{ ly}$  -

LUMINOSIDAD:  $L$

(ABSOLUTA)

POTENCIA TOTAL RADIADA (EN WATTS)

• EN GENERAL  $L \propto \text{MASA ESTELAR}$

BULBO APARENTE:  $l$

POTENCIA POR UNIDAD DE AREA PERPENDICULAR  
A LA TRAYECTORIA DE LA LUZ MEDIDA EN LA TIERRA

(IGNORANDO ABSORCION E INTERCIAMBIO)

$\Delta$  DISTANCIA  $D$  DE LA ESTRELLA QUE EMITE  $L$

$$L = 4\pi D^2 l$$

# TEMPERATURA (SUPERFICIAL)

Δ PARTIR DEL ESPECTRO DE FRECUENCIA QUE EMITE

STEFFAN - BOLTZMANN

$$* \underline{L = \sigma A T^4} *$$

A: AREA

● PLANCK : CUERPO NEGRO

DENSIDAD DE ENERGIA ESPECTRAL:

$$* u(\nu, T) = \frac{8\pi}{c^3} h \nu^3 \frac{1}{e^{h\nu/kT} - 1} *$$

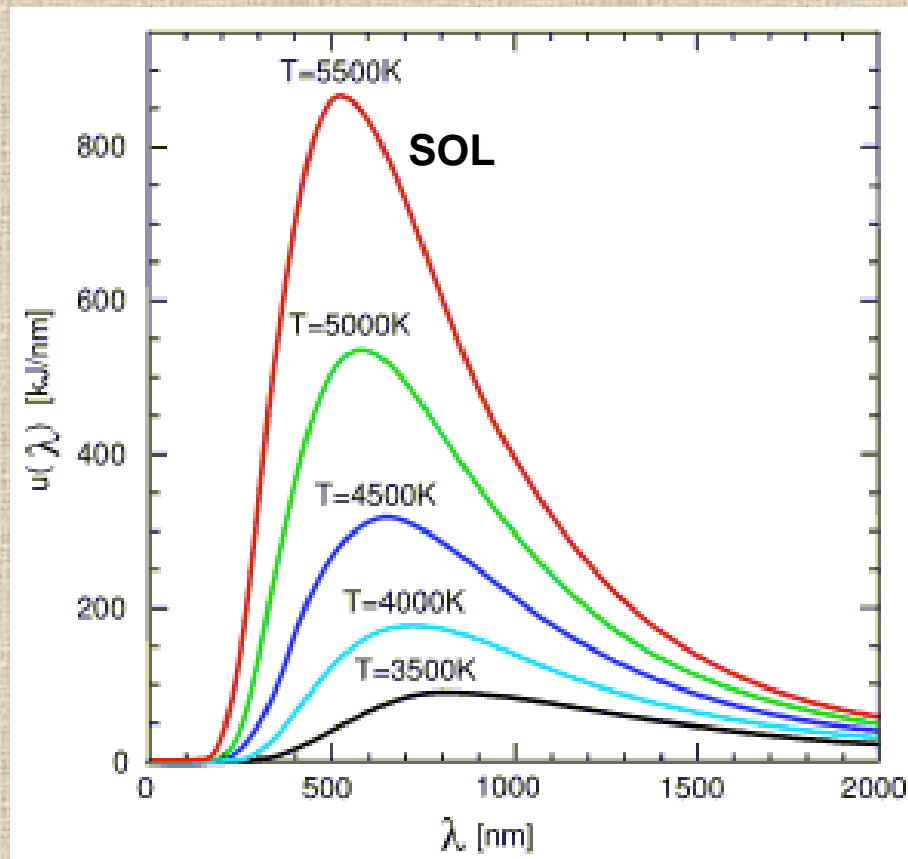
$$[u] = \frac{[E]}{[V][V]}$$

$\int d\nu u(\nu, T) =$  DENSIDAD DE ENERGIA TOTAL

- $h = 6,626 \times 10^{-34}$  Joule . SEG
- $k = 1,38 \times 10^{-23}$  Joule / °K
- $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 \cdot K^4}$

\* ESTRELLA  $\approx$  CUERPO NEGRO

$$\lambda = \frac{c}{\nu}$$



LEY DE WIEN

$$\lambda_p T = 2,9 \times 10^{-3} \text{ m}^\circ\text{K}$$

↑  
EN EL PICO

111

2 ESTRELLAS

$$L_R \approx L_A$$

PICO

- R:  $\rho: 700 \text{ nm}$
- A:  $\rho: 350 \text{ nm}$

WIEN  $\rightarrow$  •  $T_R = 4140 \text{ }^\circ\text{K}$

•  $T_A = 8280 \text{ }^\circ\text{K}$

$$\lambda_p T = 2,9 \times 10^{-3} \text{ m}^\circ\text{K}$$

EN LA SUPERFICIE DE LAS ESTRELLAS

$$* L_{R,A} = \sigma A T_{R,A}^4$$



A RADIA 16 VECES MÁS QUE R

$$\left( \begin{array}{l} \text{RADIACION} \\ \text{POR UNIDAD} \\ \text{DE AREA} \end{array} \right) \frac{L_A}{A_A} \approx 16 \frac{L_R}{A_R}$$

$$L_A \approx L_R \Rightarrow A_R = 16 A_A$$

$$\underline{\underline{r_R = 4 r_A}}$$

# EFEECTO DOPPLER

ONDAS

\* FUENTE EN REPOSO:

→ TIEMPO DE LLEGADA DE CRESTAS DE ONDA SUCEVIDA  $\equiv$  TIEMPO ENTRE CRESTAS AL PUNTO DE LA FUENTE

\* FUENTE ALEJÁNDOSE:

TIEMPO DE LLEGADA  $>$  TIEMPO DE SALIDA

- CADA CRESTA DEBE VIAJAR MÁS

\* FUENTE ACERCÁNDOSE:

$$t_{LL} < t_s$$

- CADA CRESTA DEBE VIAJAR MENOS

$$\bullet t_{E.C.} = \frac{\lambda}{c}$$

\* FUENTE ALEJANDOSE: AUMENTA  $\lambda$  MAYOR

\* FUENTE ACERCANDOSE: AUMENTA  $\lambda$  MENOR

- T: PERIODO DE EMISION
- v ( $\ll c$ ): VELOCIDAD DE LA FUENTE (ALEJANDOSE)



ALEJANDOSE

LA CUESTA TAMBA  $\frac{vT}{c}$  MAS TIEMPO EN LLEGAR



LA ALA EL OBSERVADOR:

$$* T' = T + \frac{VT}{c} *$$

•  $\lambda = cT$  : LONGITUD DE ONDA EMITIDA

•  $\lambda' = cT'$  : ✓ ✓ ✓ AL LLEGAR



$$* \frac{\lambda'}{\lambda} = \frac{T'}{T} = \underline{1 + \frac{V}{c}} *$$

ACERCANDOSE  $\rightarrow V \rightarrow -V$



EJ: CLUSTER DE VIRGO

SE MUEVA DE LA VIA LACTEA

$$V = 10^3 \frac{\text{km}}{\text{s}}$$

$$* \lambda'_{\text{virgo}} \approx \lambda \times 1.0033 *$$

DOPPLER PENSÓ QUE ERA LA RAZÓN DEL  
CAMBIO DE COLOR DE ESTRELLAS: MAL

(BUYS-BALLOT)

( \*  $\neq$  COLOR  $\leftarrow \neq$  TEMPERATURA \* )

# LEY DE HUBBLE

CORRIMIENTO DOPPLER  $\rightarrow$  MOVIMIENTO  
(LINEAS ESPECTRALES DEL MISMO ELEMENTO)  
(HUCCINS) (ESTRELLAS Y GALAXIAS)

HUBBLE (1920): LINEAS ESPECTRALES  
DE LAS GALAXIAS  
CORRIDAS AL ROJO!

• CORRIMIENTO  $\propto$  DISTANCIA DE LA GALAXIA

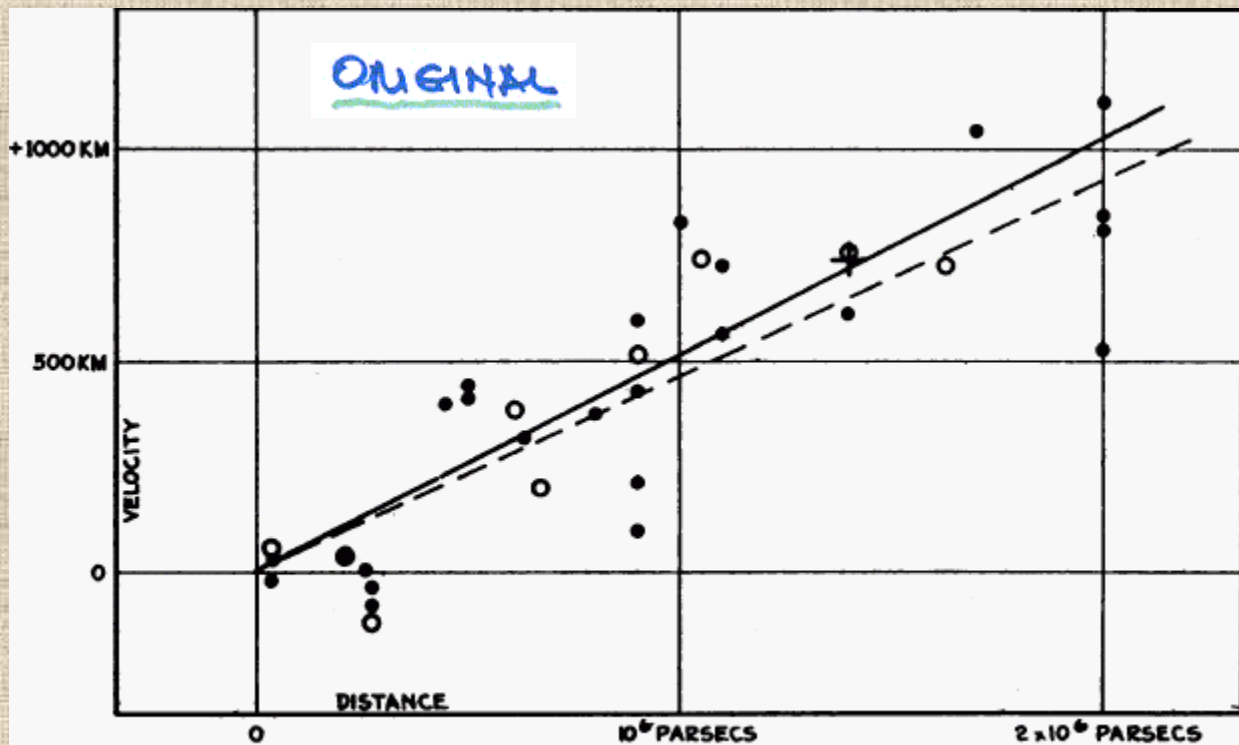


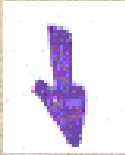
FIGURE 1

Velocity-Distance Relation among Extra-Galactic Nebulae.



LAS GALAXIAS SE ALEJAN !

$v \propto$  SEPARACION



\* EL UNIVERSO SE EXPANDE !

DEF "RED-SHIFT"  
(CAMBIAMIENTO AL ROJO) :  $z \equiv \frac{\lambda' - \lambda}{\lambda}$

LEY LINEAL:

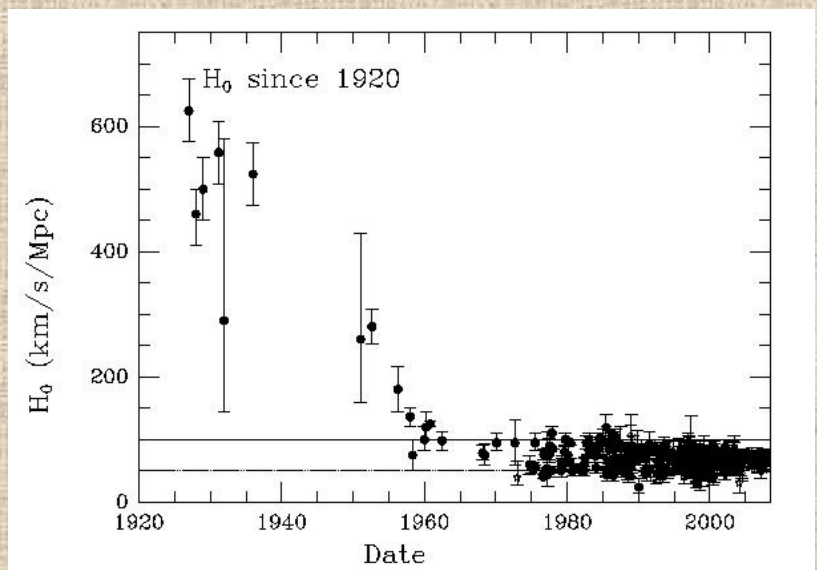
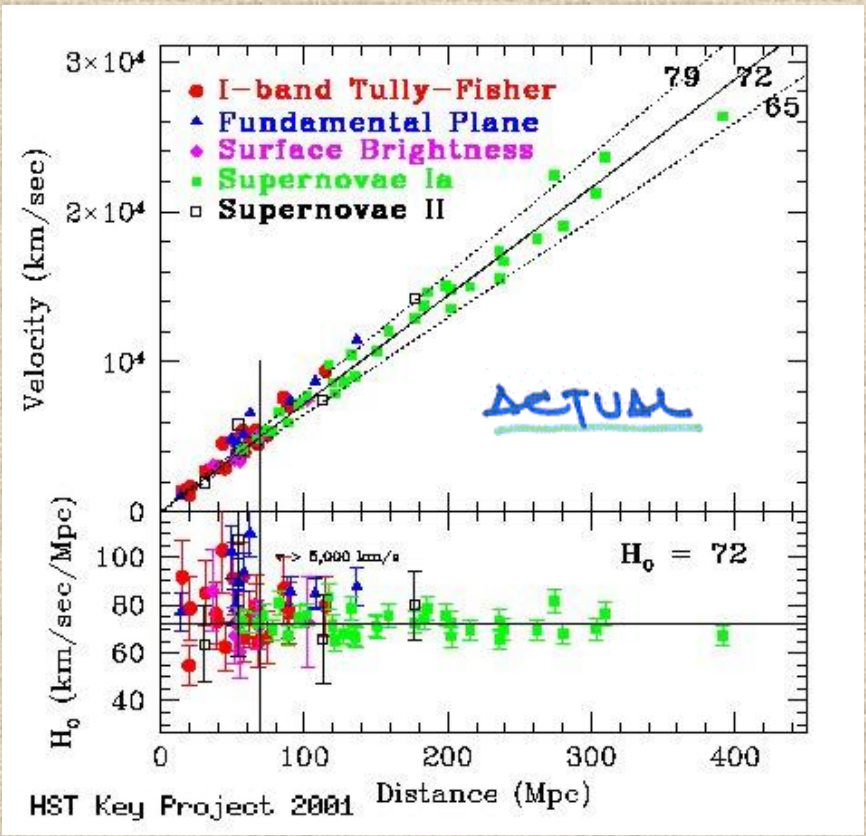
$$* z \approx \frac{H_0}{c} r *$$

- $H_0$ : CONSTANTE DE HUBBLE
- $r$ : DISTANCIA A LA GALAXIA

\* 
$$z \approx \frac{H_0}{c} r$$
 \*

$$v \ll c \rightarrow z \approx \frac{v}{c}$$

$$v \approx H_0 r$$



\* VALUE ACTUAL:  $H_0 = 100 h \frac{\text{km}}{\text{s Mpc}}$

(Hoy!)

$h = 0.73 \pm 0.03$

# PRINCIPIO COSMOLÓGICO

(MILNE)

INTUITIVO: EN UN DADO INSTANTE EL UNIVERSO  
LUCE IGUAL PARA OBSERVADORES  
EN CUALQUIER GALAXIA



UN OBSERVADOR EN UNA GALAXIA TÍPICA  
VE A LAS OTRAS GALAXIAS MOVIÉNDOSE  
CON LA MISMA LEY DE VELOCIDAD



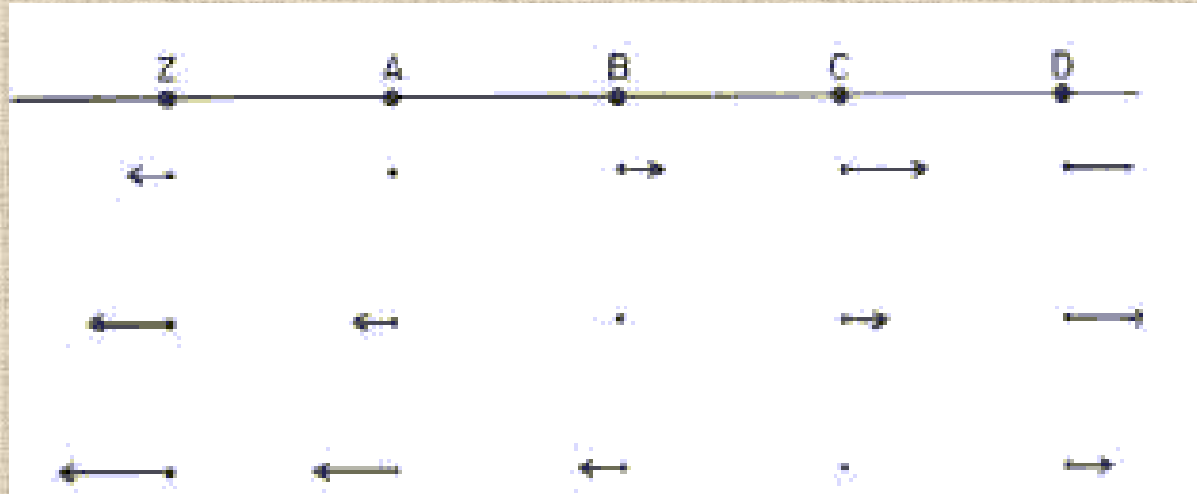
● **LEWIS HUGGLES** → VELOCIDAD RELATIVA DE CADA QUIERA DOS GALAXIAS  $\propto$  VELOCIDAD RELATIVA

v  
e  
n  
C

**V en A**

**V en B**

**V en C**



NO VALIDO A PEQUEÑAS ESCALAS

PRINCIPIO COSMOLÓGICO VALIDO PARA DISTANCIAS

ENTE CLUSTERS DE GALAXIAS  $\sim 100 \times 10^6$  a.l.

$\sim 10^8$  a.l.



← NOISNAPXE

\* COMIENZO DEL UNIVERSO \*

HACE 13.700.000.000 AÑOS

COMENZO LA EXPANSION A PARTIR DE UN ESTADO  
DE ALTISIMA DENSIDAD Y TEMPERATURA

↑  
= BIG BANG =

\* NO FUE UNA EXPLOSION

\* FUE UNA EXPANSION DEL MISMO ESPACIO

\* EL TAMAÑO DEL UNIVERSO COMENZO A CRECER \*

— PENZIAS + WILSON (1964):

MIDIERON LA RADIAcion DE FONDO (WIDO DE)

$$\lambda = \underline{7,35 \text{ cm}} \text{ (MICROONDAS)}$$

— EN TODO EL UNIVERSO —

RADIAcion DE CUERPO NEGRO —  $T = 2,725 \text{ }^\circ\text{K}$  —

# RADIACION DE MICROONDAS DE FONDO

"ELIMINANDO" LAS DISTORSIONES DE NUESTRA GALAXIA Y DEL CLUSTER VIRGO →

\* UNIVERSO ISOTROPICO \*

ALREDEDOR DE CUALQUIER PUNTO



\* UNIVERSO HOMOGENEO \*



• EVIDENCIA EXPERIMENTAL:

\* OBSERVACION DE LA RADIACION DE FONDO COSMICO DE MICROONDAS

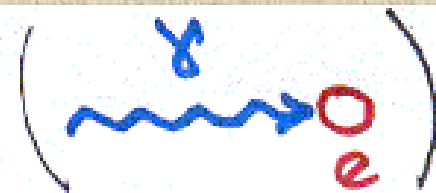
# • POR QUÉ?

$T_{\text{BIG BANG}}$  TAN ALTA  $\rightarrow$  NO ATOMOS

- INICIALMENTE SOLO RADIACION + PLASMA  
(FOTONES) (e, ...) (CARGADAS)



UNIVERSO OPACO



(FOTONES "ATRAPADOS" ENTRE LAS PARTICULAS CARGADAS)

• EXPANSION → ENERGIA EN MAYOR VOLUMEN



T DISMINUYE

CUANDO  $T \approx 3000 \text{ K}$



NUCLEOS + ELECTRONES → ATOMOS  
(~~RECOMBINACION~~)

"DESAPARICION" DE ELECTRONES ⇒

PERDIDA DE CONTACTO TERMICO (RADIACION - MATERIA)



\* RADIACION SE EXPANDE LIBREMENTE \*

EN EL MOMENTO INICIAL:

GUBERNADA POR LA EXPRESION PLANCK

DE RADIACION DE CUERPO NEGRO ( $T \approx 3.000 \text{ } ^\circ\text{K}$ )

$$\downarrow$$
$$\lambda \sim 1 \mu\text{m}$$

• QUE PASO DESPUES?

(FOTONES NO SE CREAN NI DESTRUYEN)

LA DISTANCIA PROMEDIO ENTRE FOTONES  
AUMENTA PROPORCIONALMENTE AL TAMAÑO  
DEL UNIVERSO

\* CAMBIO AL ROJO \*  
(DILUION)

• DENSIDAD DE ENERGÍA ENTRE  $\lambda$  y  $\lambda + d\lambda$ :

$$\bullet du = \frac{8\pi hc}{\lambda^5} d\lambda \frac{1}{e^{hc/\lambda kT} - 1}$$

$$\bullet u = \int_0^{\infty} du$$

$$\bullet u = \frac{8\pi^5 (kT)^4}{15 (hc)^3}$$

(STEFAN-BOLTZMANN)

\* CADA FOTÓN:  $E = \frac{hc}{\lambda}$

\* NÚMERO DE FOTONES CON  $\lambda$  ENTRE  $\lambda$  y  $\lambda + d\lambda$ :

$$\bullet dn = \frac{du}{hc/\lambda} \Rightarrow \bullet n = \int_0^{\infty} dn$$

- $n = 8\pi \left(\frac{kT}{hc}\right)^3 \int_0^{\infty} \frac{x^2 dx}{e^x - 1}$

- $x = \frac{hc}{\lambda kT}$

- $\int_0^{\infty} \frac{x^2 dx}{e^x - 1} = 2 \sum_{j=1}^{\infty} \frac{1}{j^3} \approx 2,4$

↓

$$n = 60,42198 \left(\frac{kT}{hc}\right)^3$$

- \*  $n = 20,28 \left(\frac{T}{\mu K}\right)^3$  FOTONES cm<sup>3</sup> \*

- $\langle E_\gamma \rangle = \frac{u}{n} = 3,73 \cdot 10^{-16} \left(\frac{T}{\mu K}\right) \text{ erg}$   
(PROMEDIO)



\* SE EXPANDE! →

SUPONGAMOS QUE EL UNIVERSO CAMBIA  
POR UN FACTOR f



• DOPPLER →  $\lambda' = f \lambda$

→  $du'$  CON  $\lambda'$  ENTRE  $\lambda'$  Y  $\lambda' + d\lambda'$

$du' < du$

•  $V_{UNIV}$  CRECIO ( $f^3$ )



-  $n$  DECRECIO  $\propto \frac{1}{f^3}$  -

•  $E_\gamma \propto \frac{1}{\lambda}$  ↓

-  $E_\gamma$  DECRECIO  $\propto \frac{1}{f}$  -



$$du' = \frac{1}{f^4} du$$

$$\bullet \quad du' = \frac{8\pi hc}{\lambda'^5} d\lambda' \frac{1}{e^{hc f / \lambda' kT - 1}}$$

$$T \rightarrow T' = \frac{T}{f}$$

\* EN LA EXPANSION :

LA TEMPERATURA DE CUERPO NEGRO DE LA RADIACION DECRECE INVERSAMENTE CON LA ESCALA DE EXPANSION



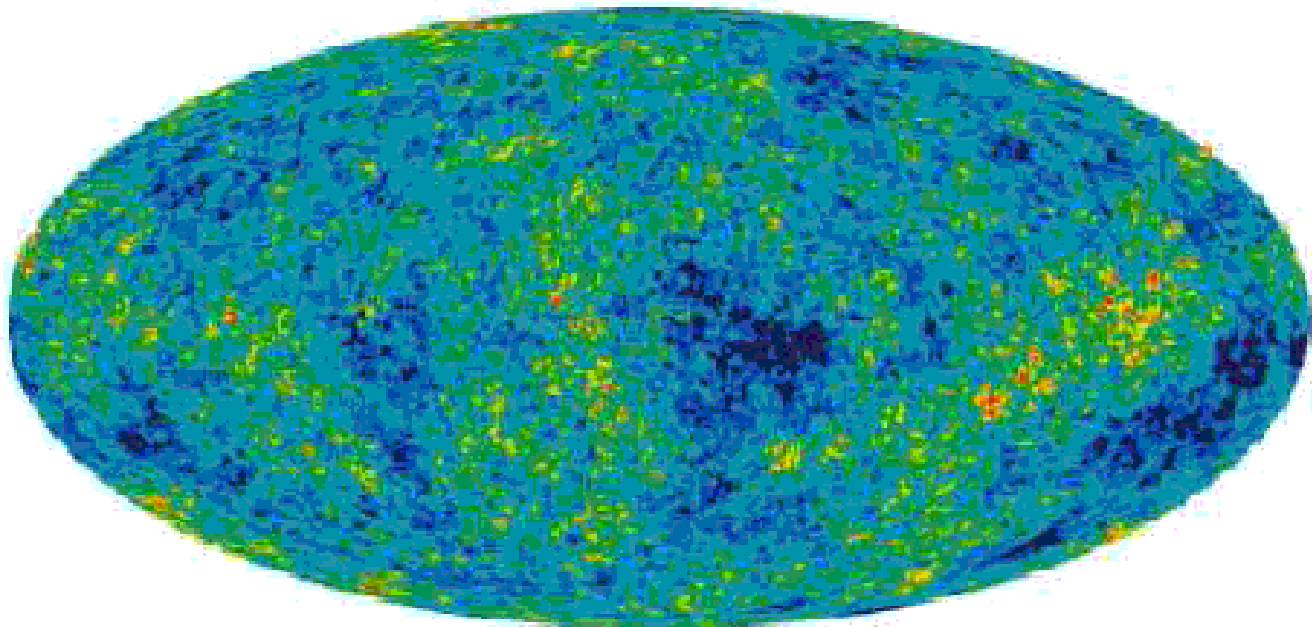
T INICIAL INFINITA

# RADIACION DE FONDO (WMAP)

$$\langle T \rangle = 2,725 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$\text{ROJO: } \langle T \rangle + 300 \text{ } \mu\text{K}$$

$$\text{AZUL: } \langle T \rangle - 200 \text{ } \mu\text{K}$$



INHOMOGENEIDADES (PEQUEÑÍSIMAS)  $\equiv$   
"SEILLAS" PARA LA FORMACION DE GALAXIAS

- EINSTEIN : GRAVEDAD  $\rightarrow$  GEOMETRIA

(GRAVEDAD  $\leftrightarrow$  CURVATURA DEL ESPACIO)

- RECTA  $\equiv$  RAYO DE LUZ
  - RAYO DE LUZ  $\equiv$  ENERGIA ( $E=mc^2$ )  $\equiv$  MASA
- ↓
- LUZ SUFRE ATRACCION GRAVITATORIA !



"EFECTO LENTE GRAVITATORIA"

# EXPERIMENTOS EN GEOMETRIA

\* HISTORIA (?): GAUSS (~ 1827)

EXPERIMENTO PARA COMPROBAR  $\sum_{\Delta} \angle_{INT} = 180^{\circ}$

USANDO 3 PICOS MONTAÑOSOS (VERTICES)  
(HOHENHAGEN - BROCKEN - INSELBERG)

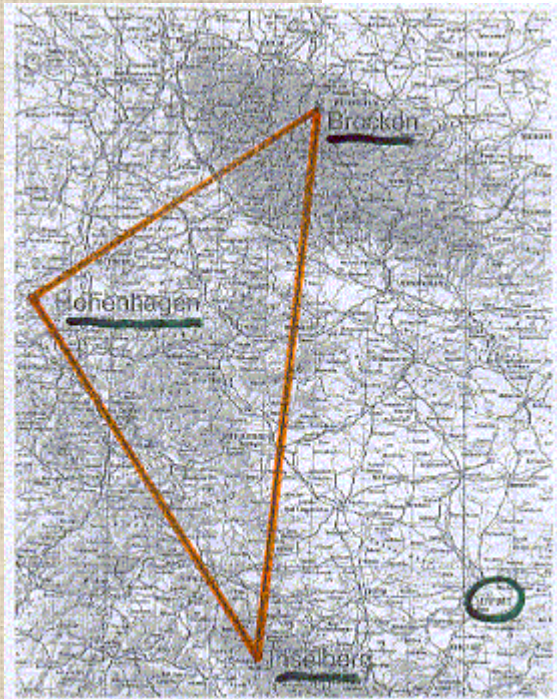
+ RAYOS LUMINOSOS (SEGMENTOS)

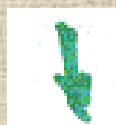
↓ MIMO:  $180^{\circ} \pm ?$

$$\sum_{\Delta} \angle_{INT} \Big|_{\text{RADIANTES}} - \pi \sim \frac{A_{\text{AREA } \Delta}}{R_{\oplus}^2} \frac{G M_{\oplus}}{R_{\oplus} c^2} + (\text{SOL} + \dots)$$

\* EJEMPLO GAUSS: 69 Km - 85 Km - 107 Km

↓  
DIFERENCIA  $\sim 10^{-15}$  RADIANTES !





IR À ESCALA COGNITIVA!

# DETERMINACION DE LA GEOMETRIA ESPACIAL DEL UNIVERSO

\* RELATIVIDAD GENERAL + OBSERVACION →

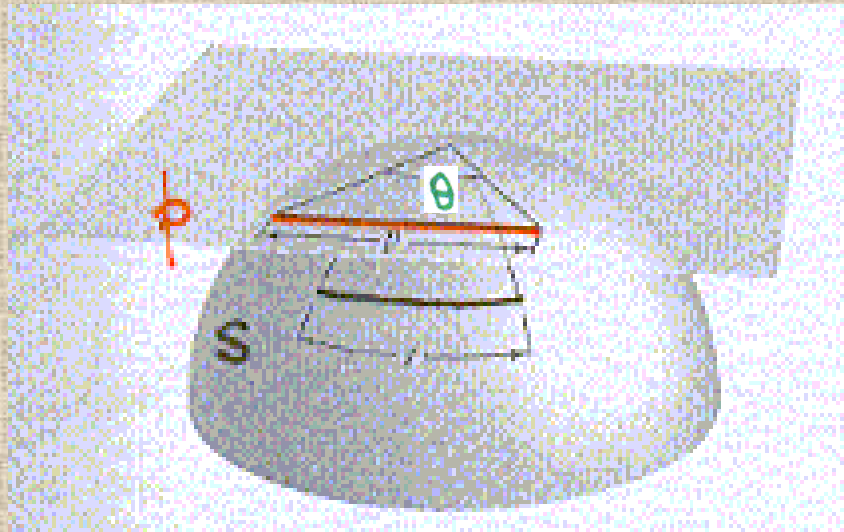
TRES POSIBLES GEOMETRIAS A GRAN ESCALA

(X UNIDAD TIEMPO)

- PLANA
- CURVA POSITIVA (ESFERA)
- CURVA NEGATIVA (LOCALMENTE PARABOLICA)

(SOLONGAMOL: GEOMETRIA FIJA EN EL TIEMPO)  
~~EXTENSION~~

- OBJETO DE TAMAÑO CONOCIDO  $\phi$
- A DISTANCIA CONOCIDA  $d$



PLANO  $\rightarrow$  ANGULO SUBTENDIDO:  $\theta = \frac{\phi}{d}$

ESFERICA  $\rightarrow$  IGUAL ANGULO SUBTENDIDO  $\theta$   
 POR TAMAÑO S ( $< \phi$ )

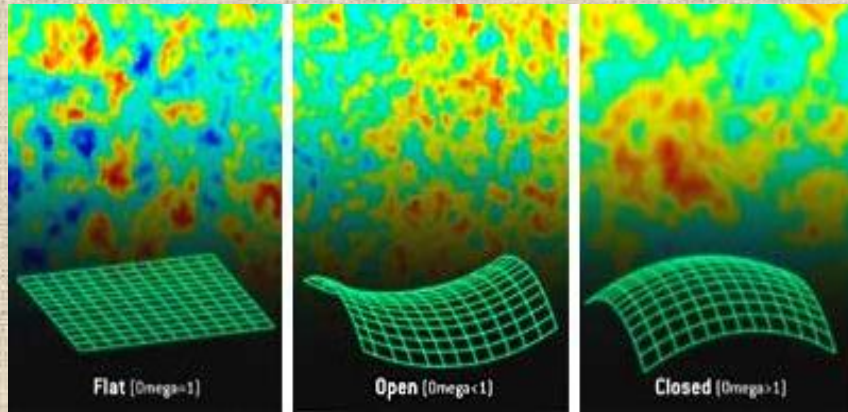
"PAPA FRUTA"  $\rightarrow$  LO OPUESTO

(CON EXPANSION CUALITATIVAMENTE IDENTICO)

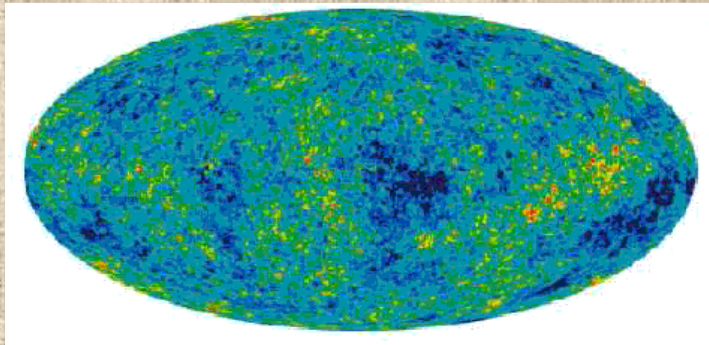


## ● RADIACION DE FONDO DE MICROONDAS

PEQUEÑAS FLUCTUACIONES  
( $\approx 10^{-5}$  DE GRADO)



TEORÍA PREDICE DISTANCIA ENTRE FLUCTUACIONES  
Y TAMAÑO  $\rightarrow$  TAMAÑO ANGULAR CONOCIDO



↓  
GEOMETRÍA ESPACIAL DEL UNIVERSO  
CONOCIDO!

(MUY CERCANA) PLANA

LA GEOMETRÍA TETRA-DIMENSIONAL (ESPACIO-TIEMPO) NO ES PLANA



LA GEOMETRIA DEL ESPACIO ES UN  
PROBLEMA FISICO: SE PUEDE MEDIR!

## MAGNITUDES PLANCK

- $\hbar$ ,  $G$ ,  $c$   $\rightarrow$  •  $l_{PL}$   $\equiv \left( \frac{G\hbar}{c^3} \right)^{1/2} = 1,62 \times 10^{-33}$  cm
- $t_{PL}$   $\equiv \left( \frac{G\hbar}{c^5} \right)^{1/2} = 5,39 \times 10^{-44}$  s.
- $M_{PL}$   $\equiv \left( \frac{\hbar c^5}{G} \right)^{1/2} = 1,22 \times 10^{19}$  GeV

\* FENOMENOS A ESA ESCALA NECESSARIAMENTE  
CUANTICOS

(FLUCTUACIONES CUANTICAS EN LA GEOMETRIA)

SITUACION PRESENTE EN EL BIG BANG

Y EN LA "EVAPORACION" DE AGUJEROS NEGROS

## "CREACION" CUANTICA

### \* "CREACION" DE LA NADA \*

- QUÉ OCURRIÓ ANTES DE  $t_{PL}$  ( $t < 10^{-43}$  seg.)
- CÓMO SURTIÓ EL UNIVERSO

COSMOLOGIA CLASICA  $\rightarrow$  A  $t=0$   
TODO DIVERGE



$t < t_{pl}$   $\rightarrow$  TEORIA CUANTICA

( \* UNIVERSO CICLICO  $\rightarrow$  TIRAR MAS ATRAS LA  
LEYENDA (ENTROPIA ?) )

\* ASEVERACIONES CUMULATIVAS: ( $t \leq t_{pl}$ )

UNIVERSO CREADO DE LA NADA  
( SIN VIOLAR LEYES FISICAS )

NO HAY CONTRADICCION CON LA CONSERVACION  
DE LA ENERGIA

- CONSERVACION LOCAL:  $dE = -p dV$

CADA ELEMENTO DE VOLUMEN TIENE UNA  
DADA ENERGIA ( $> 0$ ) QUE PUEDE CAMBIAR  
POR INTERACCION CON OTROS ELEMENTOS

- RELATIVIDAD ESPECIAL ( $E = mc^2$ )  $\rightarrow$   
 $E(\text{MATEMA}) \neq 0$

● RELATIVIDAD GENERAL →

ENERGIA PUEDE DECRECER POR

DEFECTO DE MASA GRAVITACIONAL



MATERIA PUEDE TENER  $E = 0$



PUEDE EXISTIR UN UNIVERSO  
(EU)

CON  $E_{TOTAL} = 0$

$$- \quad \ddagger \quad \text{ANTES BB} = \ddagger \quad \text{DESPUES BB} = 0 \quad -$$

- INICIALMENTE NO HAY MATERIA  
(NI ESPACIO-TIEMPO)
- APARECE MATERIA PERO SU VALOR ES  
IGUAL AL DEFECTO DE MASA GRAVITATORIO

LA ENERGIA SE CONSERVA

\* DEFECTO DE MASA EXISTE PARA  
CUALQUIER INTERACCION !

$$(E = mc^2)$$



## \* DEFECTO DE MASA

$$M_{\text{ESTADO LIGADO}} < \sum M_{\text{CONSTITUYENTES}}$$

↑  
ENERGIA DE INTERACCION  
QUE LAS UNE

- $m_d = m_n + m_p - \Delta E$   
(DEUTERON)

- $\Delta E = 2.2 \text{ MeV}$

(INTERACCION NUCLEA PROTON-NEUTRON)

# GRAVITACIONA

## ESTRELLAS DOBLES

$$* M = M_1 + M_2 - \frac{G M_1 M_2}{r} \quad (+ E_{\text{cin}})$$

## ESFERA DE DENSIDAD CONSTANTE

$$\bullet M = \rho V - \int \rho \phi dV$$

↑                    ↑                    ↑  
MASA            DENSIDAD            POTENCIAL GRAVITACIONAL

DEFECTO DE MASA

$r$ : RADIO DEL CUERPO

$$* M = \frac{4\pi}{3} \rho r^3 - \frac{16}{15} \pi^2 G \rho^2 r^5 *$$

M PUEDE ANULARSE

AGREGANDO MASA A  $\rho$  CONSTANTE EL DEFECTO DE MASA GRAVITATORIO CRECE MÁS RÁPIDO QUE LA SUMA DE MASAS CONSTITUYENTES

$$M=0 \Rightarrow r = \sqrt{\frac{5}{4\pi G \rho}}$$

(ORDEN DE MAGNITUD)  
(SINO DE NEWTON)

\* OTRA POSIBILIDAD:

- $M=0$  SI SE COMPRIME DE MODO QUE  $\rho r^2$  CREZCA

\* "CREACION" DE LA NADA \*

"CREACION" CUANTICA