

6

2019

BIG BANG

- COSMOLOGIA BIG-BANG : GRAN EXITO

✱ "EXPLICA" EL UNIVERSO DESDE NO HASTA HOY

✱ JUNTO A LA FISICA DE PARTICULAS
PERMITE EVOLUCACIONES PLASMAS
HACIA ATRAS (EPOCA DE PLANCK)



PREGUNTAS

- NATURALEZA DE LA MATERIA Y ENERGÍA OSCURA?
- ¿POR QUÉ EL UNIVERSO TIENE SOLO MATERIA?
- ORIGEN DE LAS INHOMOGENEIDADES
SEMILLAS DE ESTRUCTURAS?
- EVOLUCIÓN DE LAS ESTRUCTURAS?
- ¿POR QUÉ EL UNIVERSO VISIBLE ES PLANO (FLAT)?
- ¿CÓMO COMENZÓ LA EXPANSIÓN?
- LA CONSTANTE COSMOLÓGICA?

Cosmólogos hoy :

SE PUEDE ENTENDER DESDE

10^{-36} SEGUNDOS DESPUÉS DEL BIG BANG

* EXPANSION EXPONENCIAL DEL UNIVERSO *



INFLACION

— NO ALTERA LA COSMOLOGIA CLASICA

* FIJA LAS CONDICIONES INICIALES *



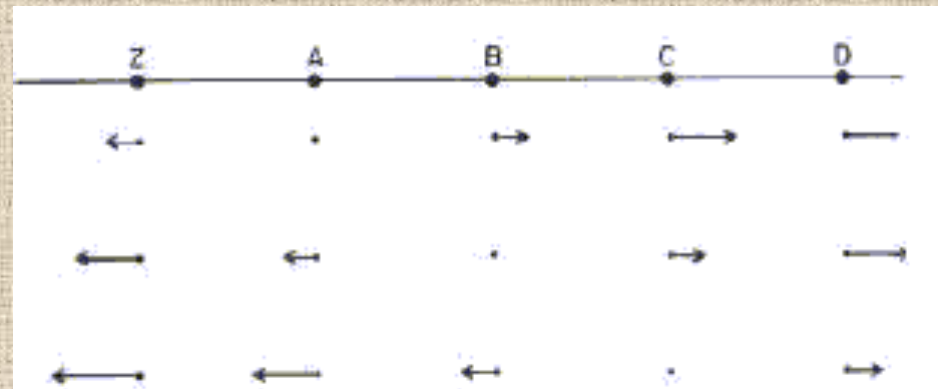
EL UNIVERSO OBSERVABLE SE ORIGINO EN
UNA REGION PEQUEÑA CONECTADA CAUSALMENTE

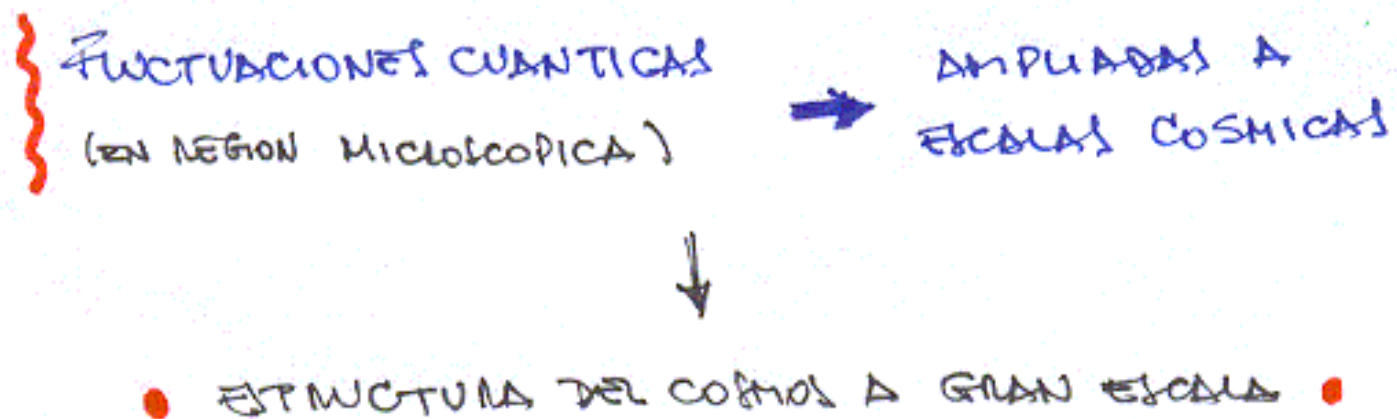
EXPANSION EXPONENCIAL

- INFLACION → UNIVERSO
- EXACTAMENTE PLANO
- HOMOGENEO
- ISOTROPO

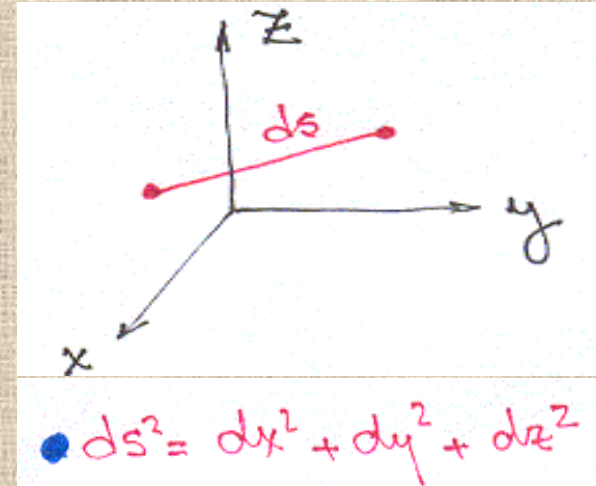
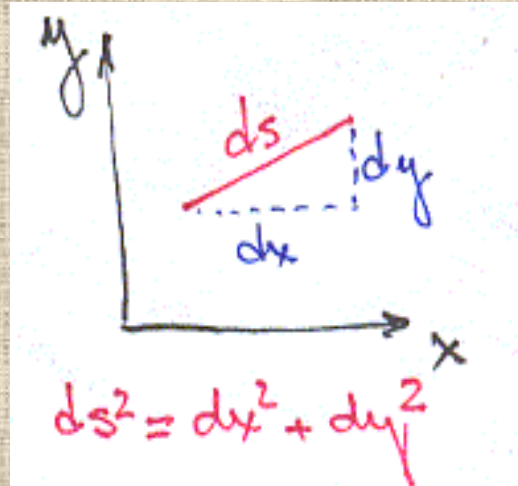


* VINE EL PRINCIPIO COSMOLOGICO *

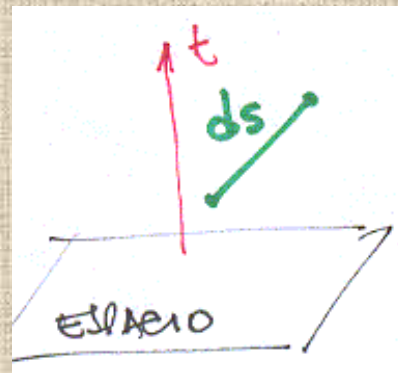




GEOMETRIA PLANA



MINKOWSKY



• $ds^2 = -c^2 dt^2 + dx^2 + dy^2 + dz^2$

• $ds^2 = -c^2 dt^2 + dr^2 + r^2 d\theta^2 + r^2 \sin^2 \theta d\varphi^2$

— EXPANSION —

• FRIEDMANN - ROBERTSON - WALKER •

$$\times ds^2 = -c^2 dt^2 + \underline{a^2(t)} \left[\frac{dr^2}{\underline{1 - Kr^2}} + r^2 (d\theta^2 + \sin^2 \theta d\varphi^2) \right]$$

$$\left[\bullet ds^2 = -c^2 dt^2 + dr^2 + r^2 d\theta^2 + r^2 \sin^2 \theta d\varphi^2 \right]$$

- $a(t)$: FACTOR DE ESCALA COSMICA
- $1 - Kr^2$: DEBIDO A LA CURVATURA

$$K = \begin{cases} -1 : \text{"PWA FRITA"} \\ 0 : \text{PLANO} \\ +1 : \text{CURVATURA POSITIVA (ESFERA)} \end{cases}$$

Δs^2 ENTRE 2 PUNTOS AUMENTA
AUNQUE LAS COORDENADAS NO CAMBIAN !
(COMOVING)

- $a(t)$: DADA POR LAS ECUACIONES DE EINSTEIN
(CASO HOMOGENEO E ISOTROPO)

$$\frac{1}{2} \left(\frac{da}{dt} \right)^2 - \frac{4\pi G \rho a^2}{3} = - \frac{k}{2}$$

$$\frac{d^2 a}{dt^2} = - \frac{4\pi G}{3} (\rho + 3p) a$$

$$-k = \begin{cases} 1 & \text{CERRADO} \\ -1 & \text{ABERTO} \\ 0 & \text{CHATO} \end{cases}$$

SI SE CONOCE

$$p = p(\rho)$$



HALUAI

a , ρ , p

Ecuaciones de Einstein →

$$\frac{dp}{dt} = -3H(\rho + p)$$

• $H = \frac{\dot{a}}{a}$: CONSTANTE DE HUBBLE



— CAMBIO EN LA DENSIDAD DE ENERGÍA

- EXPANSION
- FUERZAS DE PRESION

EJ $\Omega = 1$ ($k=0$)

GAS RELATIVISTA: $p = \frac{\rho}{3}$



* $a(t) = a_0 \left(\frac{t}{t_0} \right)^{1/2}$

$$\underline{p = -\rho}$$

(VALIDA EN UN TIEMPO FINITO)



$$\bullet a(t) = a_0 e^{\sqrt{\frac{8\pi G \rho}{3}} t}$$

INFLACION

$$\bullet \rho = \frac{\rho}{3}$$



$$\star a(t) = a_0 \left(\frac{t}{t_0} \right)^{1/2}$$

EXPANSION

$$H = \frac{\dot{a}}{a} = \frac{da/dt}{a} \bullet \frac{da/dt}{a} : \underline{\text{NO}} \text{ DEPENDE DE } t$$

EL PROMENSA DEL HORIZONTE

- LA RADIACION DE FONDO ES LA MISMA DESDE CUALQUIER PARTE: PRACTICAMENTE NO INTERACTUA CON LA MATERIA COSMICA HOY

EL UNIVERSO SE HIZO TRANSPARENTE A LA RADIACION DE FONDO LUEGO DE LA RECOMBINACION DE H.

$p + e \xrightarrow{\uparrow} H$ (NEUTRO) (CA) NO INTERACTUA CON γ DE λ LARGA.

REGION CONECTADA CAUSALMENTE: A $t \approx 0 \Rightarrow l \approx 10^{-33}$ cm
(PLANCK)

INFLACIONADA A $l \approx 10^{-3}$ cm

LUEGO EXPANSION POTENCIA ("NORMAL")

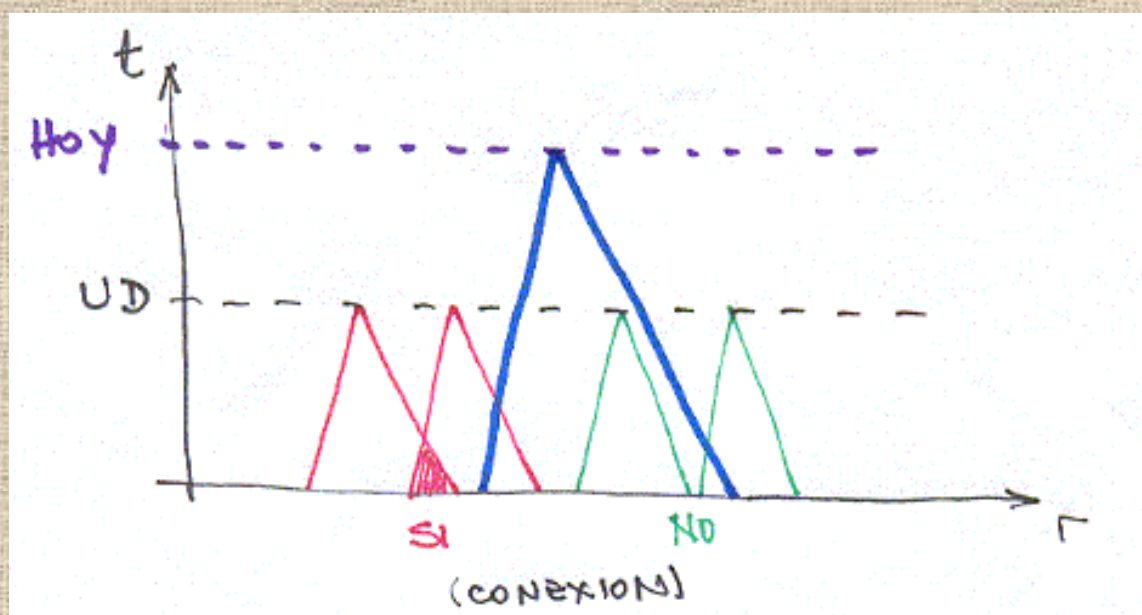
* $T \approx 3000^\circ\text{K}$ \Rightarrow SUPERFICIE DE LA ULTIMA
DISPERCION
(OPACO \rightarrow TRANSPARENTE)

$t_{ud} \approx 400.000$ AÑOS

HOMOGENEIDAD DE RADIACION DE FONDO
(PRINCIPIO COSMOLÓGICO)



PARA $t < t_{UD}$ TODO CONECTADO (CAUSALMENTE)



VERDE y ROJO : HOMOGENEO E ISOTROPICO ?

INFLACION

SI UNA REGION DE TAMAÑO l_0
POR ALGUNA RAZON ESTUVO CONECTADA
SU TAMAÑO SE HACE EXPONENCIALMENTE
GRANDE CON EL TIEMPO ($l(t) = l_0 e^{H_0 t}$)



- PARTES A DISTANCIAS $> H_0^{-1}$ NO INTERACTUAN
- SI RECUERDAN SU PASADO
- SOLUCION DEL PROBLEMA DEL HORIZONTE —

EL HORIZONTE

RESUELTO

REGION INICIAL
Causalmente conectada

$$l = m_{Pl}^{-1} = 10^{-33} \text{ cm}$$

INFLADA (CIONADA) A 10^{-3} cm
(PARA COMENZAR)

LUEGO EXPANSION "NORMAL"

INHOMOGENEIDADES "PLANCHADAS"



— PARTE OBSERVABLE MUY HOMOGENEA —

- PARAMETRO CRITICO PARA LA EXPANSION:

DENSIDAD DE MATERIA EN EL UNIVERSO

(MEDIDA POR)

" Ω "

- $\Omega = \frac{\rho}{\rho_c}$

- ρ : DENSIDAD DE MATERIA DEL UNIVERSO

- ρ_c : DENSIDAD CRITICA

SI $\rho = \rho_c \Rightarrow \Omega = 1$
 $(\rho \geq \rho_c \Rightarrow \Omega \geq 1)$

$\left\{ \begin{array}{ll} \Omega > 1 & \text{CONTRACCION} \\ \Omega < 1 & \text{EXPANSION} \end{array} \right.$

$\Omega \gtrless 1 \rightarrow$ ANALOGO
GEOMETRICO

$K = \begin{cases} -1 : \text{"PDA FUTA"} \\ 0 : \text{PLANO} \\ +1 : \text{CURVATURA POSITIVA (ESFERA)} \end{cases}$

* MASA CONFORMA UNIVERSO *

$$\Omega = 1$$

NATURALEZA DE LA MATERIA OSCURA ?

"LUZ" RELIQUIA
(400.000 años)

DESARROLLO DE
GALAXIAS, PLANETAS...

EXPANSION ACELERADA
(ENERGIA OSCURA)

INFLACION

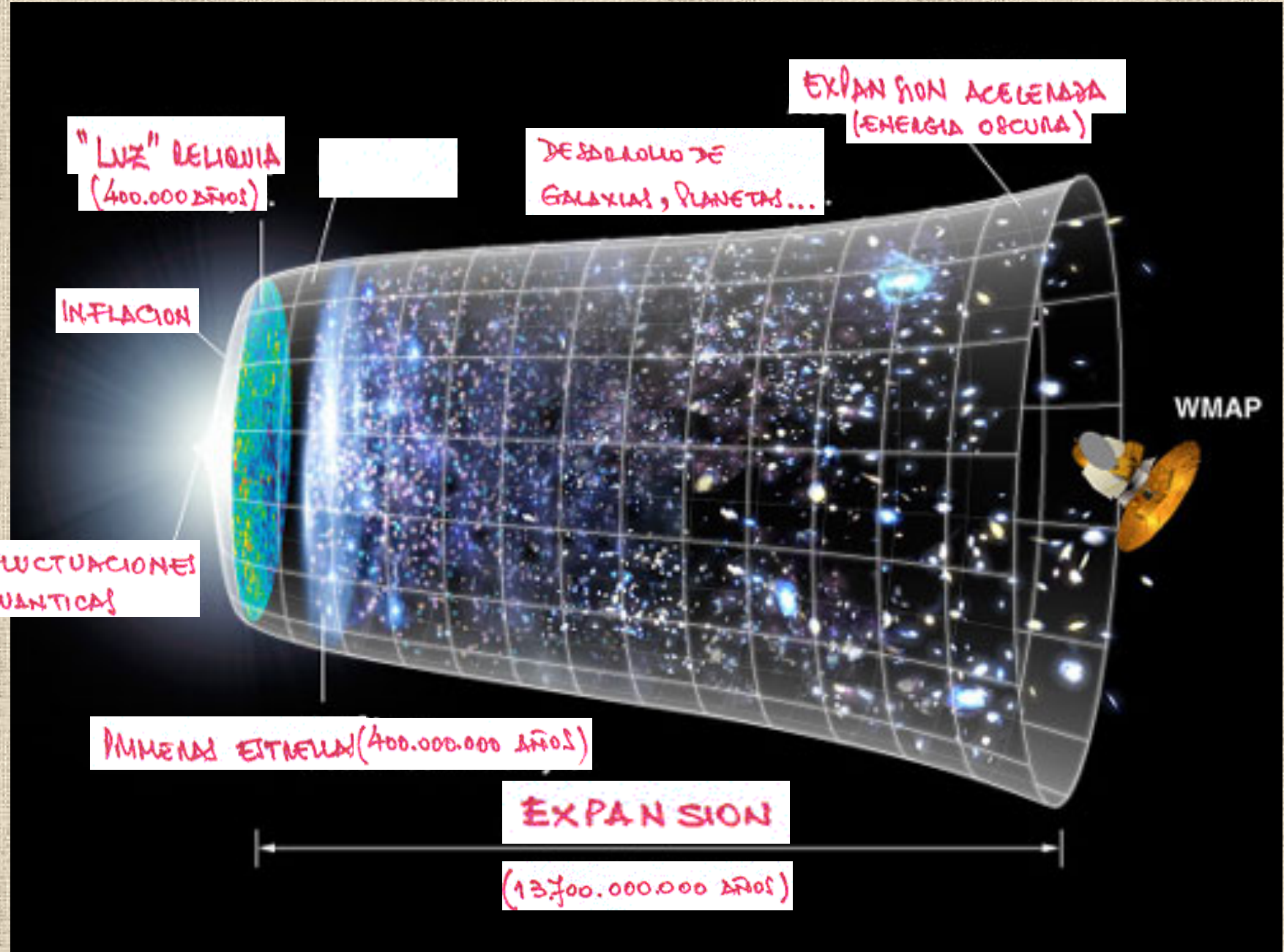
FLUCTUACIONES
CUANTICAS

PRIMEROS MINUTOS (400.000.000 años)

EXPANSION

(13.700.000.000 años)

WMAP



* SIMPLE MIRADA NOCTURNA
AL CIELO



UNIVERSO NO CAMBIA!

PERO

- NUBES PASAN
- LUNA CRECE Y DECECE
- ESTRUCTURA DEL CIELO ROTA
- PLANETAS SE MUEVEN (HAYECTO A ESTRELLAS)



FENOMENOS LOCALES

(NUESTRO SISTEMA SOLAR)

PERO

MUY LEJOS DE LOS PLANETAS :

ESTRELLAS PUEDEN
FIJAS



COSMOLOGIA ANTIGUA: ESTRELLAS FIJAS EN
ESFERA MAS ALLA DEL
ULTIMO PLANETA



* TIERRA EN EL CENTRO *

GALILEO: (TELESCOPIO)

* TIERRA NO EN EL CENTRO *

* UNIVERSO INMENSO!

↓
|| MEDIR DISTANCIAS EN TIEMPO
|| QUE TARDA LA LUZ EN RECORRERLAS

$$C \approx 300.000 \frac{\text{Km}}{\text{s}} \text{ —}$$

- 1 S-LUZ = $3 \times 10^8 \text{ m} = 300.000 \text{ Km}$
- 1 MINUTO-LUZ = $18 \times 10^6 \text{ Km}$
- 1 AÑO-LUZ $\approx 10^{13} \text{ Km}$

DISTANCIAS

TIERRA - LUNA : 1,3 seg L.

SOL : 8 min L.

ESTRELLA : 4 A.L.
(MAY CERCANA
 α CENTAURO)

CENTRO GALAXIA : 30.000 A.L.

GALAXIA ANDROMEDA : 2.500.000 A.L.

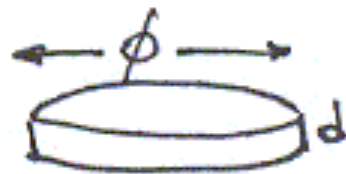
OBJETOS MUY DISTANTES : 10.000.000.000 A.L.

* MIRADA NOCTURNA \rightarrow LADEO CINTA
DE ESTRELLAS

"VIA LACTEA"

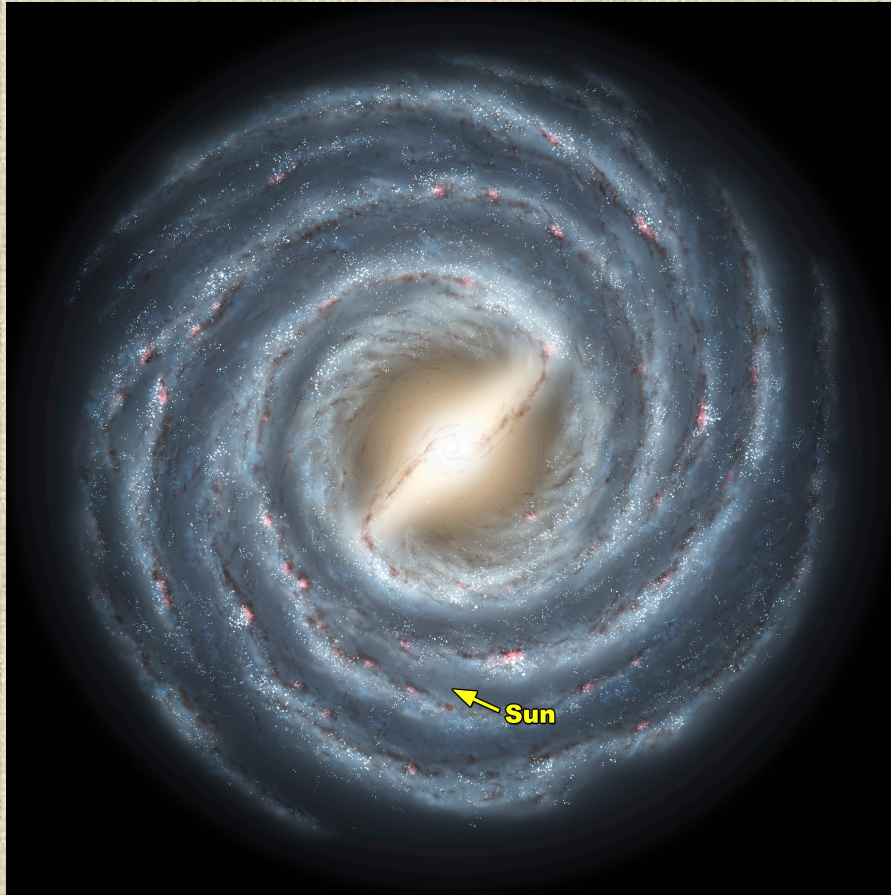
DISCO PLANO DE ESTRELLAS \equiv GALAXIA
(VIA LACTEA EN GAUERO)

VIA LACTEA: ϕ : 100.000 AÑO-LUZ

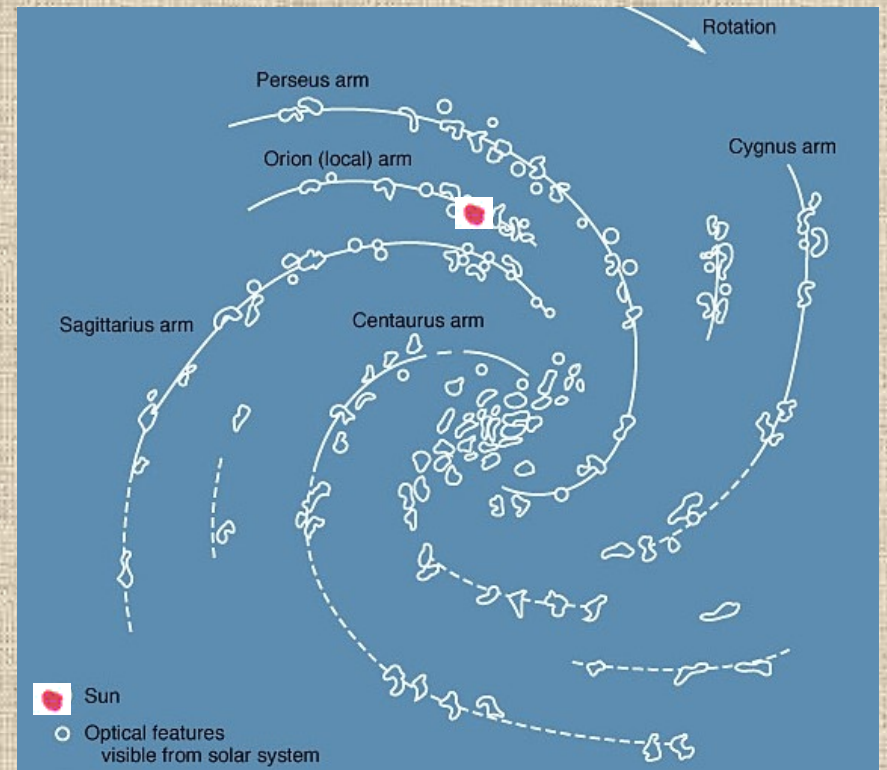


d : 2.000 AÑO-LUZ

BRAZOS ESPIRALES - NUCLEO



VIA LACTEA



"VIA LACTEA"

- DISTANCIA SOL - CENTRO : 26.000 AÑO-LUZ (NUCLEO)

- PERIODO ROTACION SOL - CENTRO : 250×10^6 AÑOS

$$\left[v = \frac{2\pi \cdot 26000 \cdot 10^{13} \text{ Km}}{2,5 \times 10^8 \text{ AÑOS} \times 3,156 \times 10^7 \frac{\text{s}}{\text{AÑO}}} \approx \boxed{200 \frac{\text{Km}}{\text{s}}} \right]$$

- MASA DE LA GALAXIA :

(SOLUESTA CONCENTRADA
EN EL CENTRO)

$$(G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ Kg}^{-2})$$

$$F = m a$$

$$G \frac{m M}{r^2} = m \frac{v^2}{r}$$

$$* M = \frac{r v^2}{G} *$$

$$\underline{M = 2 \times 10^{41} \text{ Kg}}$$

$$M_{\odot} = 2 \times 10^{30} \text{ Kg}$$



— GALAXIA \rightarrow 10^{11} ESTRELLAS —
(\sim SOL)
(100.000.000.000)

* MIRADA NOCTURNA: → NEBULAE
(NUBES)
(ADEMAS DE ESTRELLAS)

MESSEIER (1781) LAS CONTO: 103 (HOY)
[≠J: ANDROMEDA ≡ M31]

- NEBULAE:
- CONGLOMERADOS DE ESTRELLAS
 - NUBES DE GAS Y POLVO
 - OTRAS GALAXIAS (EXTRAGALACTICAS)

● HOY SE "CUENTAN": 4×10^{10} GALAXIAS

(TANTAS GALAXIAS COMO
ESTRELLAS EN LA VIA LACTEA!)

NEBULA EN ORION



GALAXIAS

MAZ CERCANO : ANDROMEDA

$(2 \times 10^6$ AÑO-LUZ)
(20 ϕ VIA LACTEA)



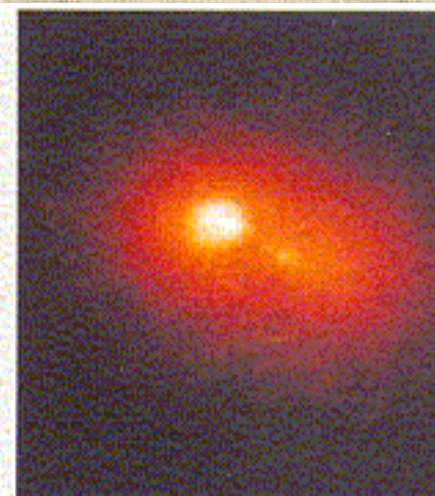
ANDROMEDA



40.000 AÑOS-LUZ



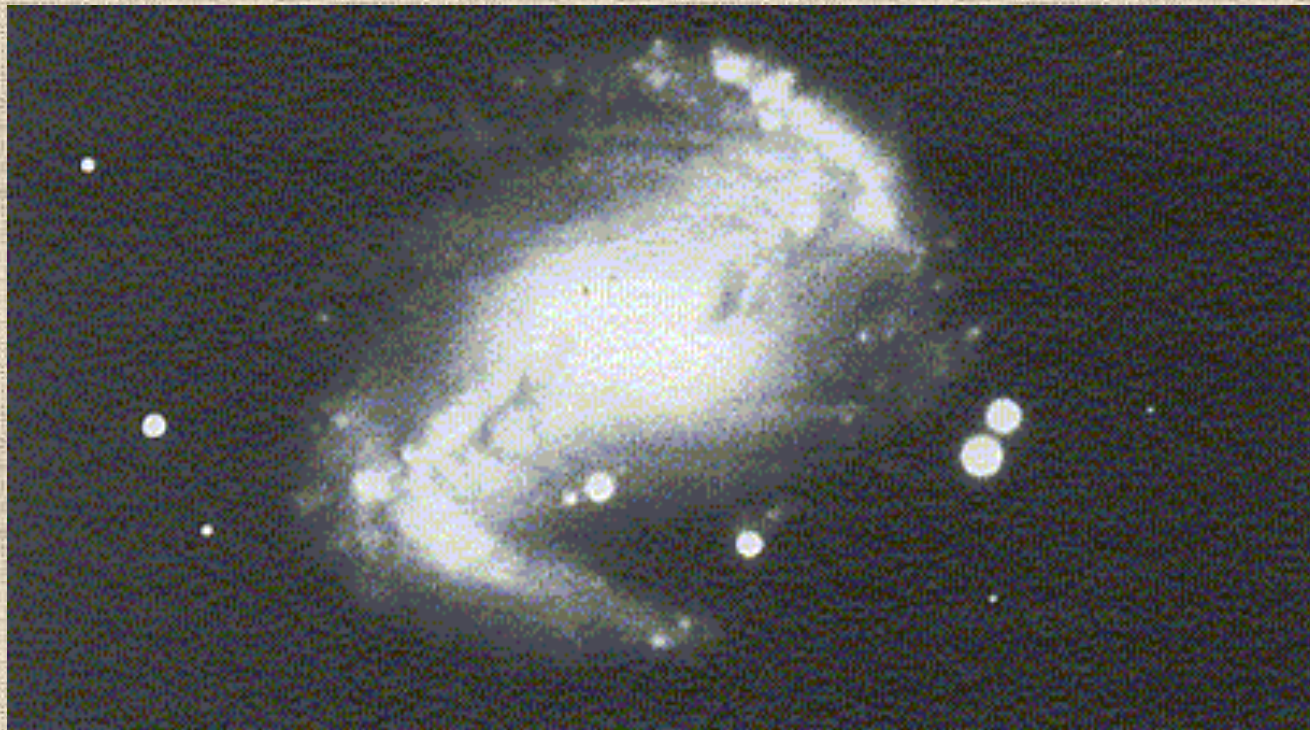
2.000 AÑOS-LUZ



40 AÑOS-LUZ

GALAXIA TIPO BARRA

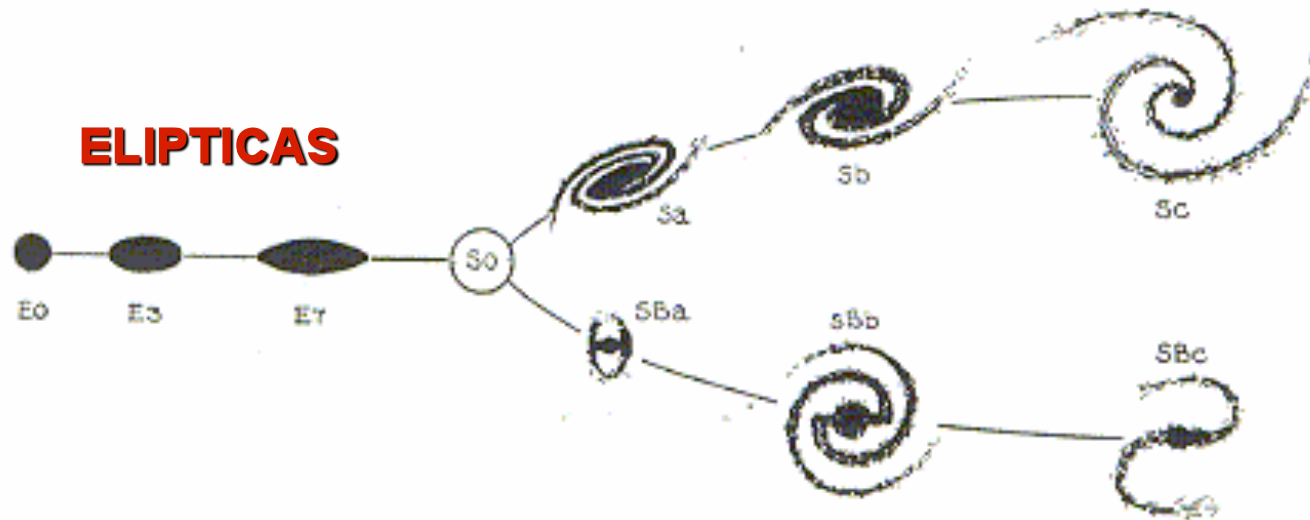
NGC 5383 EN CANES VENATICI



CLASIFICACION DE HUBBLE

ESPIRALES NORMALES

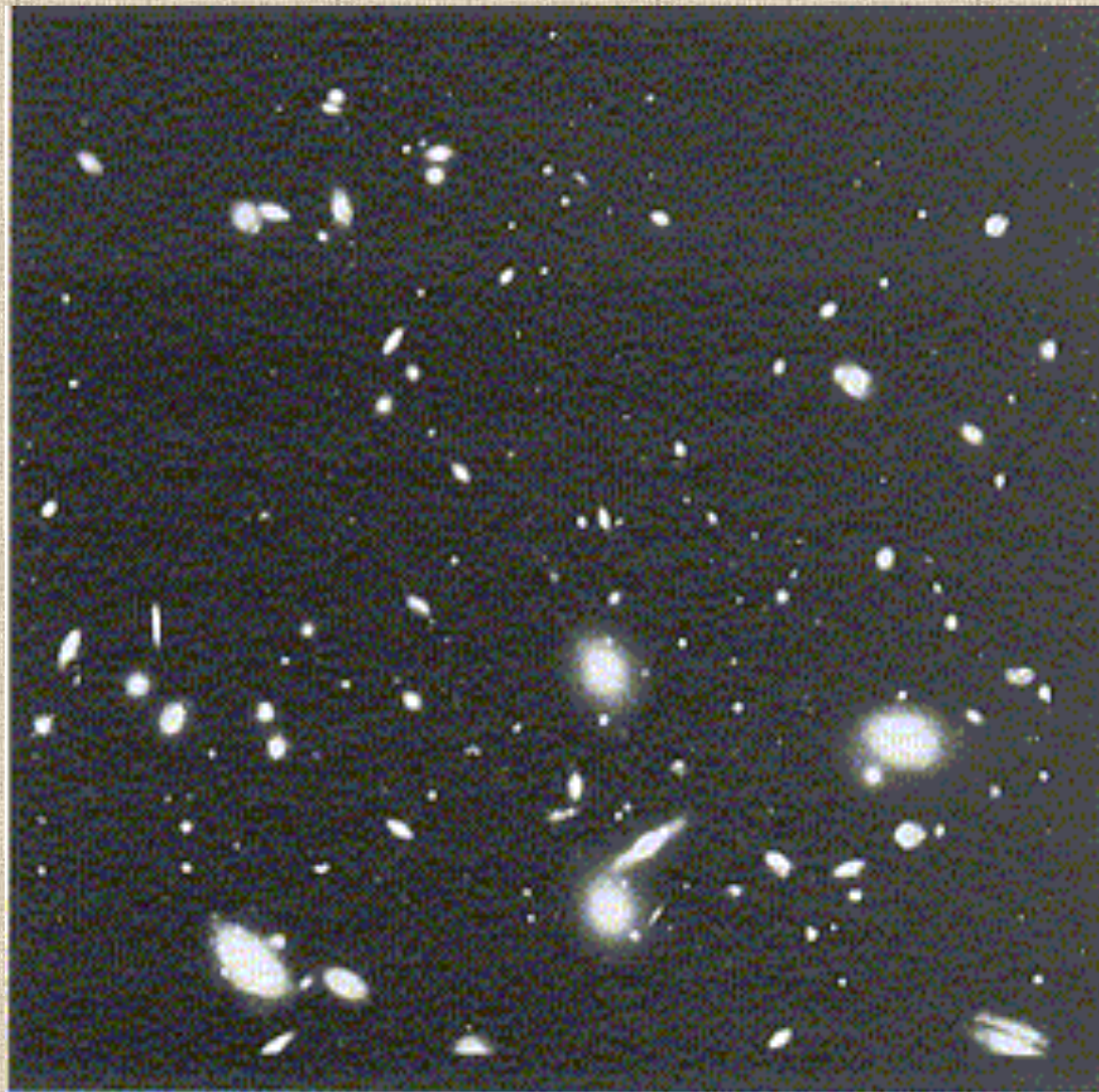
ELIPTICAS



ESPIRALES CON BARRA

CONGLOMERADO DE GALAXIAS

CL 0939+4713: UNIVERSO CON 2/3 DE SU EDAD



NUBES DE MAGALLANES (PEQUEÑA Y GRANDE)

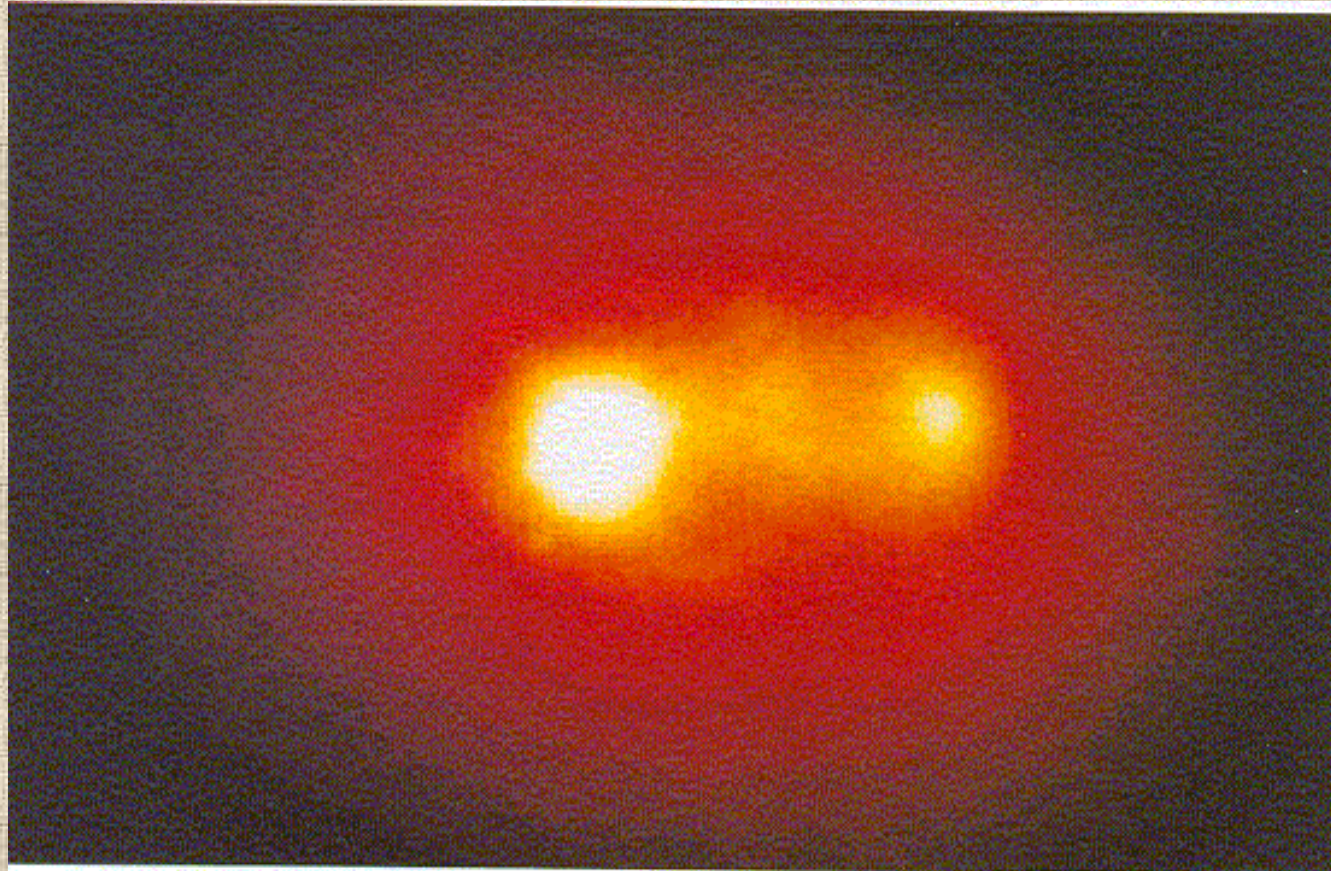
SATELITES DE LA VIA LACTEA



NUCLEO DE M32: BLACK HOLE

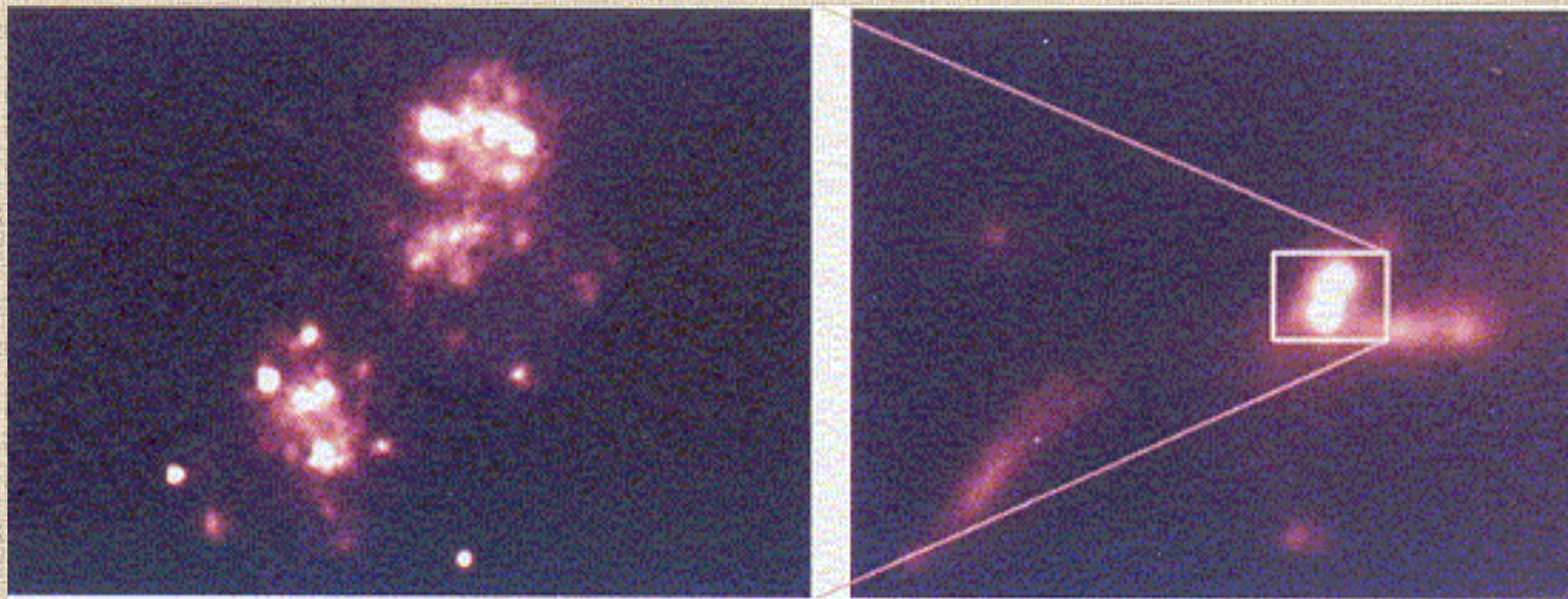


GALAXIA MARKARIAN 315 CON 2 NUCLEOS SEPARADOS 6.000 AÑOS-LUZ



CHOQUE DE DOS GALAXIAS

NUCLEOS SEPARADOS 3.000 AÑOS LUZ



* MIRADA NOCTURNA → INNUMERABLES
ESTRELLAS

* HACEN - VIVEN - MUEREN

(ESCA TEMPORAL GRANISIMA)

ESTRELLAS ≡ ESFERAS LUMINOSAS DE GAS
(AUTO)

EJ: SOL ☉

* GRAN VARIACION:

- NUEVAS
- SUPERNOVAS
- SUPERGIGANTES CALIENTES
- ENANAS BLANCAS
- CATACLISMICAS
- ENANAS ROJAS
- DE NEUTRONES

BLACK HOLES

CARACTERÍSTICAS:

- **L: LUMINOSIDAD**

$$L_{\odot} = 4 \times 10^{26} \text{ W/s}$$

- **M: MASA**

$$0.1 M_{\odot} > M > 100 M_{\odot}$$

- **R: RADIO**

$$0.1 R_{\odot} > R > 10 R_{\odot}$$

$$R_{E.B.} \approx R_{TIERRA}$$

$$R_{E.N.} \approx 15 \text{ km}$$

$$(M_{E.N.} \approx \text{VARIAS } M_{\odot})$$

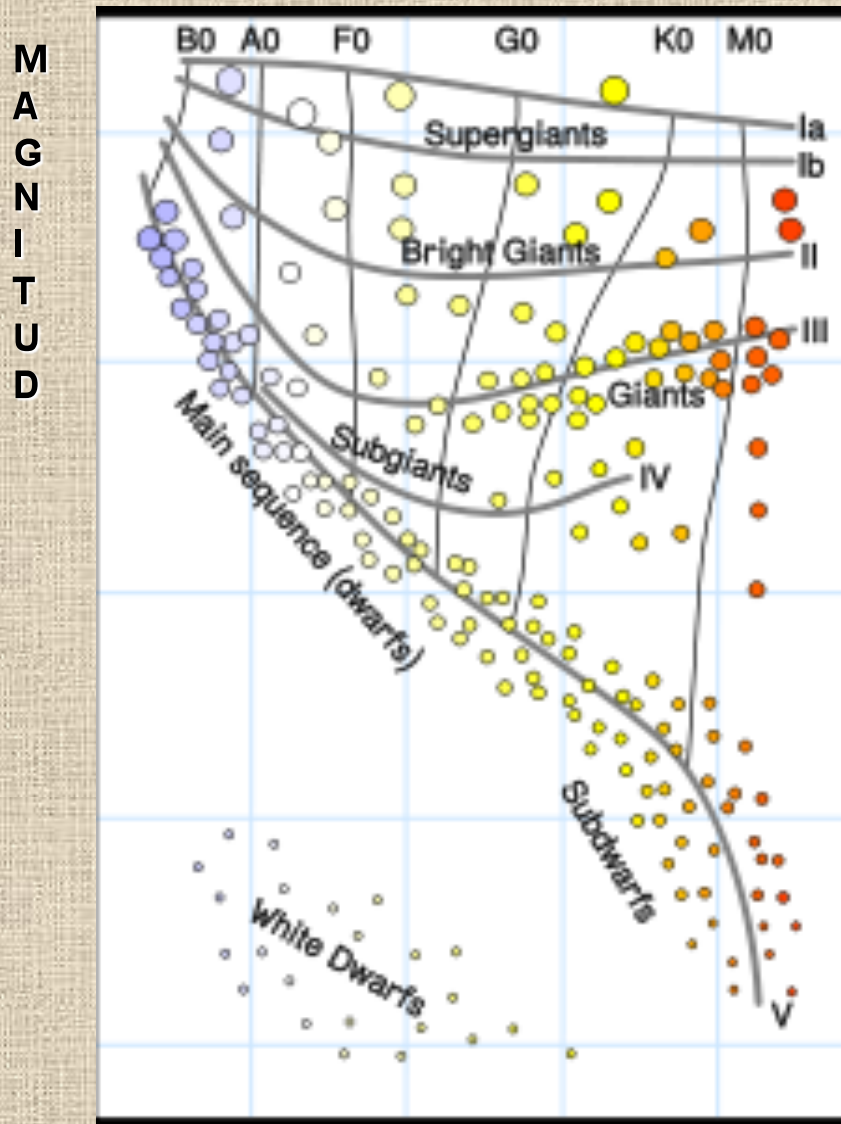
- **TEMPERATURA (EN °K (NO UNIDADES SOLARES))**

- $T_{\odot} (\text{NÚCLEO}) \approx 15 \times 10^6 \text{ °K}$

- $T_{\odot} (\text{SUPERFICIE}) \approx 5750 \text{ °K}$

- $T_{s.c.} (\text{SUPERFICIE}) \approx 200.000 \text{ °K}$

* DIAGRAMA DE HERTZSPRUNG - RUSSELL



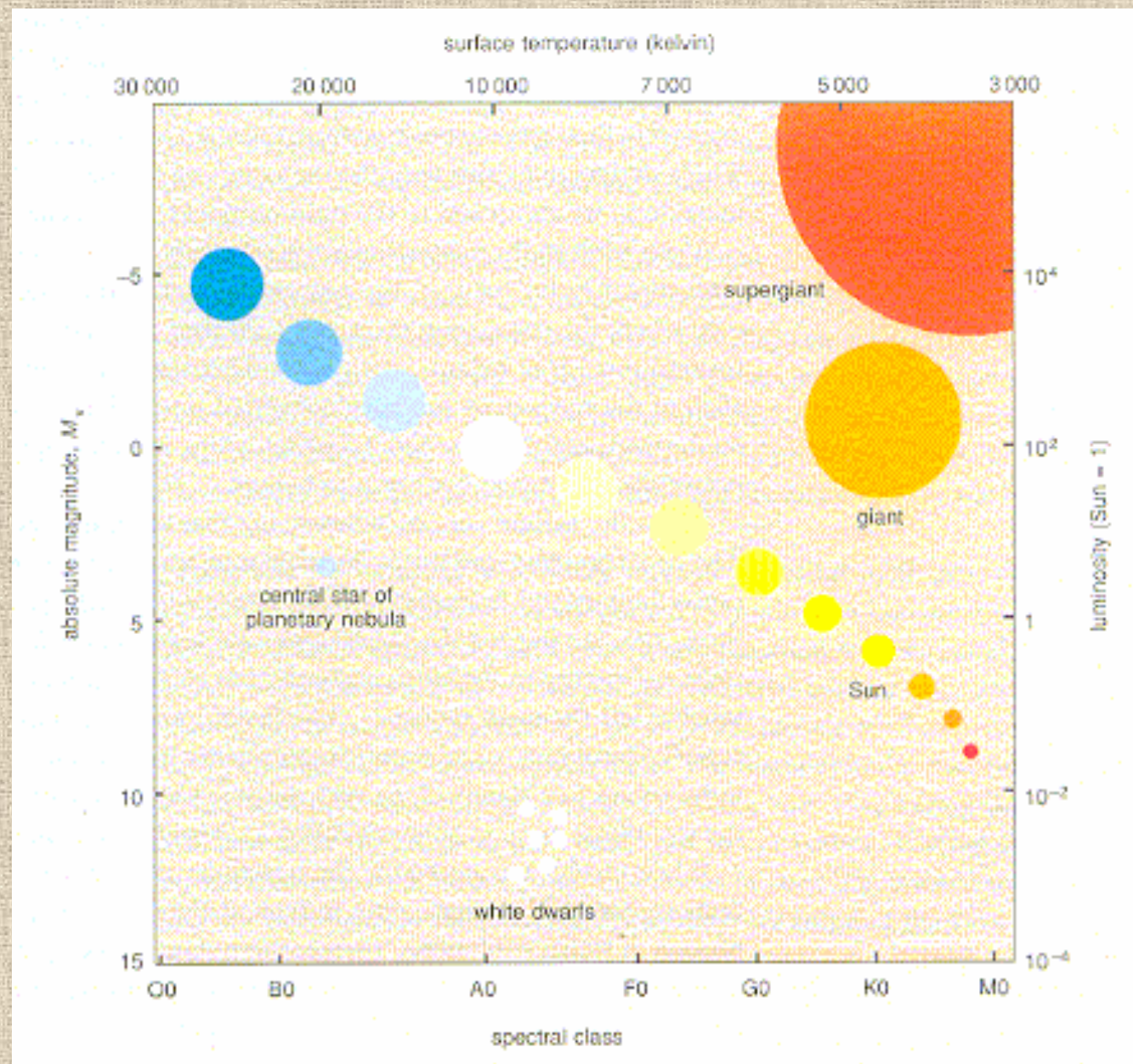
LUMINOSIDAD

T ESTIMADA POR EL COLOR O ESPECTRO

L ESTIMADA POR LA MAGNITUD ABSOLUTA

(SI ESTUVIERE Δ 10 PULSARS)

TEMPERATURA



* DISTANCIA A ESTRELLA USANDO HR :

• ESTRELLA EN LA SECUENCIA PRINCIPAL

• MEDIDA $\Rightarrow I = 10^{-12} \text{ W/m}^2$

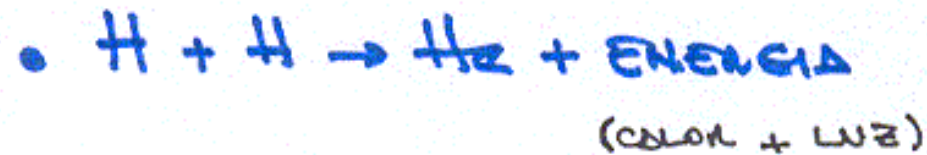
$$\lambda_p \approx 600 \text{ nm}$$

WIEN $\Rightarrow T \approx 4.800 \text{ }^\circ\text{K}$

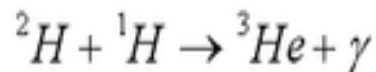
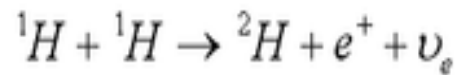
HR $\Rightarrow L \approx 10^{26} \text{ W}$

$$L = 4\pi D^2 I \Rightarrow D = \sqrt{\frac{L}{4\pi I}} \approx 3 \cdot 10^{18} \text{ m} \\ (300 \text{ a.l.})$$

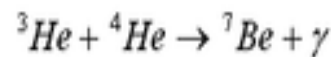
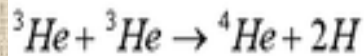
"COMBUSTIBLE" SOLAR: FUSION NUCLEAR



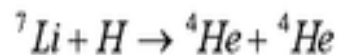
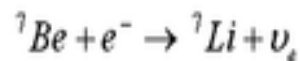
Cadenas PP



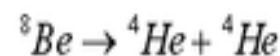
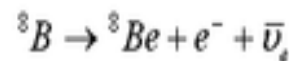
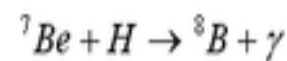
PPI



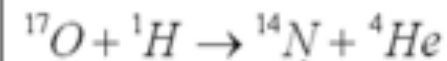
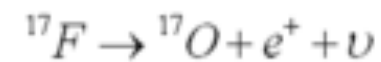
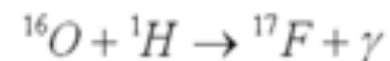
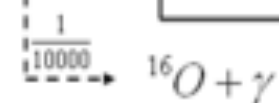
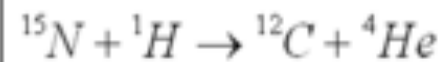
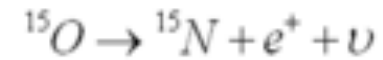
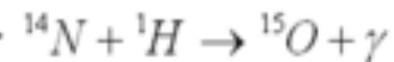
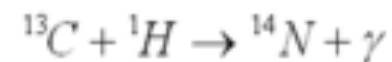
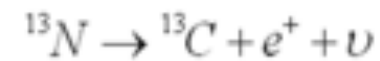
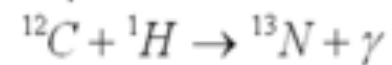
PPII



PPIII



Ciclo CNO



SECUENCIA PRINCIPAL

RELATIVAMENTE ESTABLE

(INICIALMENTE TODO H \rightarrow He)

$\sim 10\%$ DE LA MASA



INESTABLE

☉: 5×10^9 AÑOS EN LA SECUENCIA PRINCIPAL
LE RESTAN OTROS 5×10^9 AÑOS

INESTABLE



COMIENZA "LA DIVERSIÓN"

NUCLEO SE CONTAGNE \rightarrow AUMENTA T \rightarrow

* $\text{He} + \text{He} \rightarrow$ ELEMENTOS MAS PESADOS
FUSION

\downarrow
LA ESTRELA "ENGORDA"
 \downarrow
GIGANTE

(DEJA LA SECUENCIA PRINCIPAL)

FUSION HASTA F_2 ! \rightarrow ESTACIONARIEDAD

"QUEBRO" F_2 NECESITA MAS ENERGIA QUE LA QUE LE PRODUCE

Pero: λ ES MUY MASIVA \rightarrow EL NUCLEO COLAPSA



LA PARTE EXTERNA SE DESINTEGRA

* EXPLOSION DE SUPERNOVA *

— "FUENTE" ALTAMENTE DEPENDIENTE DE LA MASA —

(CON QUE TERMINA)

~ SOL: $H \rightarrow He \rightarrow \text{RENDOL} \rightarrow Fe \rightarrow \text{GIGANTE ROJA}$

SE CONTRAHE \rightarrow SE ENFRIA \rightarrow ENANA BLANCA

(GRAVITACION)

(TAMAIÑO DE LA TIERRA)

~ $1.4 M_{\odot} < M < 3 M_{\odot}$

SE CONTRAEN A

ESTRELLAS DE NEUTRONES

(GRAVEDAD DEMONIA $e + p \rightarrow n$)

~ $M > 3 M_{\odot}$: SE CONTRAEN AUN MAS



BLACK HOLE

(LA LUZ NO PUEDE ESCAPAR)

(SOLO RADIACION DE HAWKING)

ASTROFISICA

ASTROFISICA

ASTRONOMIA

FISICA

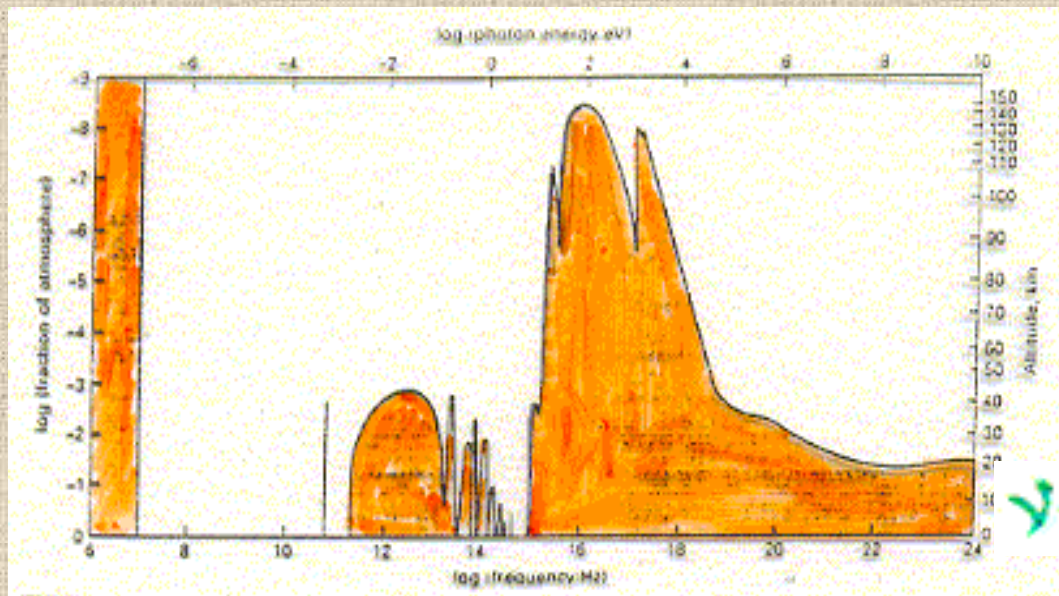
UNIVERSO

ASTRONOMIAS

- → 1945 : ASTRONOMIA EN LA GAMA OPTICA
- 1945 → : RADIO, MILIMETRICA, INFRAROJA ULTRAVIOLETA, X, γ



ASTROFISICA DE ALTAS ENERGIAS

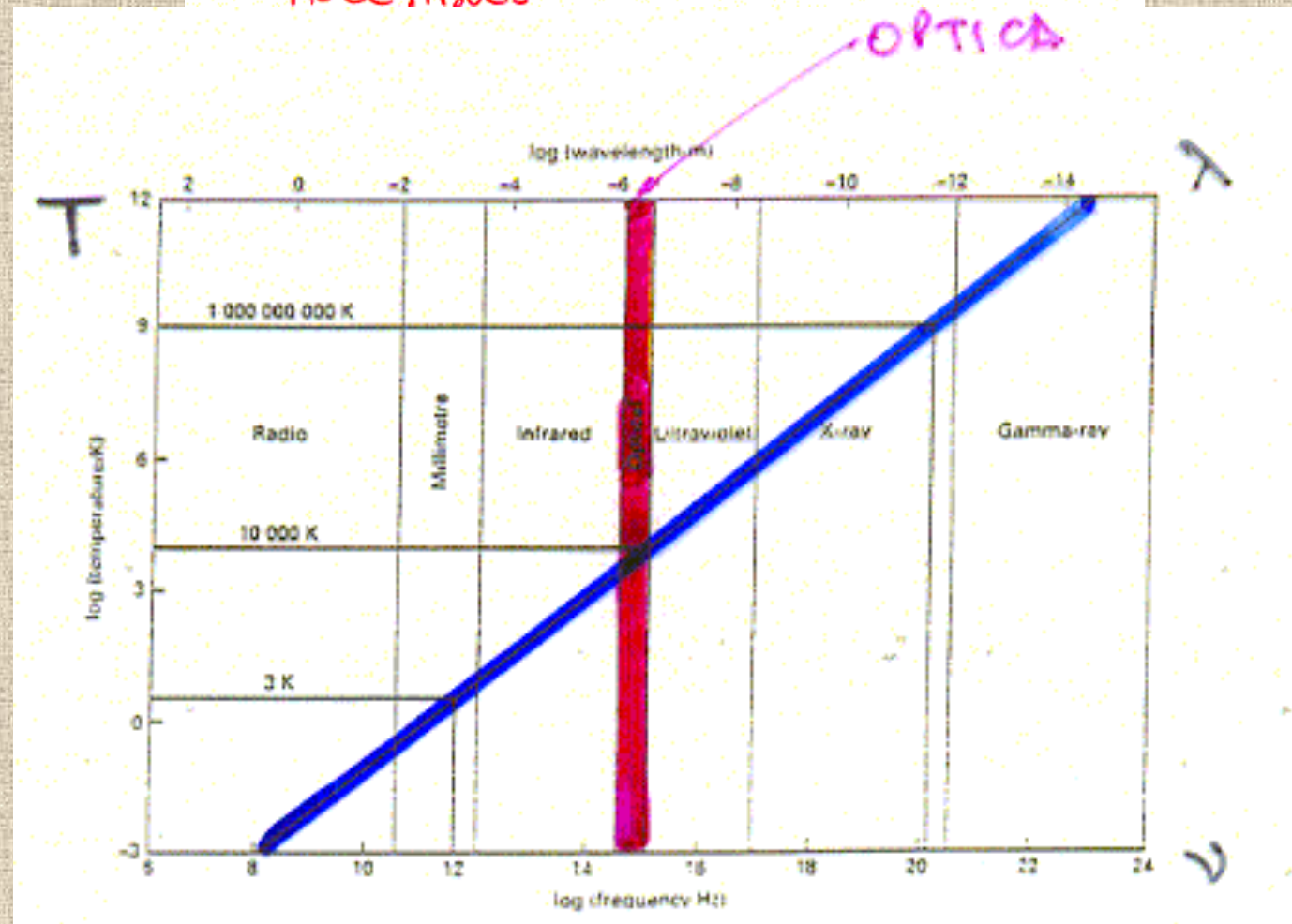


ALTURA SOBRE EL NIVEL DEL MAR
A LA CUAL LA ATMOSFERA SE
HACE TRANSPARENTE PARA CADA

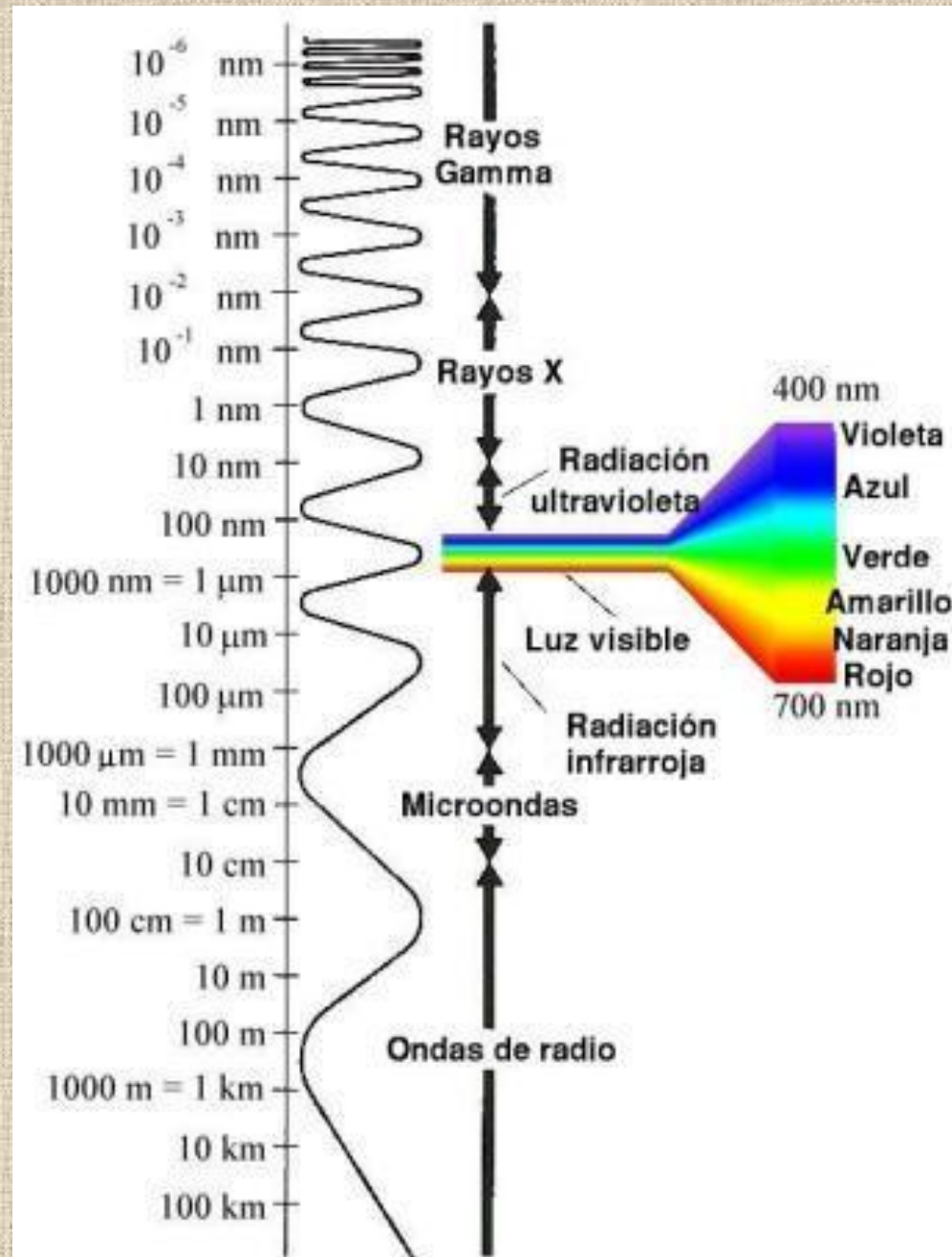




INCREMENTO DEL RANGO DE TEMPERATURAS
ACCESIBLES



$$\lambda_{\text{max}} = \frac{K}{T} 3 \times 10^6 \text{ nm}$$



● RADIO ASTRONOMIA

● BANDA : $3 \times 10^6 \leq \nu \leq 3 \times 10^{10} \text{ Hz}$
($3 \text{ MHz} \leq \nu \leq 30 \text{ GHz}$)
 $100 \text{ m} \geq \lambda \geq 1 \text{ cm}$

* ESPECTRO DE RADIO \neq ESPECTRO DE RADIACION
TERMICA DE UN GAS
CALIENTE

* EMISION : RADIACION SINCHOTRON
(ELECTRONES ULTRARELATIVISTAS
ESPIRALANDO EN CAMPOS MAGNETICOS)

● 1960-1970: FUENTES SON LOS NUCLEOS ACTIVOS
DE LAS GALAXIAS (EXPLUSION DE
ENERGIA EN JETS DE PLASMA RELATIVISTA)

↑
NUEVA COMPONENTE
DEL UNIVERSO

FUENTES DE RADIO → OTROS DESCUBRIMIENTOS

- SUPERNOVAS : ESTRELLAS EN EXPLORACION
(FUENTES PODEROSAS DE PLASMA RELATIVISTA)
- N-GALAXIAS : NUCLEOS MUY BRILLANTES
(1950) (GRAN ACTIVIDAD DE ALTAS ENERGÍAS)
- QUASARS : (QUASI-STELLAR-RADIO-SOURCES)
(1960) INTENSA RADIACION OPTICA NO TERCICA
(~1000 VECES MAYOR QUE LA DE LA GALAXIA MADRE)

- B-L LAC : (BL-LACERTAE) ~ QUASARS
(1968) (FUENTES MAI PODEROSAS CONOCIDAS)



— IMPORTANCIA COSMOLÓGICA (LEJANOS, EMITIERON CUANDO EL UNIVERSO ERA $< 1/5$ DE HOY)

- PULSARES : FUENTES DE EMISIÓN DE RADIO PULSADA ESTABLE
(1967) (~18g) ESTAS LNAS DE NEUTRONES ROTANTES
(BELL + HEWISH) MAGNETIZADAS (EN 3×10^8) ($\rho_{\text{cent}} \approx 10^{18} \dots 10^{19} \text{ kg/m}^3$)



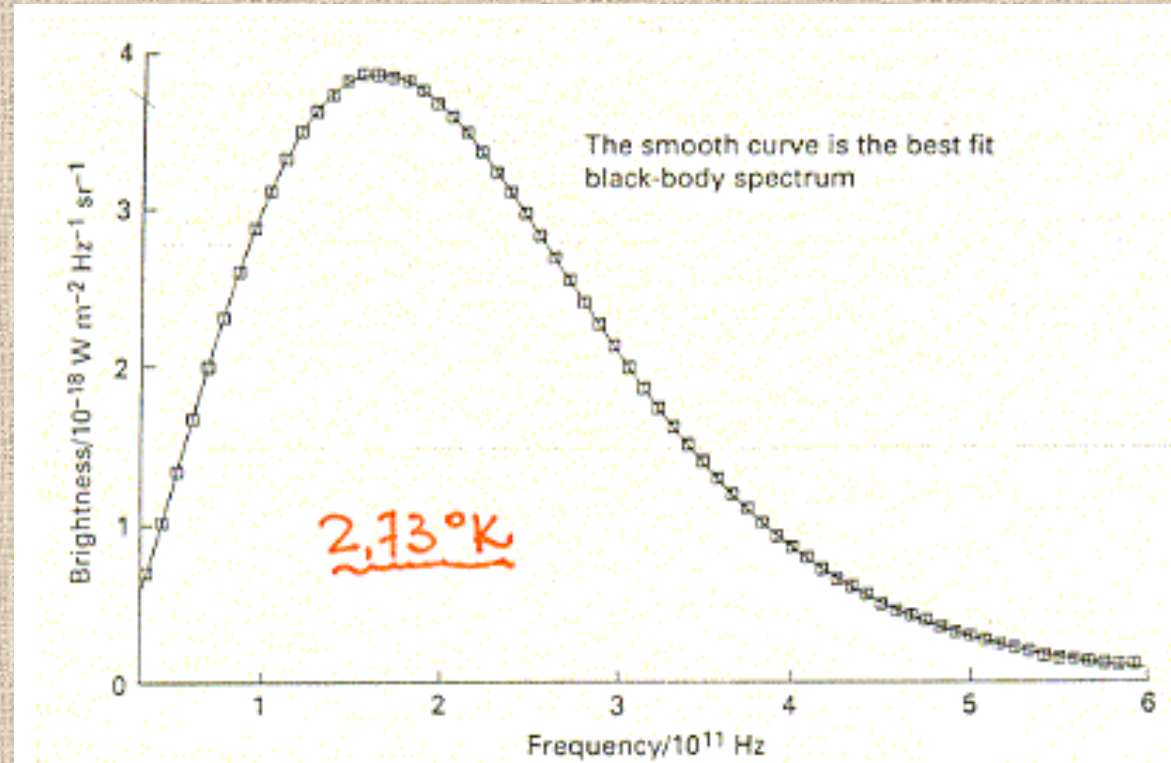
MBR : RADIACION DE FONDO

(1965)

(PENZIAS + WILSON)

~ CUERPO NEGRO PERFECTO

~ ISOTROPICA (COSE DIFUSO $\sim 10^{-3}$)



● ASTRONOMIA X y γ

- RAYOS X:

$$3 \times 10^{16} \leq \nu \leq 10^{19} \text{ Hz}$$

$$10 \text{ nm} \geq \lambda \geq 0.01 \text{ nm}$$

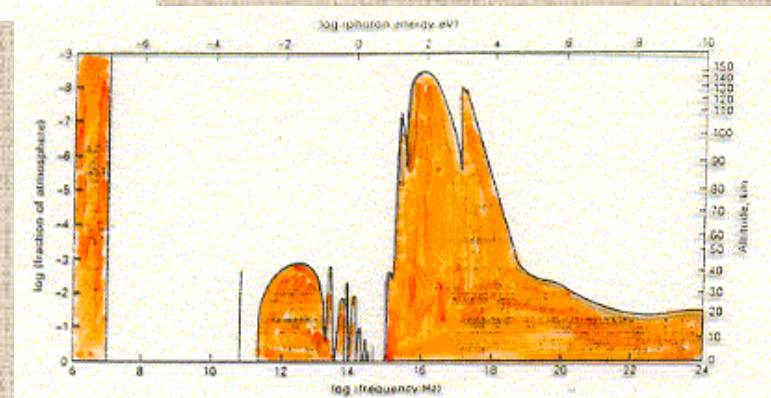
$$0.1 \text{ keV} \leq E \leq 100 \text{ keV}$$

* ATMOSFERA OPAca (ABSORCION FOTOELECTRICA POR LOS ATOMOS)

* DETECTORES ~ FISICA DE PARTICULAS
(CONTADORES PROPORCIONALES
CENTELLADORES, CCD)



ASTRONOMIA DE GRANDES ALTITUDES



- EMISOR COMPACTO DE RAYOS X \equiv MIEMBRO DE UN SISTEMA BINARIO (ECLIPANTE)



FUENTES PULSANTES DE RAYOS X

\equiv ESTRELLA DE NEUTRONES (ROTANTE Y MAGNETIZADA)

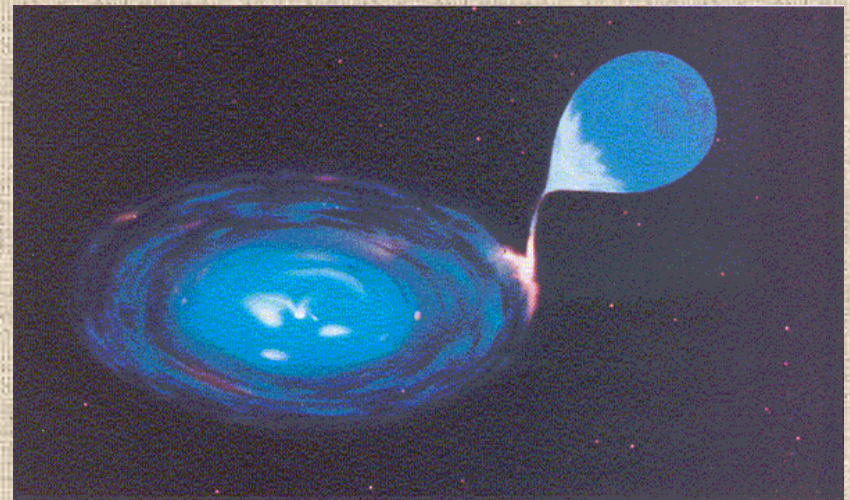
* PERO LA FUENTE ES LA CAIDA DE MATERIA HACIA LA ESTRELLA DENSA DESDE LA PRIMAria



PROCESO DE ACRECENCIA



BLACK HOLE



- RAYOS γ

$$\nu \geq 3 \times 10^{19} \text{ Hz}$$

$$\lambda \leq 0.01 \text{ nm}$$

$$E \geq 100 \text{ keV}$$

ESTUDIOS FUERA DE LA ATMOSFERA

* (100 keV - 1 MeV : ABSORCIÓN FOTOELECTRICA)

* ($E > 1 \text{ MeV}$: COMPTON + e^+e^-)

DETECTORES COMO EN FÍSICA DE PARTICULAS
(EN SATELITES)

* ($E \geq 10^{11} \text{ eV} \Rightarrow$ RAYOS γ INICIAN CASCADAS
ELECTROMAGNETICAS EN LA
ALTA ATMOSFERA)



DETECCIÓN INDIRECTA A NIVEL TIERRA

* ORIGEN (PARA $E_\gamma \geq 100 \text{ MeV}$): $\pi^0 \rightarrow 2\gamma$

(π^0 GENERADOS EN CHOQUES NUCLEOS-MOLECULAS DEL GAS INTERESTELAR Y CHOQUES DE PROTONES COSMICOS CON NUCLEOS)

* ORIGEN (E_γ MENORES \rightarrow BACKGROUND):

COMPTON INVERSO Y BREMSSTRAHLUNG
(PROCESOS NO-TERMICOS)

- ASTRONOMIA INFRARROJA

$$3 \times 10^{12} \text{ Hz} \leq \nu \leq 3 \times 10^{14} \text{ Hz}$$
$$100 \mu\text{m} \geq \lambda \geq 1 \mu\text{m}$$

- PARTE OBSERVABLE EN LA TIERRA
- PARTE SOLO OBSERVABLE FUERA DE LA ATMOSFERA

- ASTRONOMIA ULTRAVIOLETA

$$10^{15} \text{ Hz} \leq \nu \leq 3 \times 10^{16} \text{ Hz}$$
$$300 \text{ nm} \geq \lambda \geq 10 \text{ nm}$$

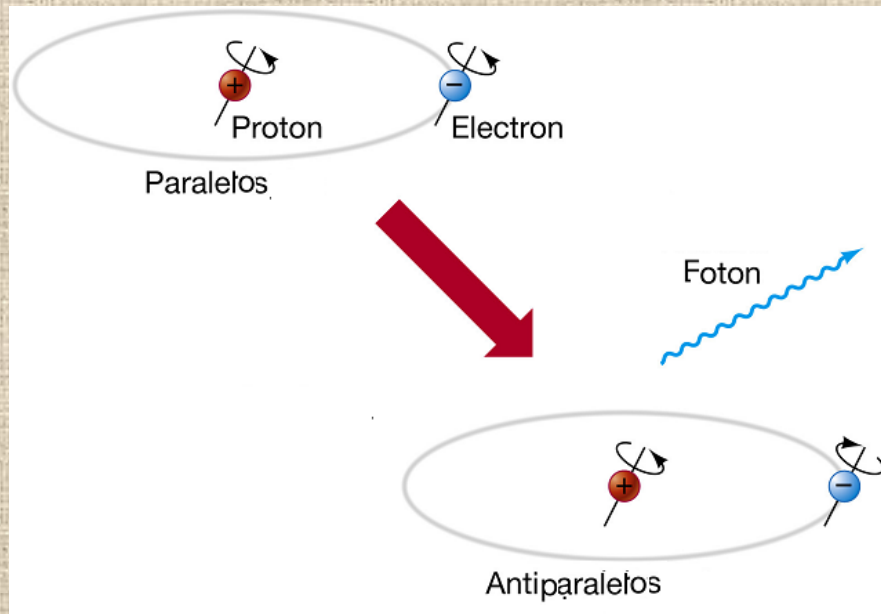
- ATMOSFERA OPACA (OZONO - ABSORCION MOLECULAR)



- OBSERVACION EN ALTURA:

● ASTRONOMIA DEL HIDROGENO

- H NEUTRO: LINEA DE 21 CM (INTERACCION HIPERFINA)
(MUY DELGADA !)



MEDIDA EXCELENTE DE LOS CAMPOS DE VELOCIDAD
EN LAS GALAXIAS

- RADICAL OH: DETECCION POR TECNICAS DE RADIO
(FUENTE A $T > 10^9$ OK.)
(DECCION HABER)
- MUCHAS OTRAS LINEAS MOLECULARES
(CM, MM, SUB MM) (NH_3 , H_2O (VARIA), ETANO)

↓
"QUIMICA INTERESTELAR"

- ASTRONOMIA OPTICA (LA "VIEJA")

→ 1945 : TECNICAS FOTOGRAFICAS

1960-90 : DETECTORES ELECTROOPTICOS

(CCD: CHARGE-COUPLED DEVICES)

[EFICIENCIA CUANTICA 60-70% (500-1000 nm)]



- DATOS DIGITALES

- GRAN CANTIDAD DE MASA DEL UNIVERSO EN ESTRELLAS
CON $m_s \sim 10 M_{\odot}$



— EMISION MAYOR EN LA REGION OPTICA —

● ASTRONOMIA TEORICA

- NUEVOS DATOS : MATERIA EN CIRCUNSTANCIAS NO REALIZABLES EN LABS TERRESTRES
- NUEVAS COMPUTACIONES : CODIGOS
- AVANCES TEORICOS :
 - FISICA NUCLEAR
 - SUPERCONDUCTIVIDAD (FUIDER)
 - TEORIA ELECTRODEBIL
 - FISICA DEL PLASMA

TEST DE TEORIAS ($E \sim M_P$ / SOLO EN EL BIG-BANG)

● ASTROFISICA DE ALTAS ENERGIAS:

* PROCESOS DE ALTAS ENERGIA ← FISICA DE PARTICULAS

EJEMPLOS:

- BLACK HOLES HABITADOS EN NUCLEOS GALACTICOS ACTIVOS
- ACELERACION DE PARTICULAS EN MEDIOS ASTRONOMICOS
- ORIGEN DE FUJOS DE PARTICULAS MUY ENERGETICAS
- PROCESOS EN ESTRELLAS DE NEUTRONES



* CONDICIONES NO REPRODUCIBLES EN EL LAB *



- APLICACIONES DE LAS LEYES FISICAS A CONDICIONES EXTREMAS
- EVENTUAL APARICION DE NUEVA FISICA

● EJ: DEMOSTRACION DE LA PERDIDA POR RADIACION GRAVITACIONAL EN UN PULSAR BINARIO

~ APROXIMACION DADA EN EL ESTUDIO DE RAYOS COSMICOS

CANALES DE INFORMACION

● i) RADIACION ELECTROMAGNETICA

- RAYOS γ • RAYOS X • ULTRAVIOLETA
- VISIBLE • INFRAROJO • RADIO

● ii) PARTICULAS DE RAYOS COSMICOS

- ELECTRONES • PROTONES • NUCLEOS (ALTA ENERGIA)
- NEUTRONES • MESONES • ANTIHATERIA (INESTABLES)
- MUONES

● iii) NEUTRINOS Y ANTINEUTRINOS

- ν_e • $\bar{\nu}_e$ • ν_μ • $\bar{\nu}_\mu$ • $\nu_\tau^{(-)}$

● iv) ONDAS GRAVITACIONALES

● i) RADIACION ELECTROMAGNETICA

BIEN CONOCIDA

● ii) PARTICULAS DE RAYOS COSMICOS

* $v_{\text{PRC}} \leq c$ (VELOCIDAD DE RADIACION E.M.)

* $m_{\text{PRC}} > 0$

* Si $q_{\text{PRC}} \neq 0 \Rightarrow$ DEFLECTADAS POR \vec{B}

(PROBUELA PARA DETERMINAR LA DIRECCION DE LA FUENTE) (E.M. \Leftrightarrow GRAVITATORIO)

* ALIMENTAMOS LA QUIMICA DEL UNIVERSO

* ACCELERADORES (?)

● iii) NEUTRINOS Y ANTINEUTRINOS

UNICAS PARTICULAS DE ALTA ENERGIA DE ORIGEN COSMICO
GENUINO

- * $m_\nu \approx 0 \rightarrow$ NO SON ABSORBIDOS POR LA MATERIA
(“RADIOGRAFIA” DEL INTERIOR DE ESTRELLAS)
- * INFORMACION DEL PASADO REMOTO
(~ SOLO SUFICIENTE PERDIDA DE E POR EXPANSION)
- * ¿CÓMO DECODIFICAR ESTA INFORMACION?
- * PRODUCCION DE LOS NEUTRINOS SOLARES!

● iv) ONDAS GRAVITACIONALES

- * INFORMACION SOBRE EL MOVIMIENTO DE CUERPOS MASIVOS
- * DETECCION ?

RAYOS COSMICOS

• ¿QUÉ SON?

- PARTICULAS CÓSMICAS ALCANZAN LA ATMÓSFERA TERRESTRE

$$\sim 1000 \frac{\text{PARTICULAS}}{\text{m}^2 \text{ seg}}$$

- NUCLEOS $\sim 90\%$ PROTONES

$\sim 9\%$ α

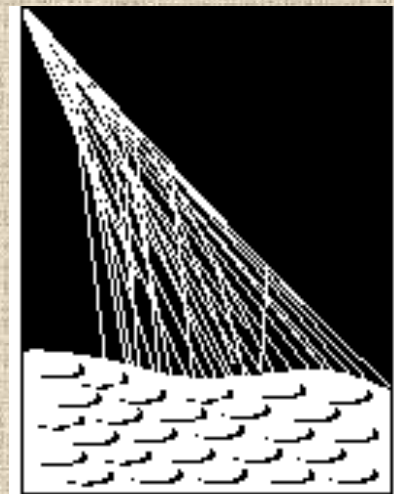
$\sim 1\%$ NUCLEOS MAS PESADOS

- ALTAS ENERGÍAS ($E \gtrsim m$) RELATIVISTAS

- ALGUNOS CON $E \sim 10^{20}$ eV ≈ 20 Joules
 $\approx 10^{11} m_p$

- ¿DE DÓNDE VIENEN?

- ¿CÓMO SON ACELERADOS A ESAS ENERGÍAS?



PIERRE
AUGER
OBSERVATORY

DE DONDE:

- PRACTICAMENTE TODOS DESDE FUERA DEL SISTEMA SOLAR

■ SI FUEREN DE ORIGEN SOLAR:

- RE VALIDACION RAPIDA EN ASOCIACION TEMPORAL CON EVENTOS VIOLENTOS EN EL SOL (SOLAR WIND)

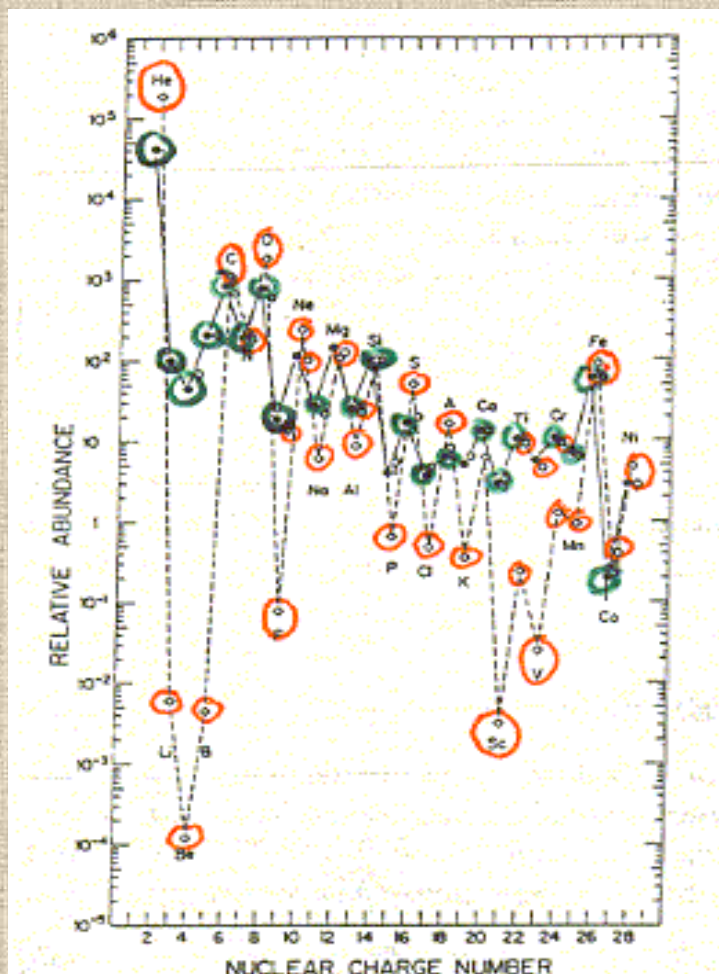
PERO:

PRACTICAMENTE TODOS EN ANTICORRELACION CON LA ACTIVIDAD SOLAR



RAYOS CÓSMICOS SE ORIGINAN
FUERA DEL SISTEMA SOLAR

- "QUIMICA": ABUNDANCIA RELATIVA DE DIFERENTES NUCLEOS COMPARADA CON LA DEL SISTEMA SOLAR
MUY DIFERENTES



* \bigcirc : ABUNDANCIA EN RADIACION COSMICA

* \bigcirc : ABUNDANCIA EN EL SISTEMA SOLAR

* $Z > 1$: MUCHO MAS ABUNDANTES EN RAYOS COSMICOS (?) (COMPOSICION DE LA FUENTE?)

● RADIACION COSMICA → PARTICULAS "ELEMENTALES"

POSITRON (1932): ANDERSON

MESOTRON (1936): MILIKAN-ANDERSON (n)

EXTRAÑAS (1947)

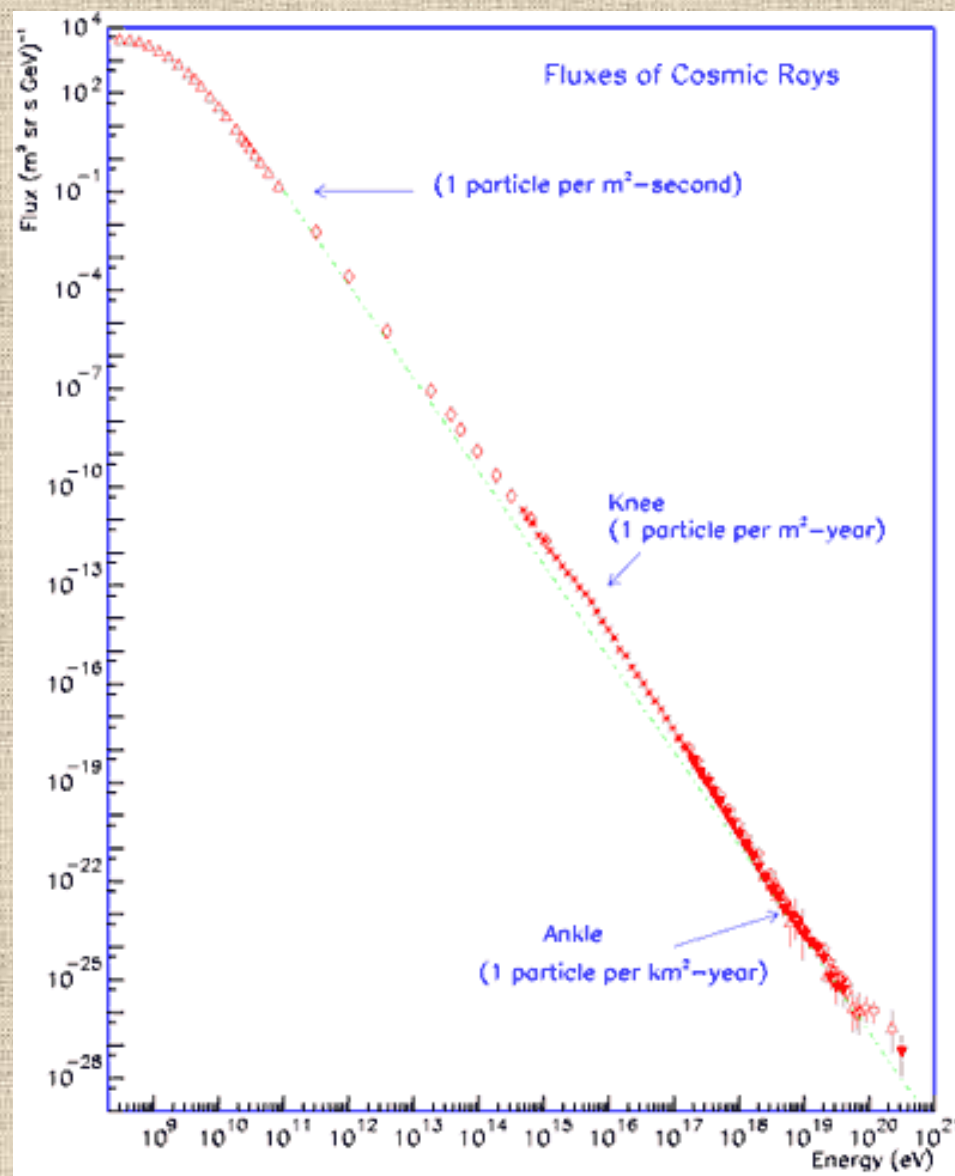
π (1947): POWELL + OCHS + LATES

Ξ^- (1952) Σ (1953): PIC DU HIDI

⋮

WENDAS COSMICAS (AUGER...)

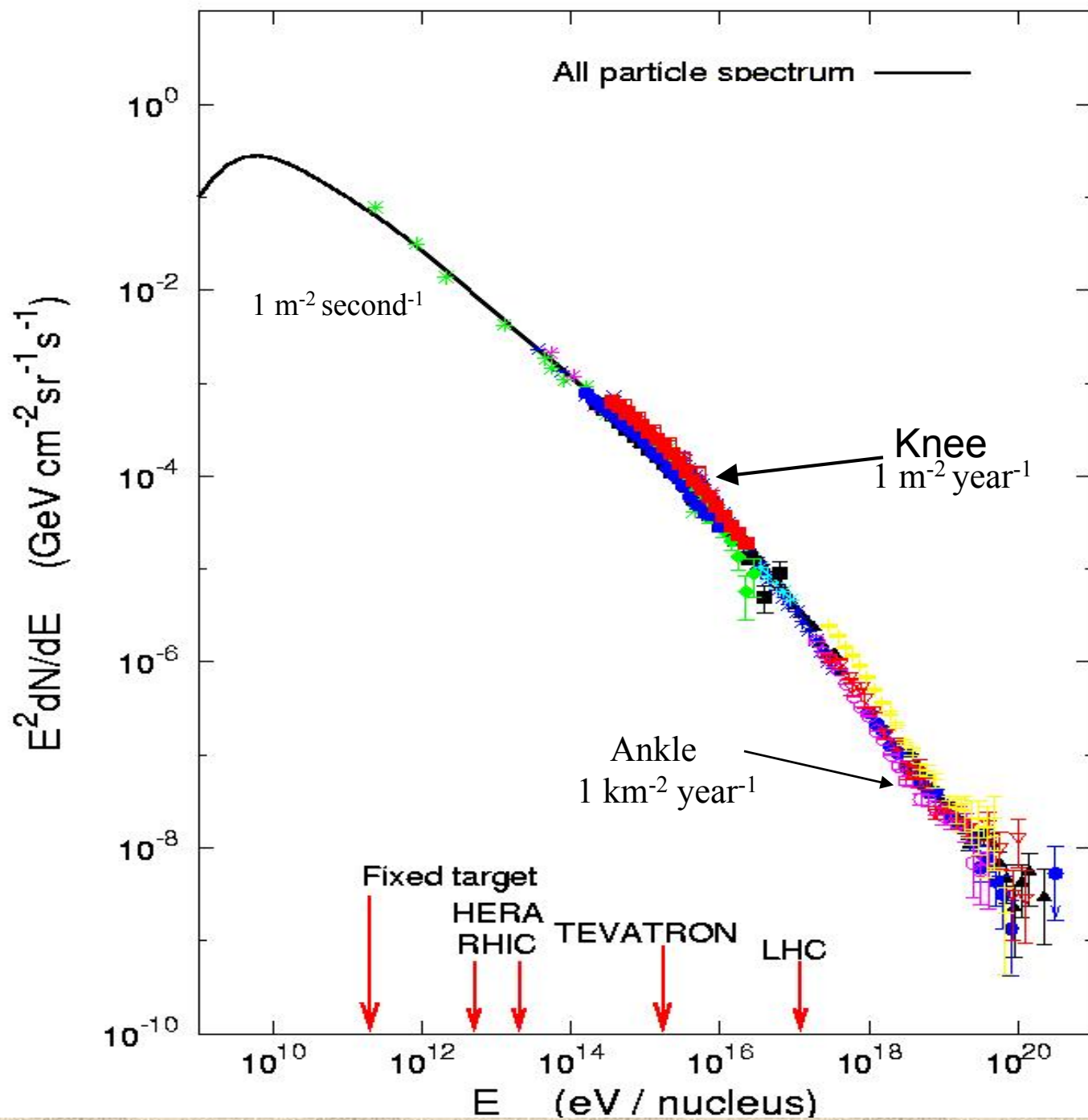
ESPECTRO DE ENERGIA



$$N(E) dE = C E^{-\alpha} dE$$

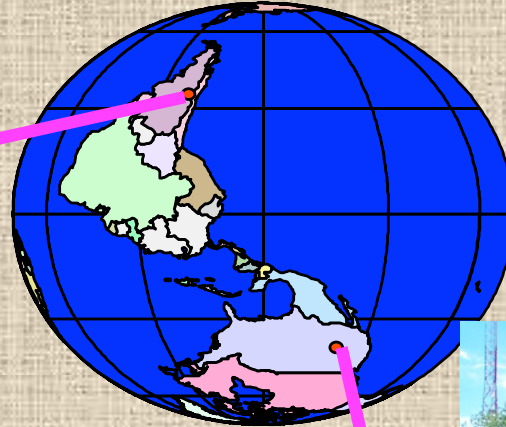
$(\alpha \approx 2.5 - 2.7)$

• VALIDA PARA $p, e, \text{NUCLEOS}$ CON $10^9 < E < 10^{20}$ eV



THE AUGER OBSERVATORY

Southern hemisphere:
Malargüe
Mendoza, Argentina



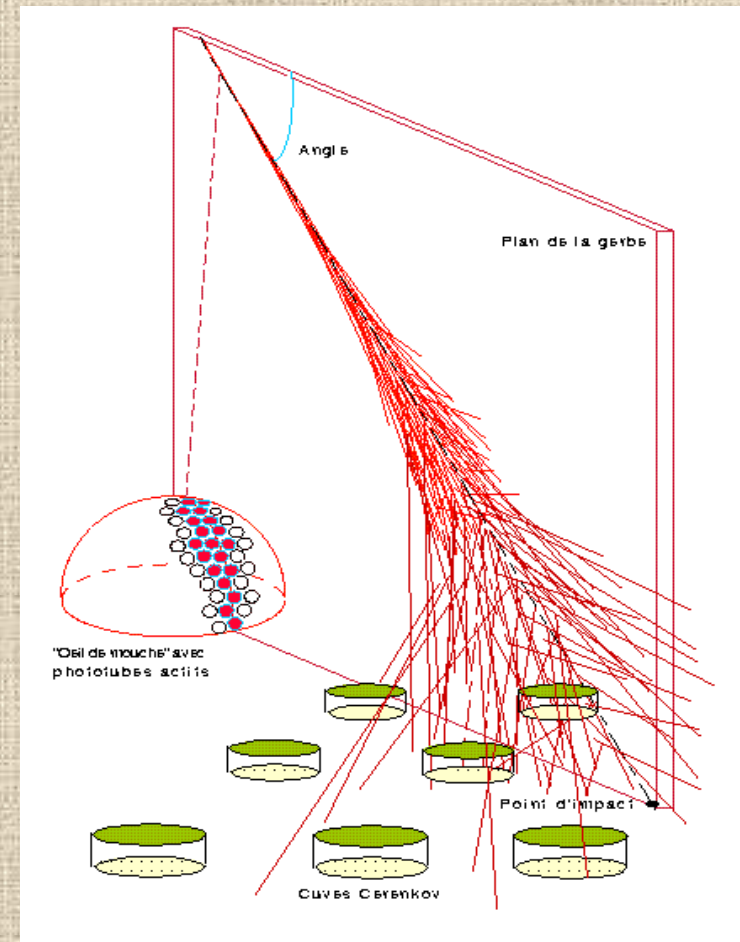
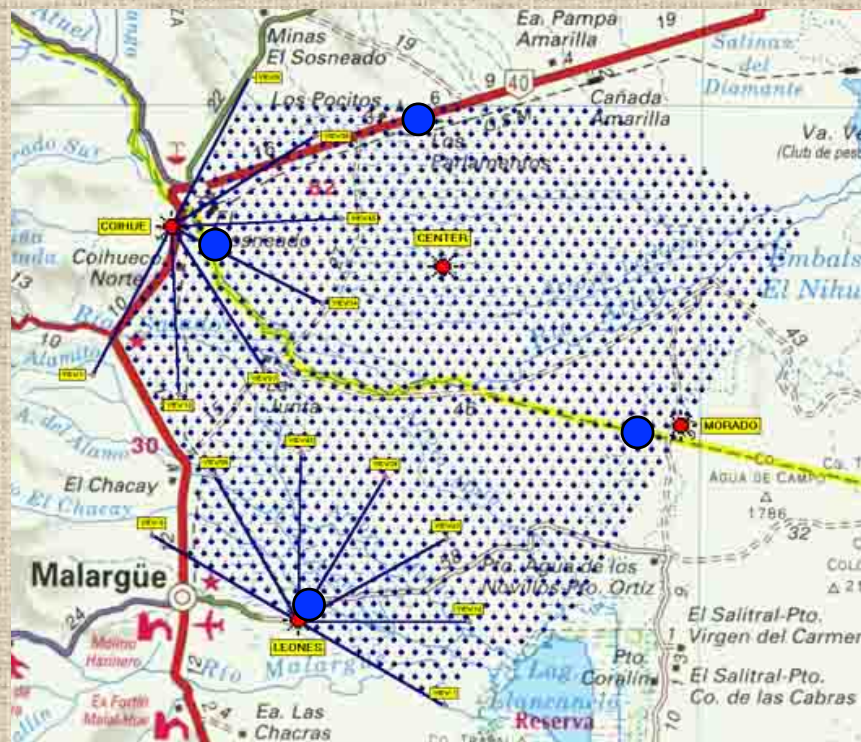
- 2 Observatories
- 19 Countries
- 50+ Institutions
- 300+ People

Northern hemisphere:
Millard county
Utah, USA



THE AUGER HYBRID DETECTOR

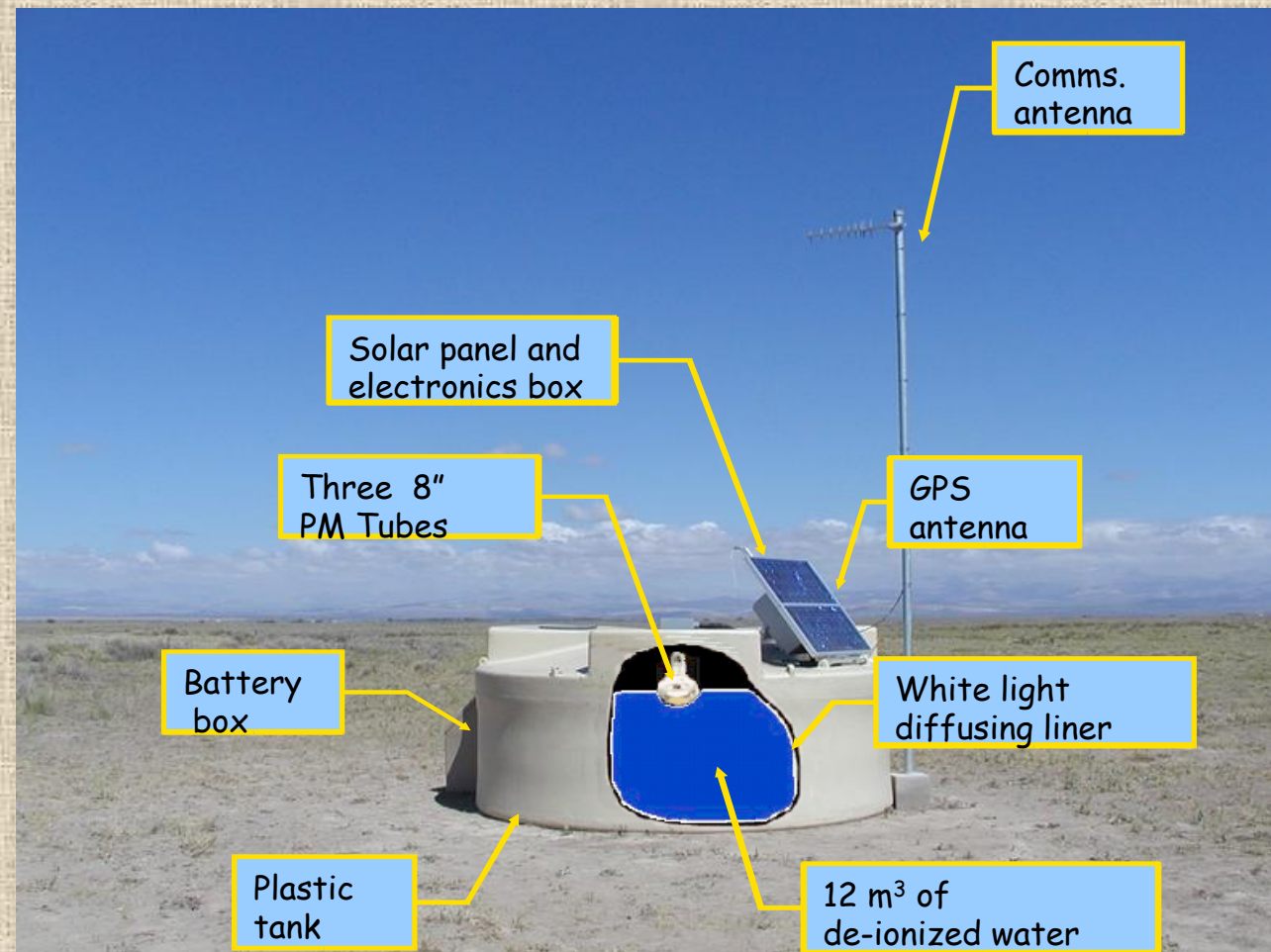
- 3000 km² surface array.
- 4 fluorescence eyes.
- Detector cross calibration with hybrid events.



SD LOCAL STATION

SD array:

- Hexagonal grid of 1600 stations
- 1500 m between neighbour stations

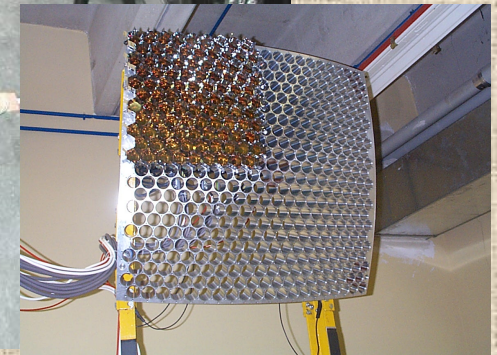
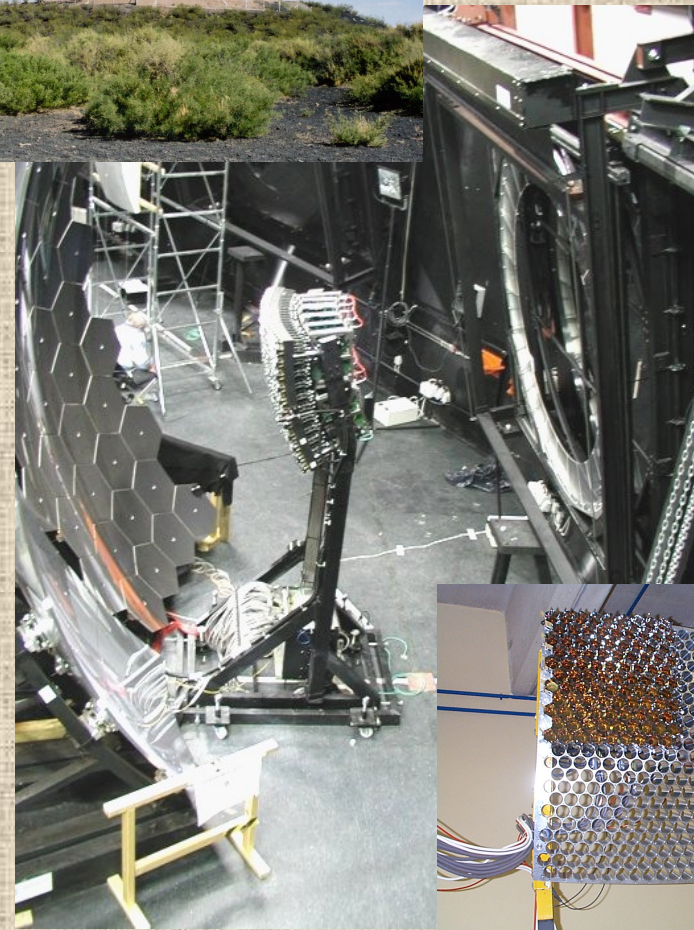
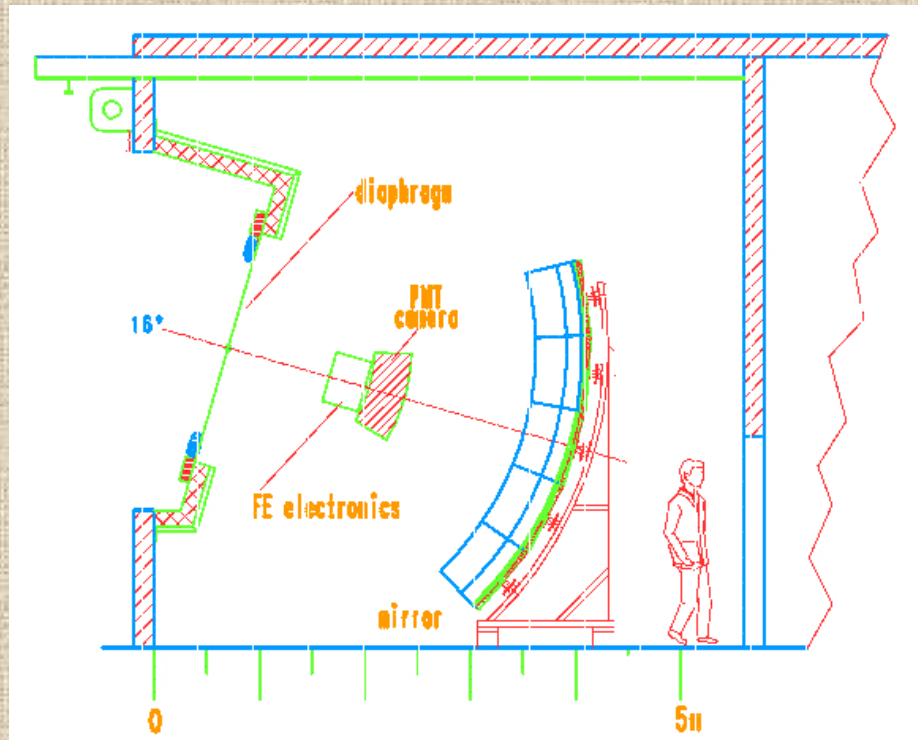




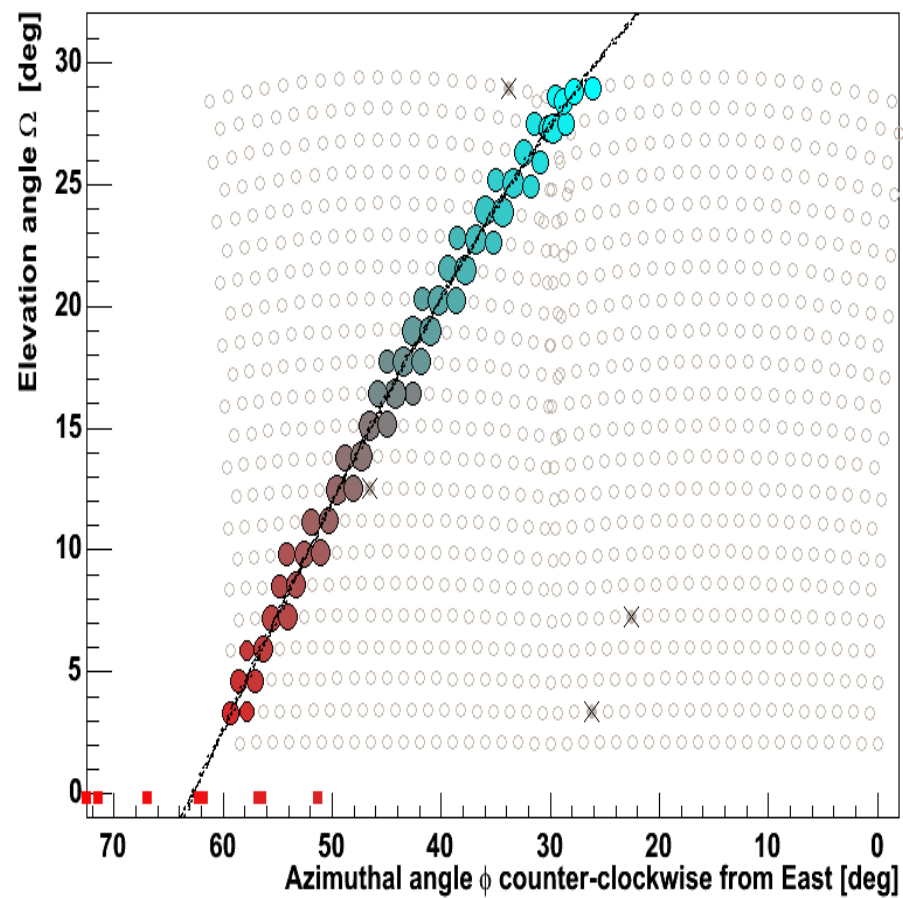
FLUORESCENCE DETECTORS

33 telescope units.
3.4 meter diameter mirrors.
440 PMTs per camera.

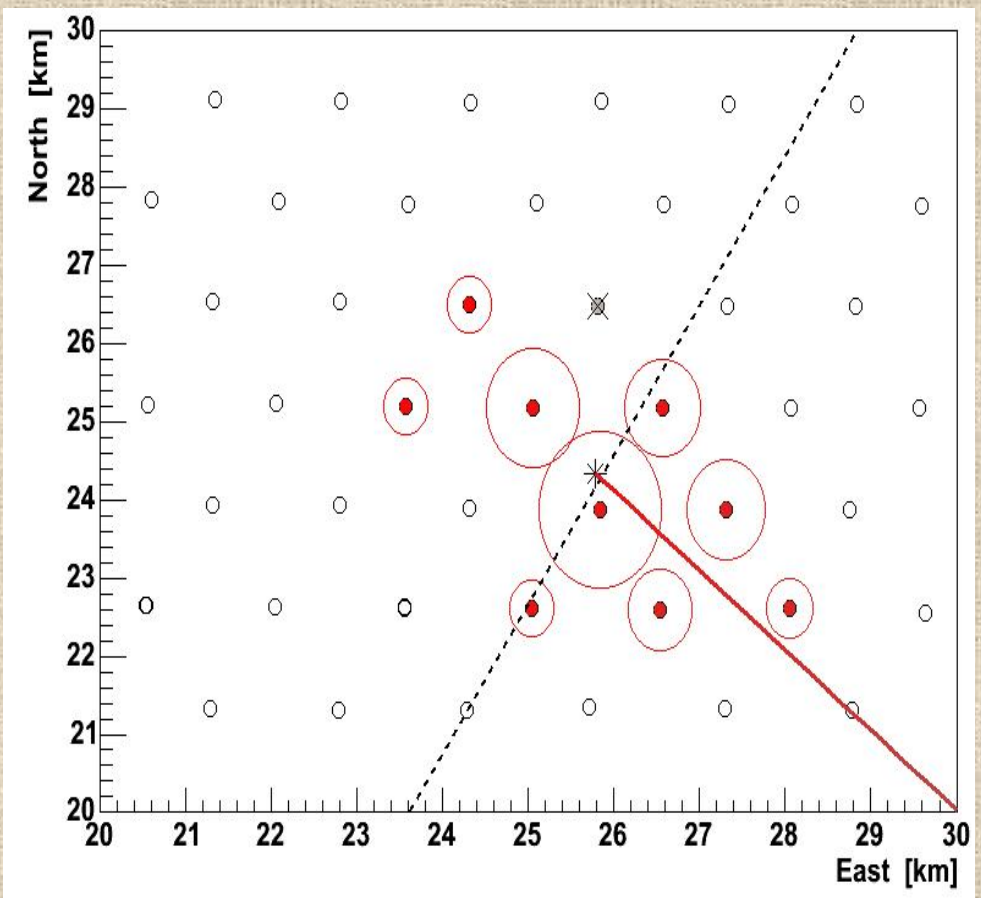
Operate in clear moonless nights
(10% duty cycle)



HYBRID DETECTOR



FLUORESCENCE



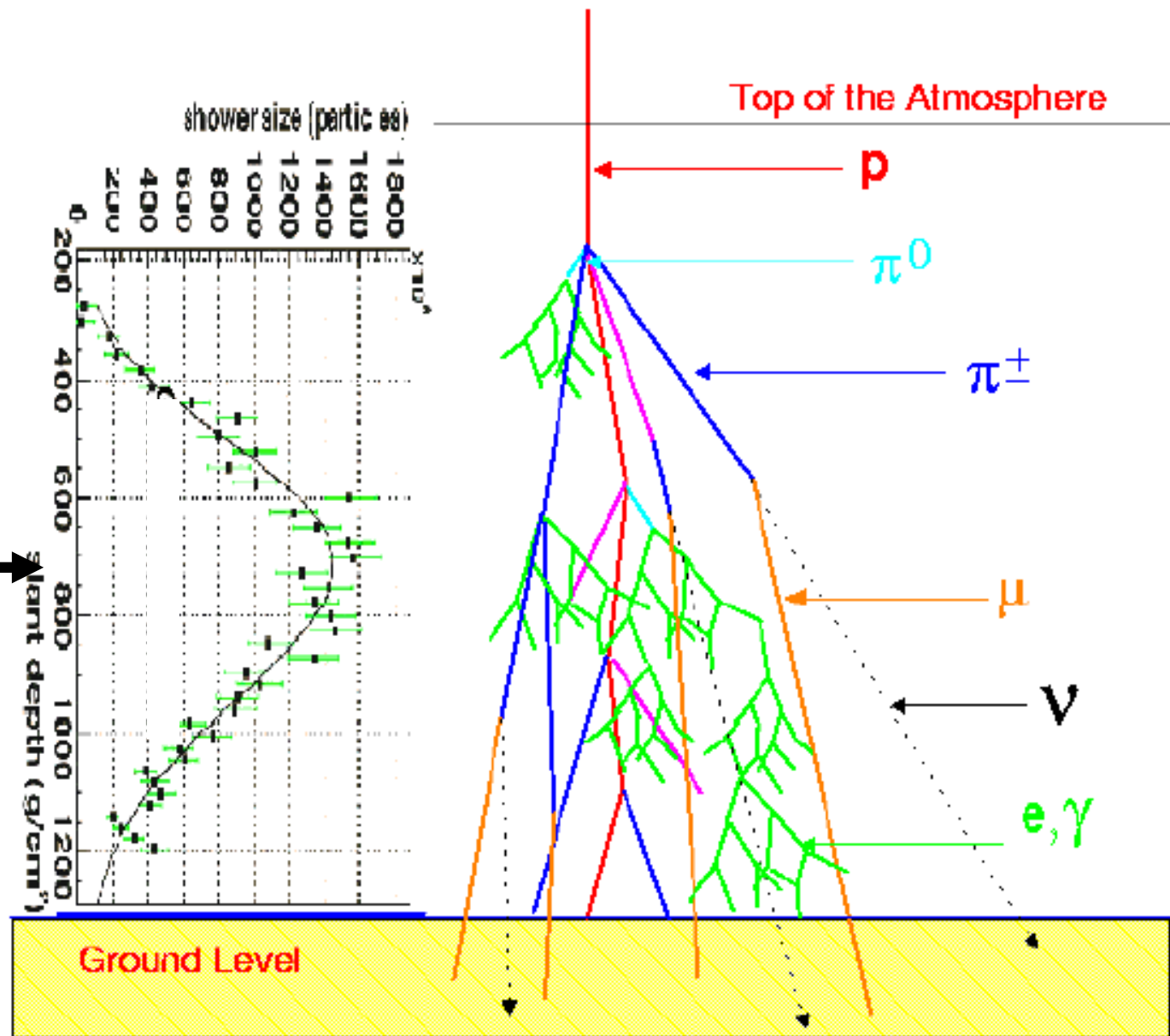
SURFACE

EAS

Evolution dominated by electromagnetic processes.

X_{max}

SHOWER MAXIMUM



Extensive Air Showers

MECANISMOS DE ACCELERACION DE RAYOS COSMICOS

- PROCESOS ELECTROMAGNETICOS
- ONDAS DE CHOQUE

* ONDAS DE CHOQUE : RESULTADO DEL CHOQUE
DE NUBES DE GAS

NO PUEDEN PRODUCIR DIRECTAMENTE
PARTICULAS RELATIVISTAS

$$v_{\text{gas}} \sim 10^4 \text{ km/seg}$$



PANEL DE "INYECTORES"
DE PARTICULAS RAPIDAS A
ACCELERAR POR OTRO MECANISMO

PERO : BAJO CONDICIONES ESPECIALES (PROPAGACION
DE ONDAS DE CHOQUE MUY FUERTES EN MEDIOS
DE DENSIDAD DECRECIENTE) → PALEL
FUNDAMENTAL
(SUPERNOVAS)

http://www.space.com/scienceastronomy/astronomy/supernovae_000106.html

* ACELERACION ELECTROMAGNETICA

MECANISMO: CAMPO ELECTrico INDUCIDO EN
UN MEDIO POR INCREMENTO
DE CAMPO MAGNETICO →
(CHENRE)

TRABAJO POSITIVO SOBRE LAS
CARGAS QUE SE MUEVEN EN
EL CAMPO

DOS MECANISMOS PRINCIPALES:

● ACELERACION BETATRON
EN UN CAMPO MAGNETICO HOMOGÉNEO
QUE AUMENTA EN EL TIEMPO

● ACELERACION POR CHOQUE
FRONTAL CON INHOMOGENEIDADES
MOVILES DEL CAMPO MAGNETICO

UNA COMBINACION

