

# Efecto Doppler

- “Es un fenómeno por el cual la frecuencia del sonido percibido por un observador ( $f'$ ) es diferente a la frecuencia realmente emitida por la fuente ( $f$ ), ya sea debido al movimiento de la fuente y/o del observador”

# Casos posibles

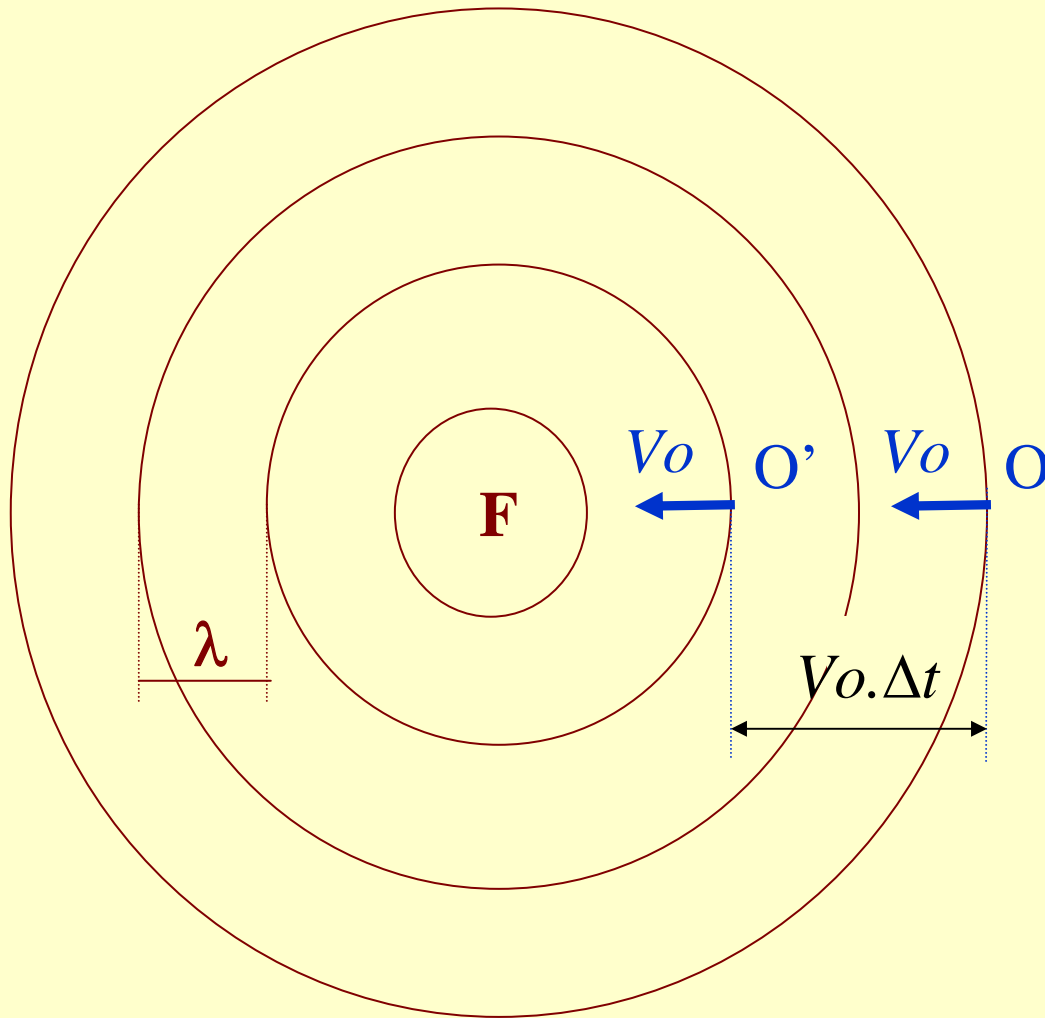
- Cuando la distancia relativa entre la fuente y el observador disminuye, este percibe un sonido aparente más agudo (frecuencia mayor) que la real.

$$f' > f$$

- Cuando la distancia relativa entre la fuente y el observador aumenta, este percibe un sonido aparente más grave (frecuencia menor) que la real.

$$f' < f$$

# El observador se aproxima a la fuente



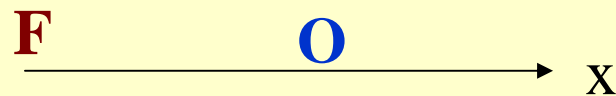
- Entre O y O' habrán:  
 $(V_o \cdot \Delta t) / \lambda$  frentes de onda.
- Si el observador permanecía en O, en  $\Delta t$  hubiera percibido  $f \cdot \Delta t$  frentes de onda.
- Luego, en un tiempo  $\Delta t$  el observador percibe  $f' \cdot \Delta t$  frentes de onda:  
$$f' \cdot \Delta t = f \cdot \Delta t + (V_o \cdot \Delta t) / \lambda$$
- dividiendo entre  $\Delta t$ ,
  - $f' = f + V_o / \lambda$
- siendo  $\lambda = c / f$ 
  - $f' = f + (V_o / c) \cdot f$

- Si en lugar de acercarse, el observador se aleja:

$$f' = f - (V_o / c) \cdot f$$

- En general, considerando a la velocidad con su signo:

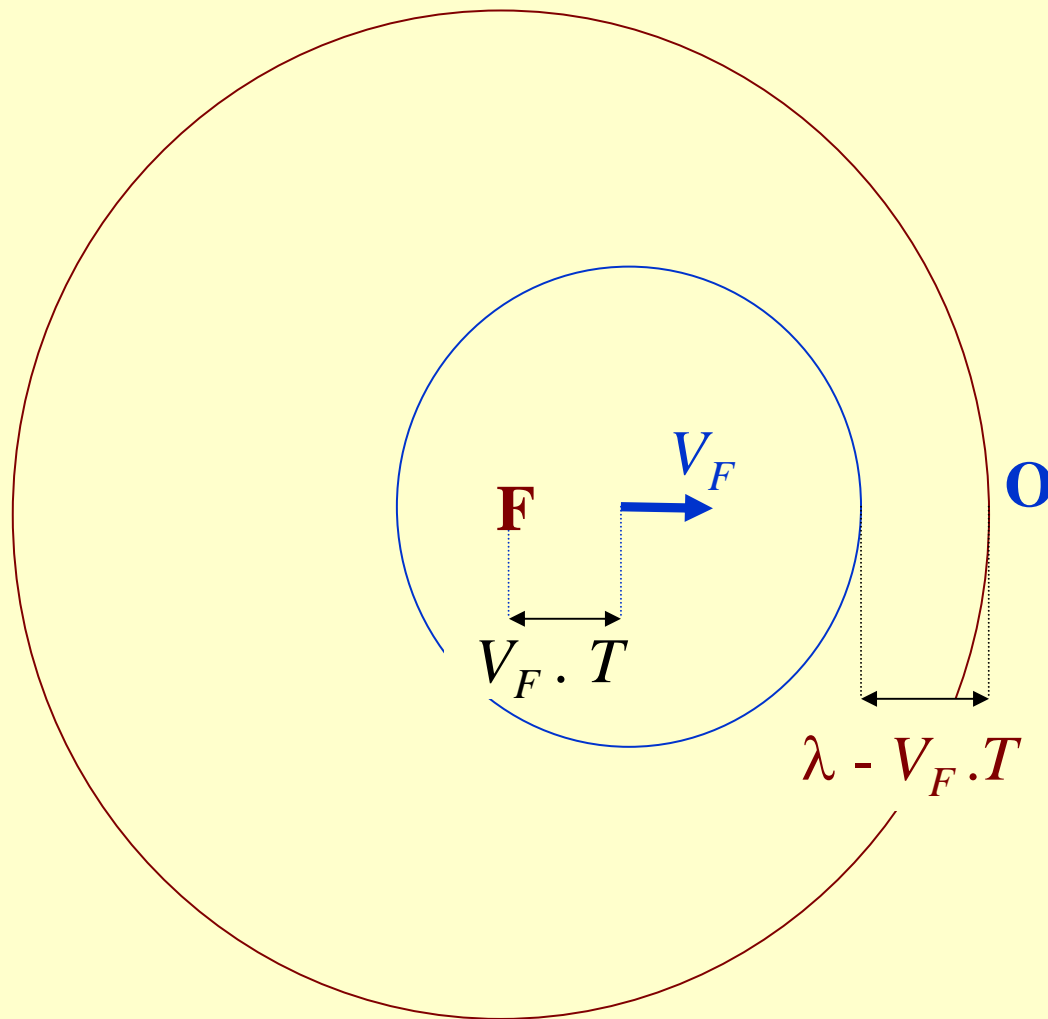
$$f' = f \frac{c - V_o}{c}$$



CONVENCIÓN DE SIGNO:

el eje x sale de la fuente y apunta al observador

# La fuente se aproxima al observador



$$\lambda' = \lambda - V_F \cdot T$$

$$c \cdot T' = c \cdot T - V_F \cdot T$$

$$c / f' = (1 / f) \cdot (c - V_F)$$

$$f' = f \frac{c}{c - V_F}$$

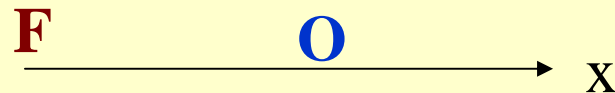
- si la fuente se aproxima al observador:

$$\bullet f' = f \cdot c / (c - V_F)$$

- si la fuente se aleja del observador:

$$\bullet f' = f \cdot c / (c + V_F)$$

Considerando la convención de signo:



$$f' = f \frac{c}{c - V_F}$$

## Caso General: se mueven el observador y la fuente

- Por moverse el observador:

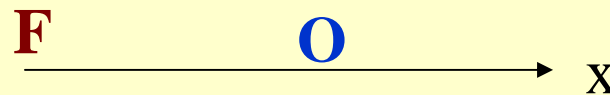
$$f'' = f \cdot (c - V_o) / c \dots (1)$$

- Por moverse la fuente:

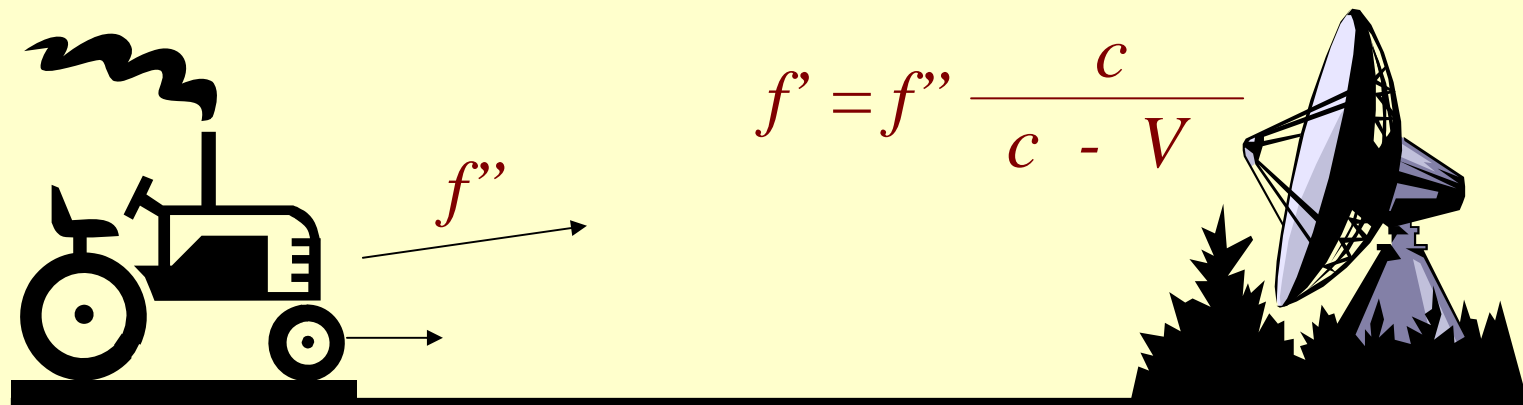
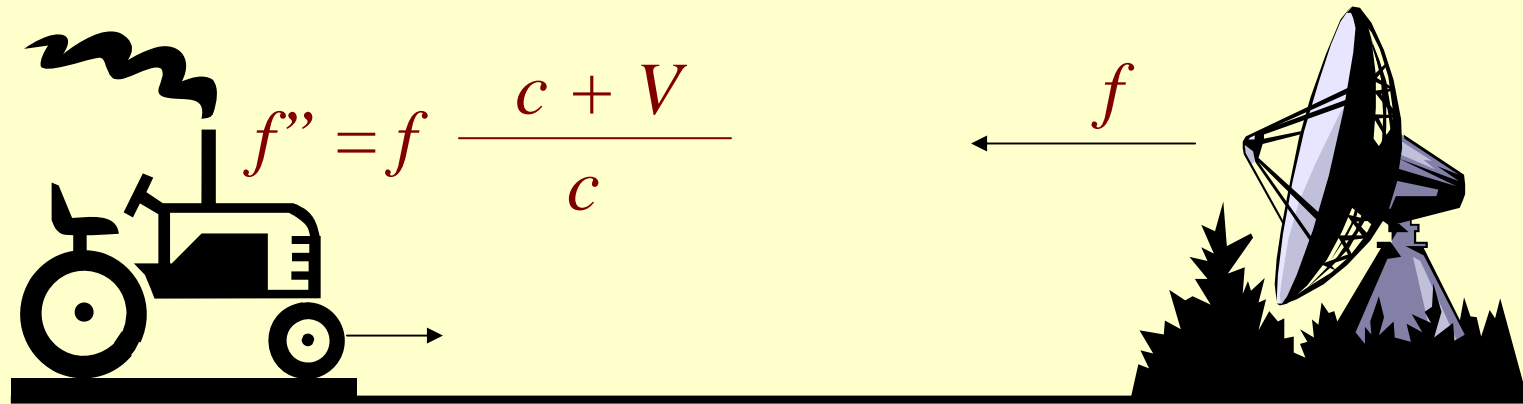
$$f' = f'' \cdot c / (c - V_F) \dots (2)$$

(1) en (2)

$$f' = f \frac{c - V_o}{c - V_F}$$



# El Sonar (y el Radar)



$$V = c \frac{f' - f}{f' + f}$$

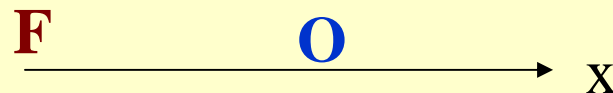
$$2D = c t$$



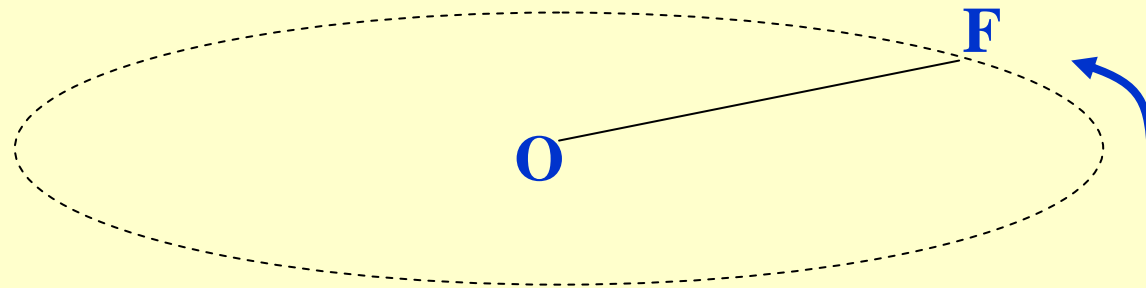
## Efecto del viento

Si la masa de aire se mueve con una velocidad  $V_v$   
la onda sonora se mueve con una velocidad:  $c + V_v$

$$f' = f \frac{c + V_v - V_o}{c + V_v - V_F}$$



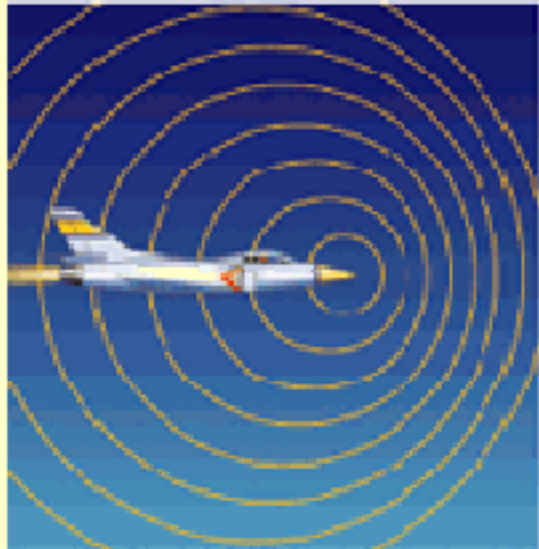
# Movimiento en Dirección Perpendicular



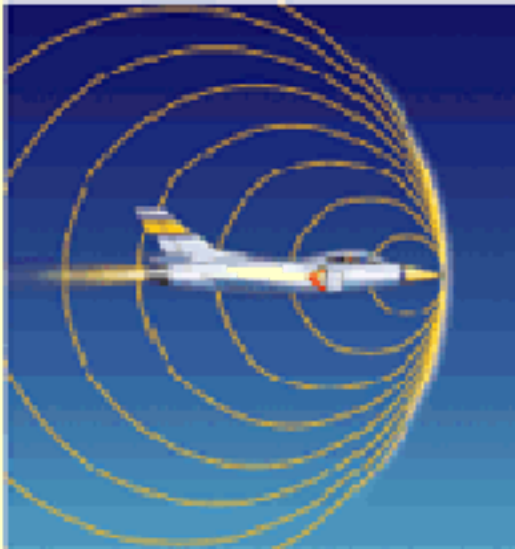
$f' = f$  ... No hay efecto Doppler !

# Barrera del Sonido

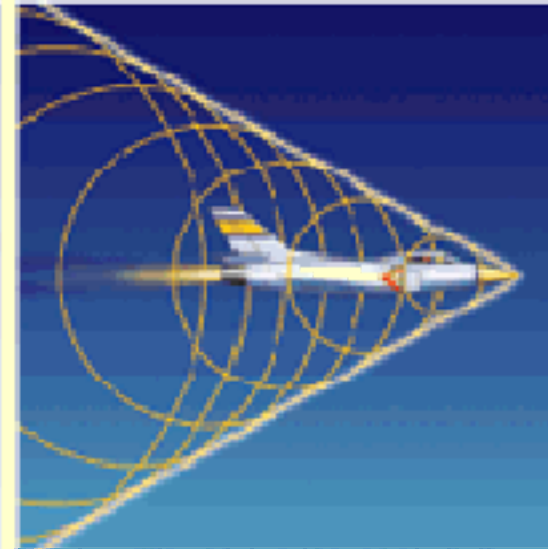
$$V_F < c$$



$$V_F = c = \text{Mach } 1$$



$$V_F > c$$



$$f' = f \frac{c - V_0}{c - V_F}$$

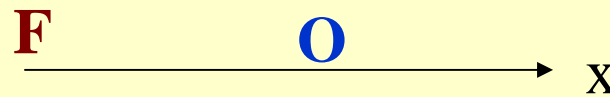
# Rompiendo la Barrera del Sonido



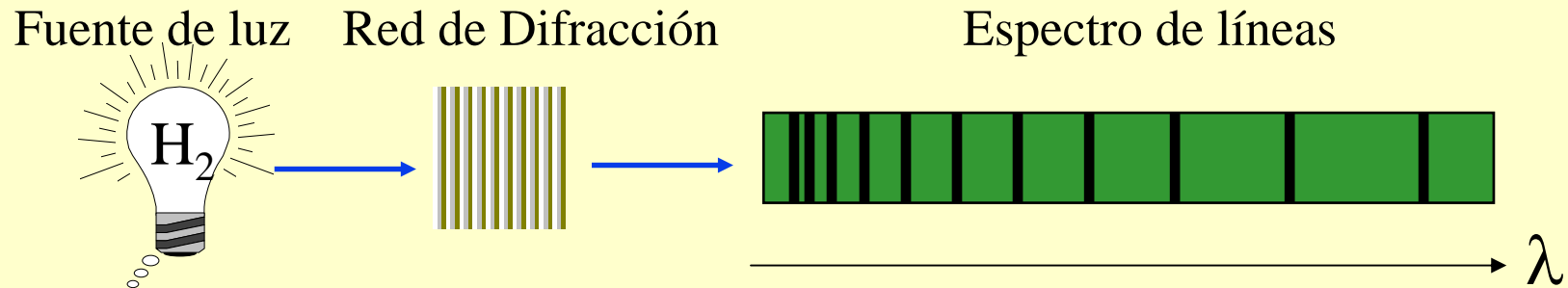
# Ondas Electromagnéticas

Si  $u$  es la velocidad relativa del observador respecto a la fuente y  $c$  es la velocidad de la onda, se puede demostrar que si  $u \ll c$  se tiene:

$$f' = f \frac{c - u}{c}$$



# Espectros Atómicos



Espectro de líneas del Hidrógeno [1885]:

$$\frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right); \quad m < n; \quad m = 1, 2, 3, \dots$$

constante de Raydberg:  $R = 1.09731 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$

Serie de Lyman:  $m=1, \quad n=2, 3, 4, \dots$

Serie de Balmer:  $m=2, \quad n=3, 4, 5, \dots$

Serie de Brackett:  $m=3, \quad n=4, 5, 6, \dots$

# Movimiento de las Estrellas

Espectro de líneas del  
Hidrógeno en la Tierra:



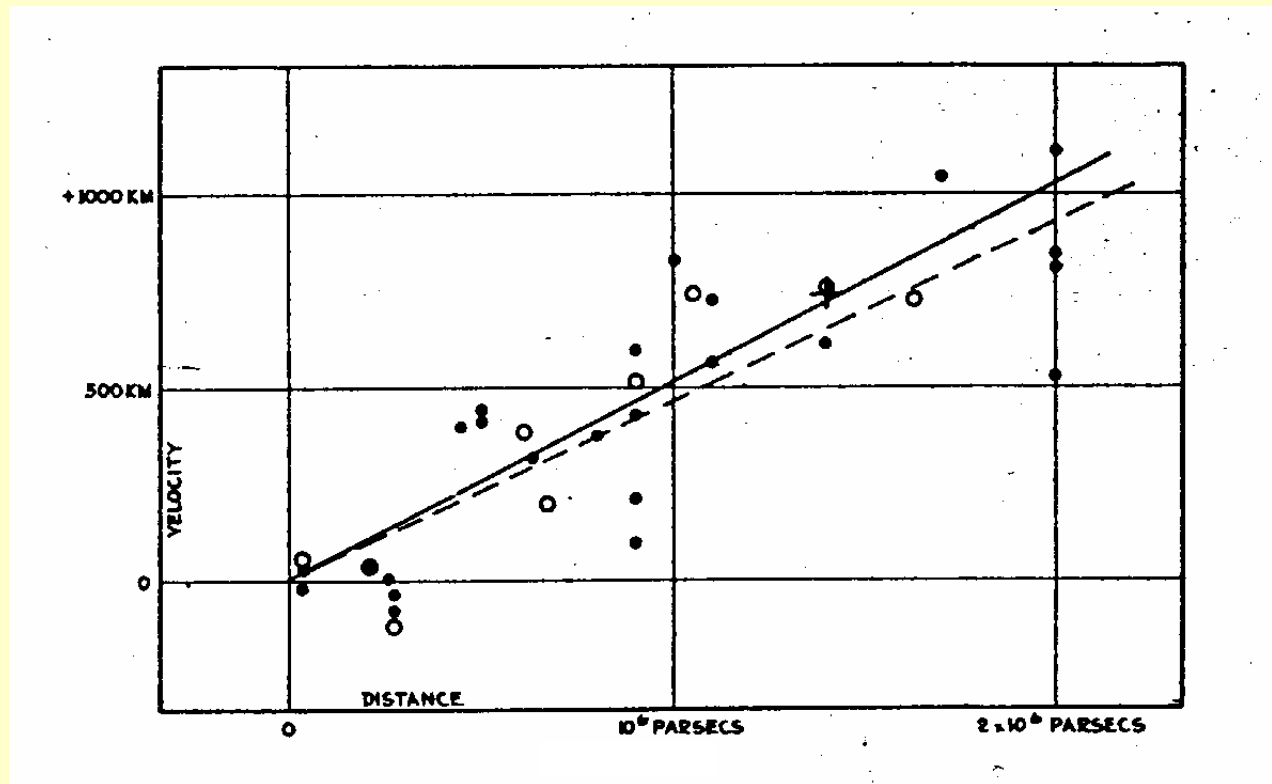
Espectro de líneas del  
Hidrógeno en una  
Galaxia lejana

$$f' = f \frac{c - u}{c}$$

**Corrimiento al rojo !**

**Las estrellas se alejan unas de otras !**

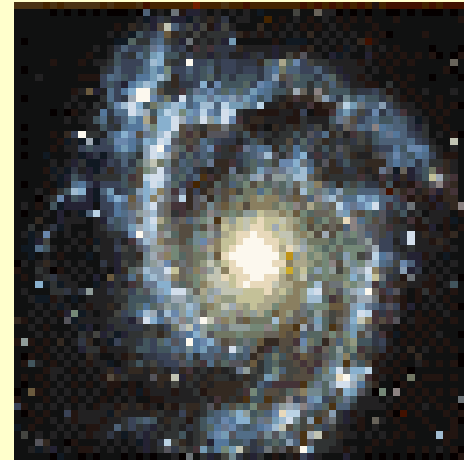
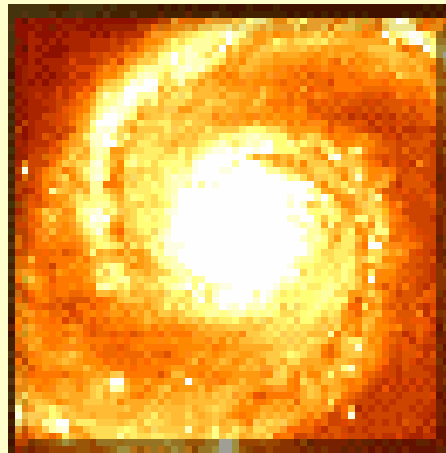
Edwin **Hubble**, “A relation between Distance and Radial Velocity among Extra-Galactic Nebulae.” Proceedings of the National Academy of Sciences. Volume 15 : March 15, 1929 : Number 3



[http://cfa-www.harvard.edu/~lly/personal/images/science/hub\\_1929.html](http://cfa-www.harvard.edu/~lly/personal/images/science/hub_1929.html)



Si las estrellas se alejan unas de otras,  
alguna vez ocurrió una gran explosión, el  
**BIG BANG !**



- La Cosmología estudia nuestro universo y calcula que el **Big Bang** se produjo hace unos  $15 \times 10^9$  años.
- Nuestro *joven* planeta Tierra solo tiene  $5 \times 10^9$  años.
- El último “deshielo” ocurrió hace solo unos  $10^4$  años.