

# Universidad Nacional de Río Negro

## Int. Partículas, Astrofísica & Cosmología - 2018

- **Unidad**      04 – El Big Bang
- **Clase**        U04 C01
- **Fecha**        14 Nov 2018
- **Cont**          Universo en expansión, 1
- **Cátedra**      Asorey
- **Web**           <https://asoreyh.github.io/unrn-ipac/>
- **Youtube**      <https://goo.gl/UZJzLk>

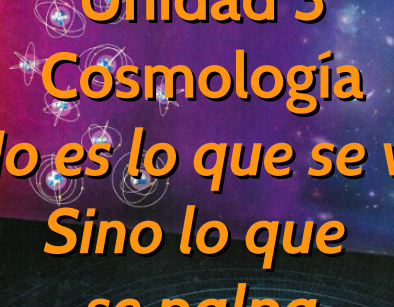




# Programación encuentros faltantes

- 15, U04C01V, 14/11/2018: El big bang y cosmología inflacionaria
- 16, U04C02V, 21/11/2018: Relatividad General, 2da parte
- 17, U04C03V, 22/11/2018: Evolución térmica y **Charla de cierre**



[illegible]A presentation slide with a dark blue, starry background. At the top left, the word "Hydrogen" is written in a small, white, sans-serif font. The main title "Unidad 3" is in a large, bold, white sans-serif font. Below it, "Cosmología" is in a large, bold, yellow sans-serif font with a black outline. The phrase "No es lo que se ve" is in a large, bold, yellow sans-serif font with a black outline. Below that, "Sino lo que" is in a large, bold, yellow sans-serif font with a black outline. At the bottom, "se palpa" is in a large, bold, yellow sans-serif font with a black outline. In the bottom right corner, there is a small white icon of a globe and the text "©47 billion" in a small, white, sans-serif font.

Hydrogen

# Unidad 3

## Cosmología

*No es lo que se ve*

*Sino lo que*

*se palpa*

©47 billion

# Unidad 2

## Astrofísica

### Cálido y frío

# Unidad 1

## Partículas 1

*todo es relativo*



# Relatividad general

- Charlamos sobre la relatividad general y la curvatura del espacio tiempo



- Entonces....

¿Cuál es la fuerza más fuerte de la Naturaleza?





- Entonces....

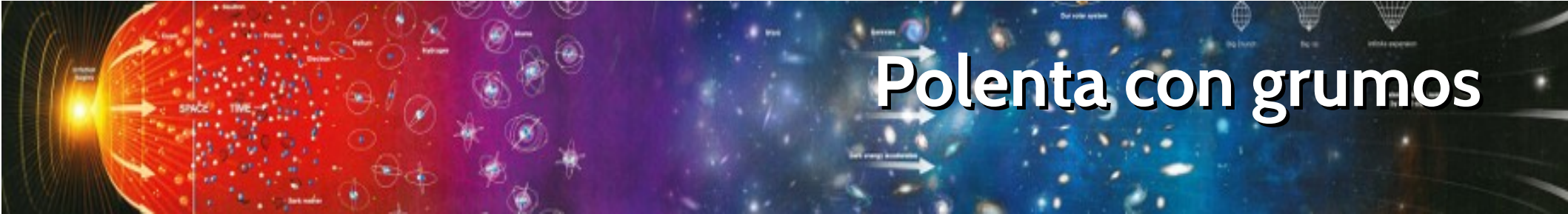
¿Cuál es la fuerza más fuerte de la Naturaleza?

# Gravedad



# A gran escala....

- ... la expansión del Universo compensa la gravedad
- ¿Qué pasará a escalas más pequeñas?
- Las inhomogeneidades grumos se agrupan y crecen
- Se necesita más tiempo para formar grumos más grandes

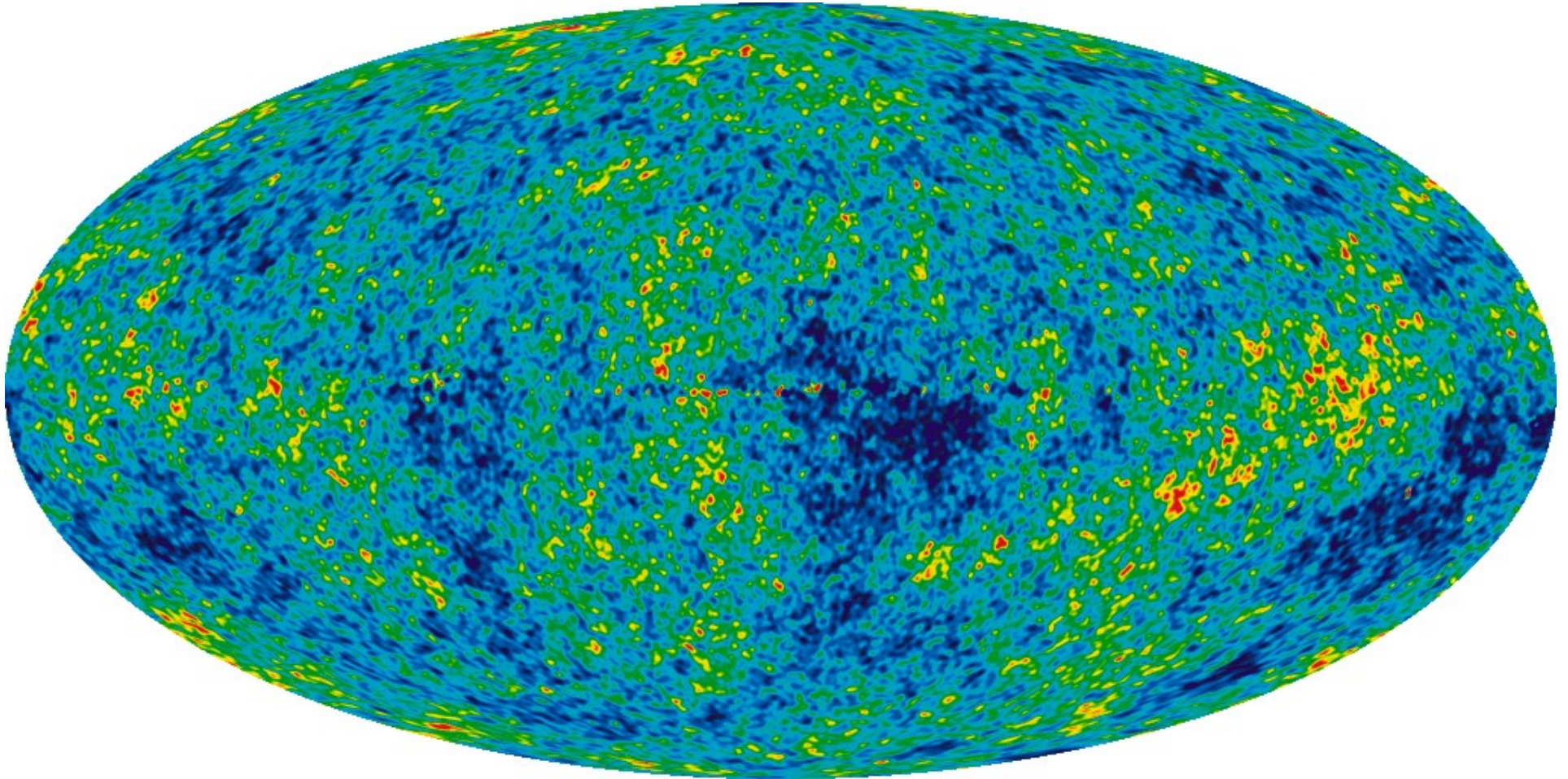


# Polenta con grumos

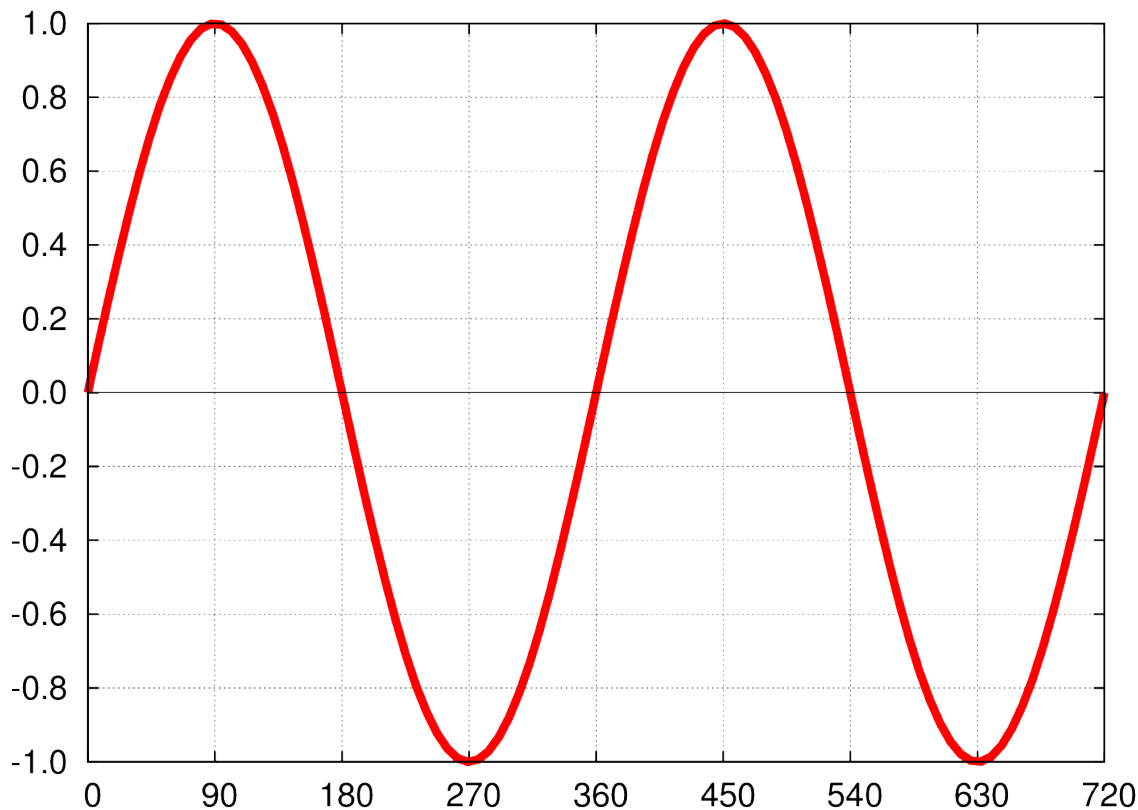




A las escalas más grandes...



# Propiedades de una onda



- $\lambda$ : longitud de onda

- $f$ : frecuencia

- $c = \lambda \times f$

- Ondas EM (luz):

- $E = h f = h c / \lambda$

$$c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

$$h = 6.6261 \times 10^{-34} \text{ Js}$$



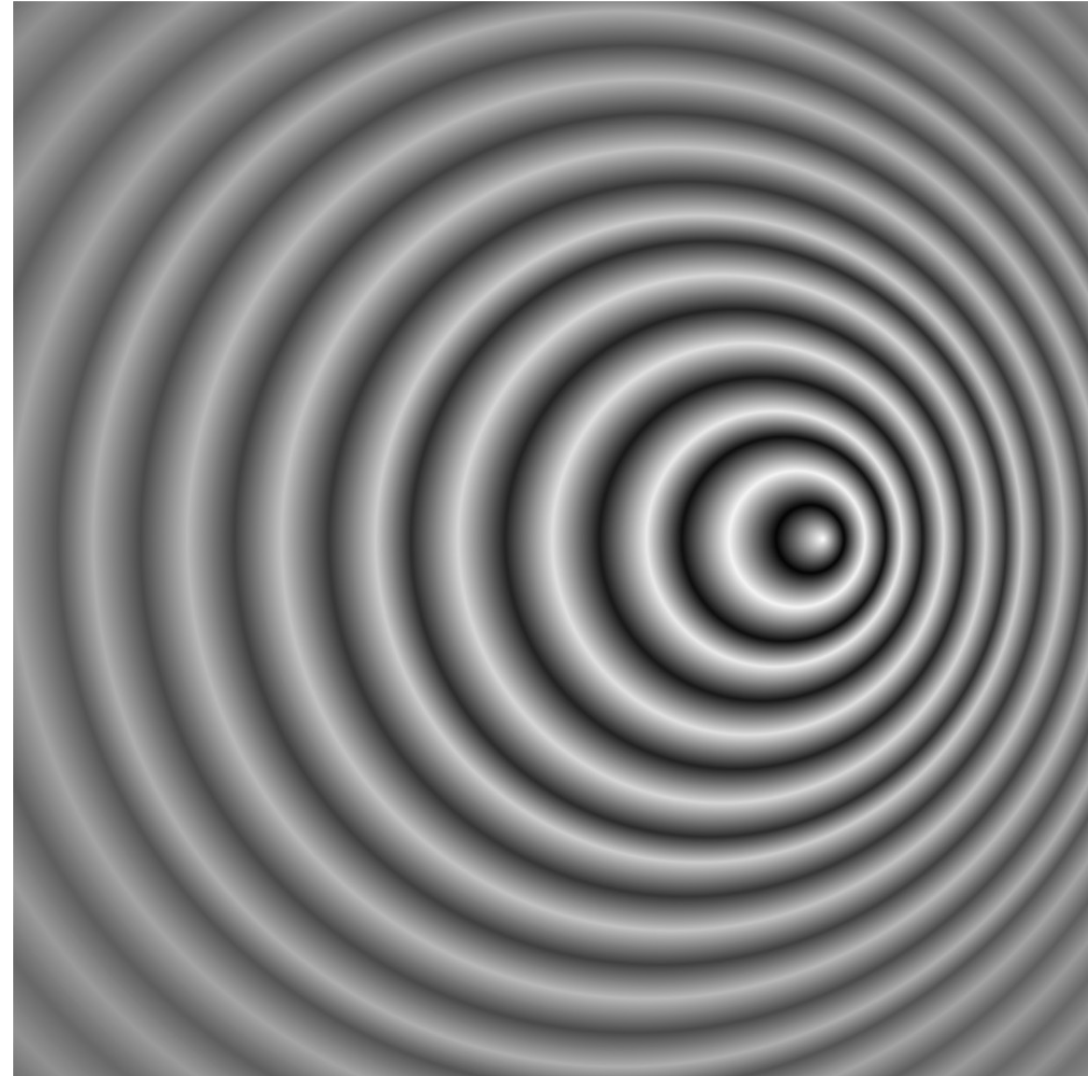
***“Es el cambio aparente en la frecuencia de una onda causado por el movimiento relativo entre la fuente de la ondas y el observador”***

**Dr. Sheldon Cooper**



# Efecto Doppler en la luz

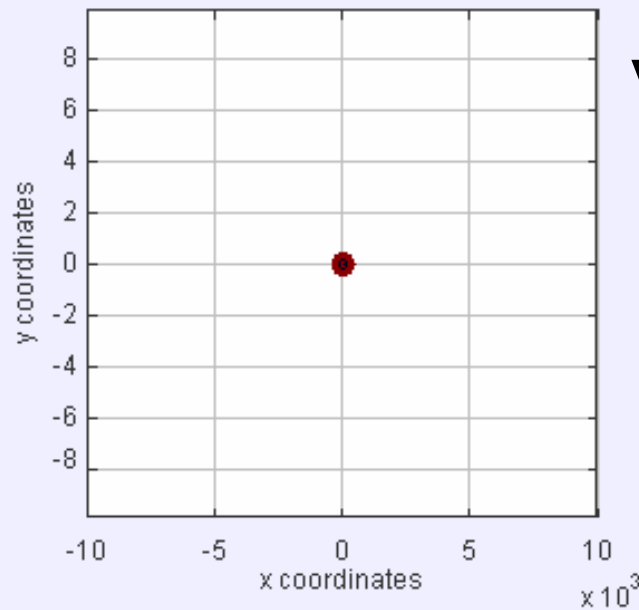
- Pensar en el lanzamiento de pelotas a frecuencia constante
- El efecto doppler es un fenómeno ondulatorio





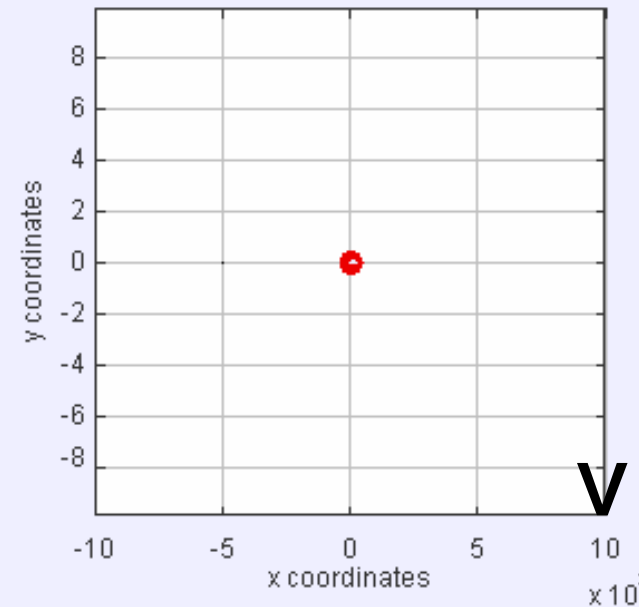
# Efecto Doppler

$\times 10^3$  Doppler Effect Model in 1 Doppler Effect



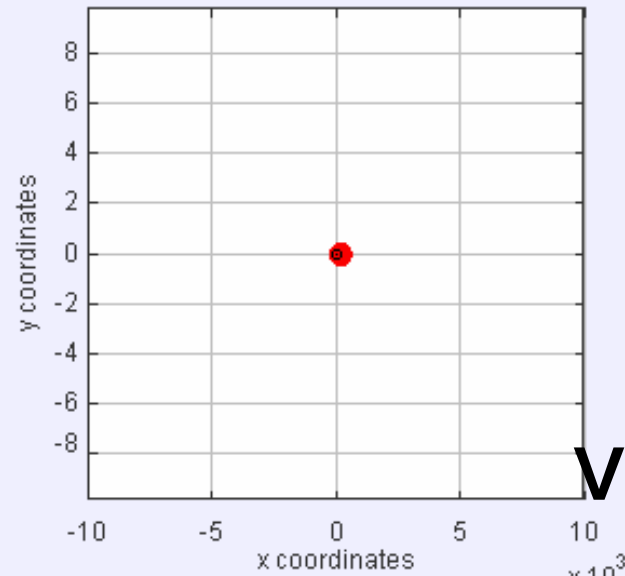
$$v = 0$$

$\times 10^3$  Doppler Effect Model in 1 Doppler Effect



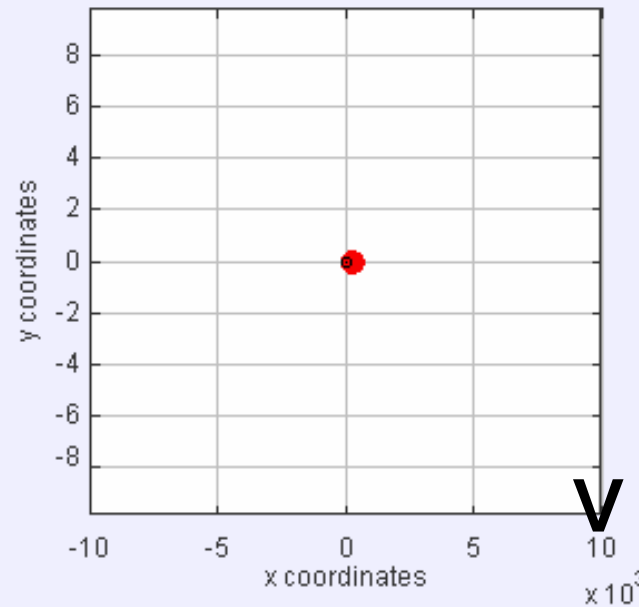
$$v = 0,7 v_s$$

$\times 10^3$  Doppler Effect Model Breaking the sound barrier



$$v = 1 v_s$$

$\times 10^3$  Doppler Effect Model in 1 Di Supersonic



$$v = 1,4 v_s$$

Sean dos Observadores en sistemas  $S$  y  $S'$ :

# Doppler relativista

Vínculos:

$$a \ t=t'=0; \ O=O'$$

En un momento, la lámpara emite un pulso de luz  
con  $N$  ondas



En el frame  $S$ , el observador  $O$  repone el pulso comienza  $t=t_0=0$  y

(\*) finaliza a  $t=t_f$ . Luego, la frecuencia emitida es

$$f_0 = N / t_f - t_0 \Rightarrow \boxed{f_0 = N / t_f}$$

Definamos dos eventos: 1: el frente del pulso alcanza  $O'$  (visto desde  $O$ )  $x_1, t_1$   
2: el final del pulso alcanza  $O'$  (visto desde  $O$ ).  $x_2, t_2$

Evento 1: visto en  $S$ , ocurre a  $t_1=0; x_1=0$

Evento 2: visto en  $S$ , el pulso alcanza sobre el Observador  $O'$ , por  $v < c$

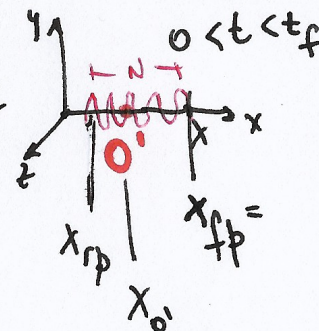
$\Rightarrow$  El frente del pulso está en  $x_{fp} = ct$ ;  $x_{O'} = vt$

y lo retroguarda del pulso en  $x_{rp} = 0$  a  $t=t_f$  (ver \*)

Cuando  $t=t_2 \Rightarrow x_{rp} = x_{O'} \Rightarrow x_{rp} = c(t_2 - t_f)$

y además  $x_{O'} = vt_2$

Luego el evento 2 ocurre cuando  $\boxed{x_{O'} = x_{rp}}$



La retroguarda  
es el tiempo desde que estaba en  
el origen hasta que alcanza al Obs.  $O'$



# Doppler relativista

$$\Rightarrow x_{0'} = x_{rp} \Rightarrow \gamma t_2 = c(t_2 - t_f) \Rightarrow t_2 = \frac{c t_f}{(c - v)}$$

$$\Rightarrow \text{Evento 1: } x_1 = 0 ; t_1 = 0 ; \text{Evento 2: } x_2 = \gamma t_2, t_2 = \frac{c t_f}{(c - v)}$$

$$\text{Las T.L. } x' = \gamma(x - vt) \text{ y } t' = \gamma(t - vx/c^2)$$

$$\Rightarrow \text{Evento 1: } x_1' = 0 \text{ (} x_1 = 0, t_1 = 0 \text{) y } t_1' = 0.$$

$$\text{Evento 2: } x_2' = \gamma(\gamma t_2 - v t_2) = 0 \text{ y } t_2' = \gamma\left(t_2 - \frac{v^2}{c^2} t_2\right) = t_2 \gamma (1 - \beta^2) = \frac{t_2 \gamma}{\gamma^2} = \frac{t_2}{\gamma}$$

$$\Rightarrow x_2' = 0 \text{ y } t_2' = t_2 / \gamma$$

$$\text{Luego, recordando } t_2 = \frac{c t_f}{(c - v)} \Rightarrow t_2' = \frac{c t_f}{(c - v) \gamma} = \frac{t_f}{\gamma(1 - \beta)} = \frac{t_f}{(1 - \beta)} \frac{\sqrt{1 - \beta^2}}{\sqrt{1 - \beta} \sqrt{1 + \beta}} = t_f \frac{\sqrt{1 - \beta} \sqrt{1 + \beta}}{(1 - \beta)}$$

$$\Rightarrow t_2' = t_f \sqrt{\frac{1 + \beta}{1 - \beta}}$$

¿Qué frecuencia observa  $O'$ ? Ve pasar  $N$  ondas en un tiempo  $\Delta t' = t_2' - t_1' = t_2' \Rightarrow$

$$f_0' = N / \Delta t' = \frac{N}{t_f} \sqrt{\frac{1 - \beta}{1 + \beta}} \Rightarrow f_0' = f_0 \sqrt{\frac{1 - \beta}{1 + \beta}}$$

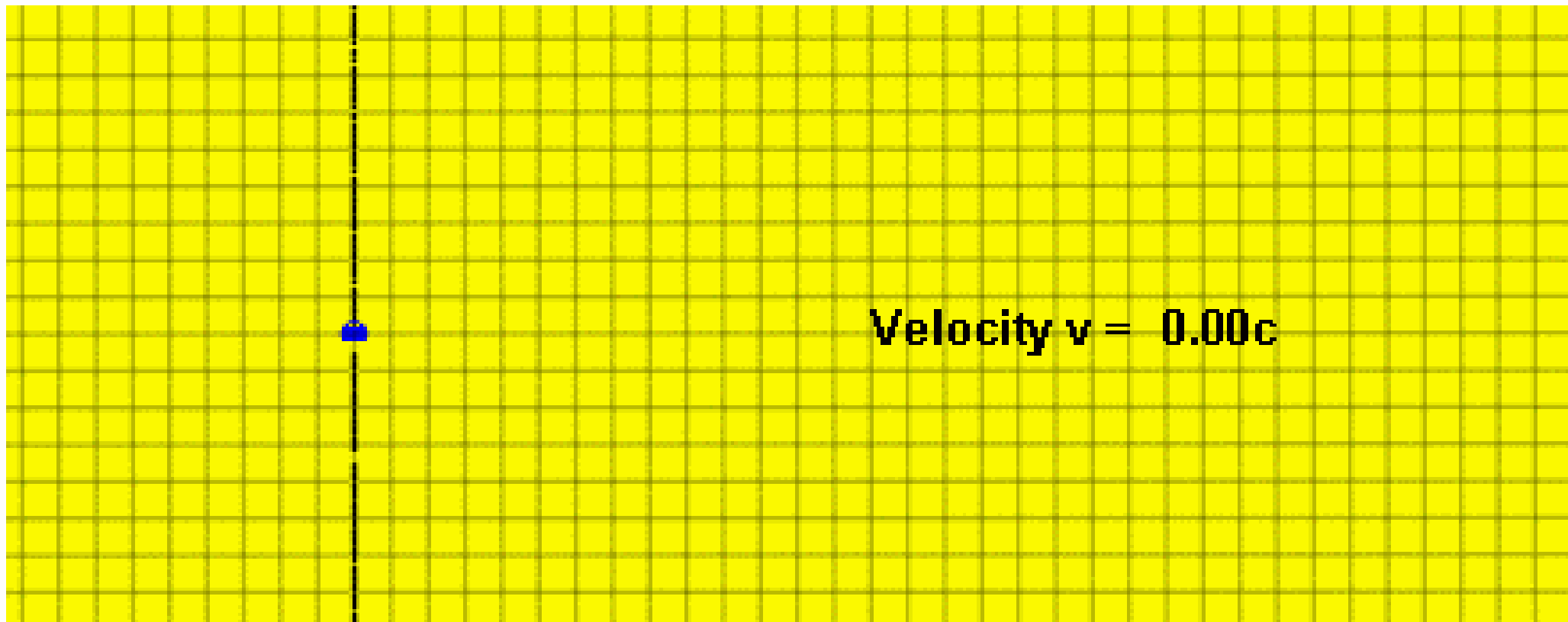
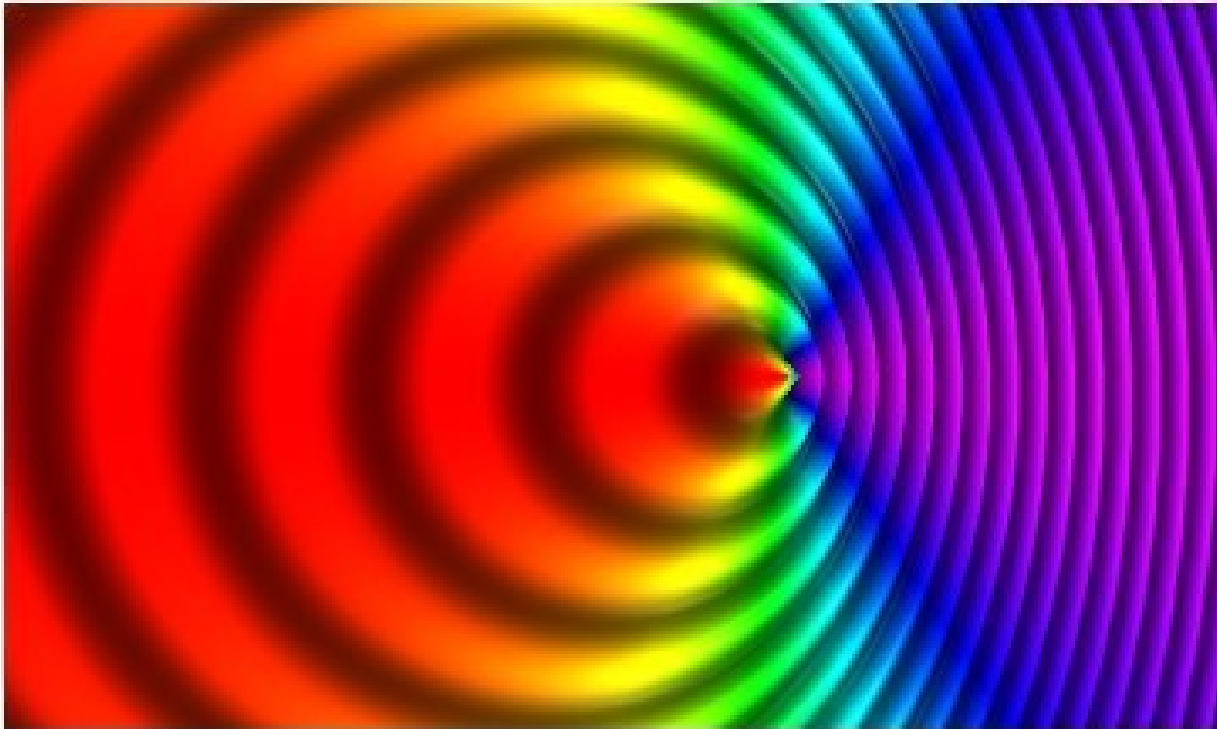
$$\frac{1 - \beta}{1 + \beta} < 1 \Rightarrow f_0' < f_0$$

Cominiendo el rojo  
Si se alejan

Si se acercan  $\Rightarrow \beta \rightarrow -\beta$  (ya que  $v = -v_x$ )  $\Rightarrow$

$$f_0' = f_0 \sqrt{\frac{1 + \beta}{1 - \beta}}$$

Cominiendo el azul  
(fuente y obs. se acercan).



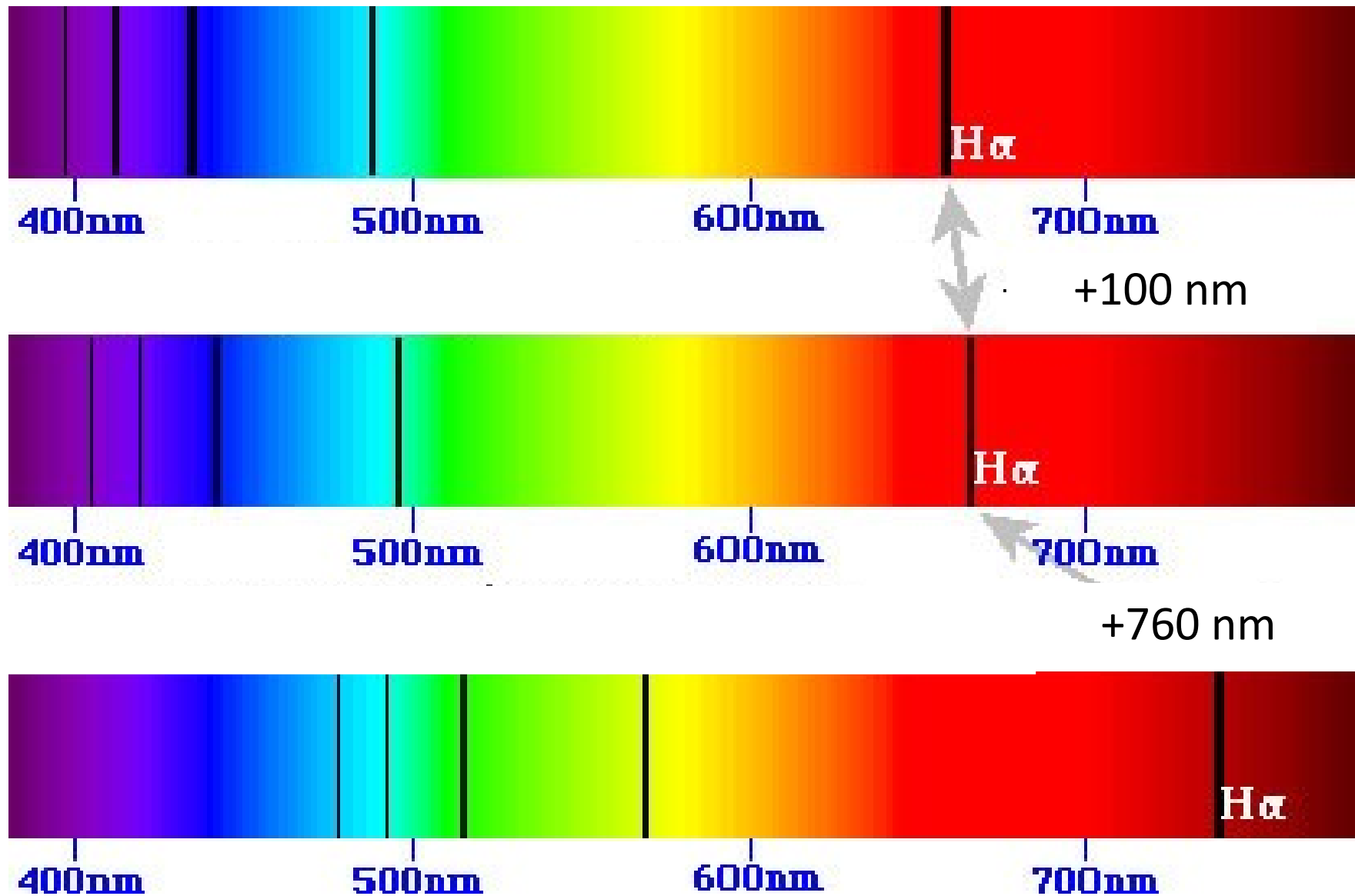


# Mirando al Sol con un buen prisma

**The Dark Side of the Moon**

Breathe, breathe in the air. Don't be afraid to care.  
Ticking away the moments that make up a dull day  
Money, get away. Get a good job with good pay  
Us and them. And after all we're only ordinary men  
The lunatic is on the grass. Remembering games  
All that you touch. All that you see. All that you

# Doppler en la luz





# Corrimiento al rojo

$$\frac{f_o}{f_e} = \sqrt{\frac{1-\beta}{1+\beta}} < 1 \rightarrow f_o < f_e, \text{ y } f\lambda = c \Rightarrow f_o = \frac{c}{\lambda_o}, \text{ y lo mismo para } \lambda_e$$

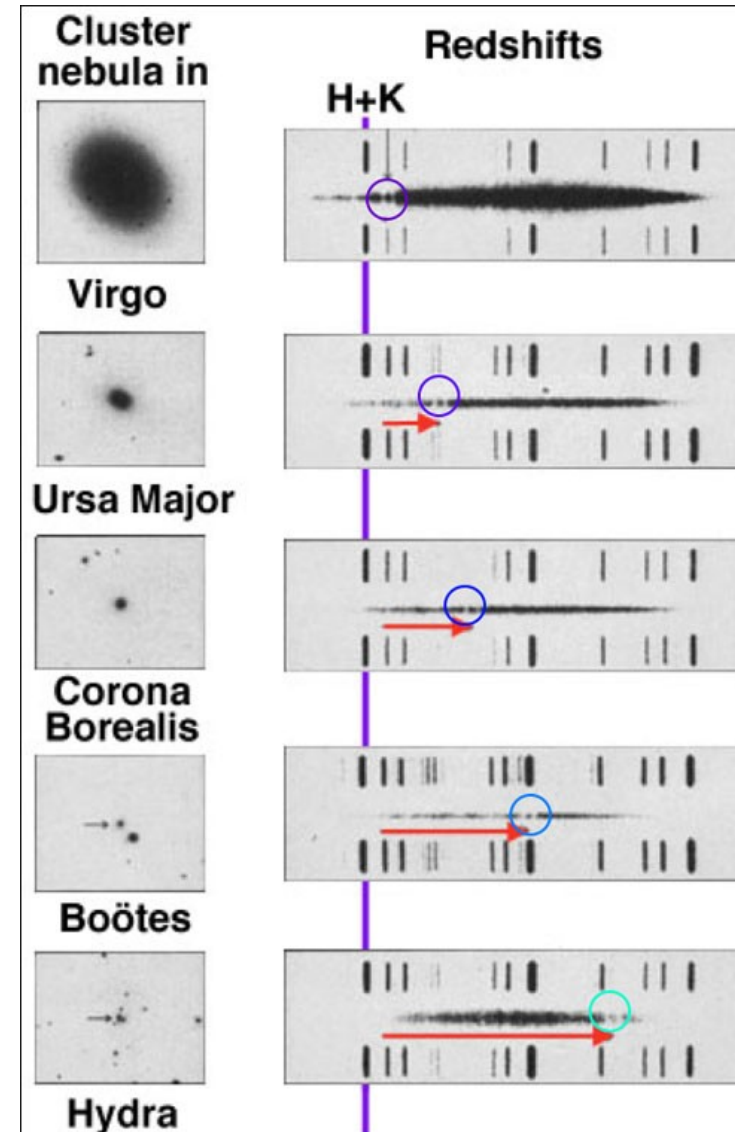
$$\frac{\lambda_o}{\lambda_e} = \sqrt{\frac{1+\beta}{1-\beta}} > 1 \rightarrow \lambda_o > \lambda_e$$

$$\text{Def. } z \equiv \frac{\lambda_o - \lambda_e}{\lambda_e} \Rightarrow 1+z = \frac{\lambda_o}{\lambda_e} = \sqrt{\frac{1+\beta}{1-\beta}}$$

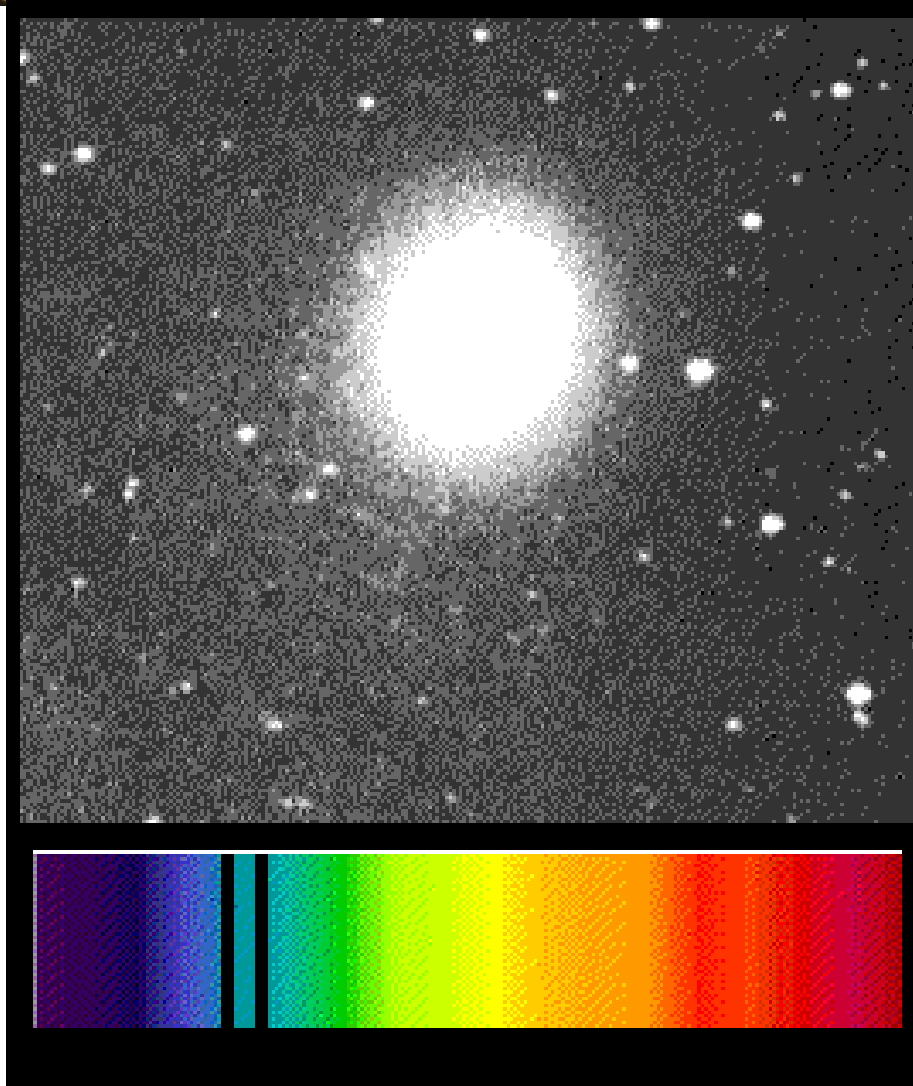
**z es el corrimiento al rojo.**

Se puede probar que si  $v \ll c$

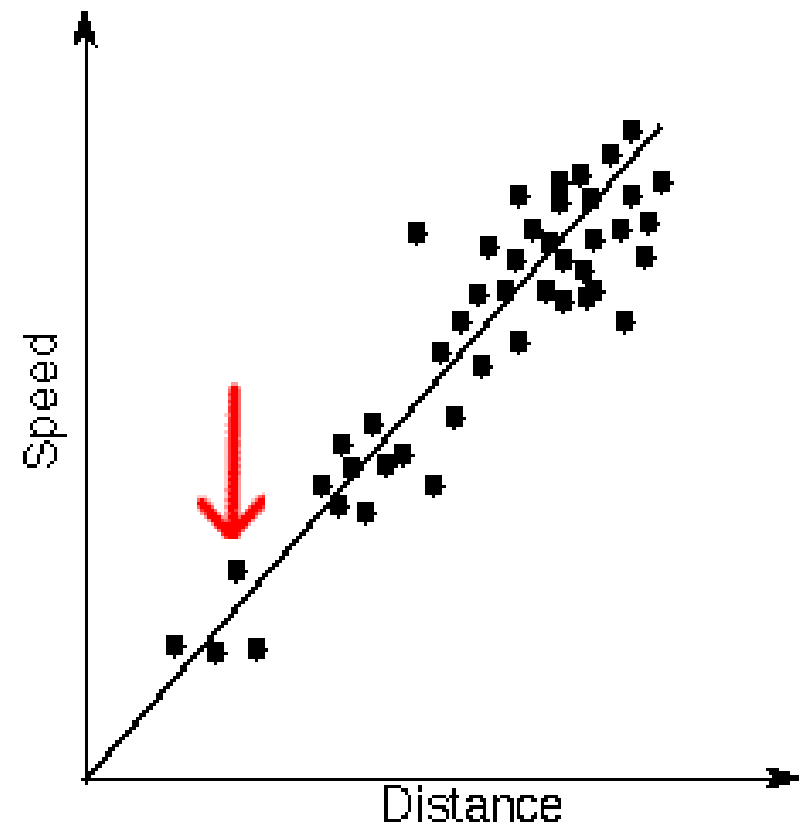
$$z \simeq \beta$$



# El Universo se expande



**Hubble Law**  
recession speed =  $H_0 \times \text{distance}$



$$V = H_0 \times d$$

Nov 14, 2018

$$H_0 = 67 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$$



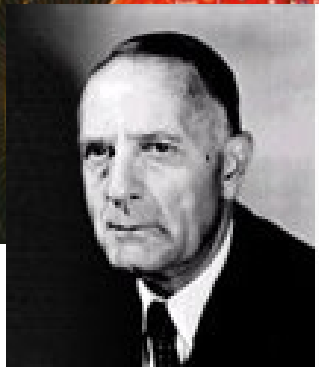
# ¿y más allá del “rojo”?

## Encuentre las diferencias

HST, infrarrojo

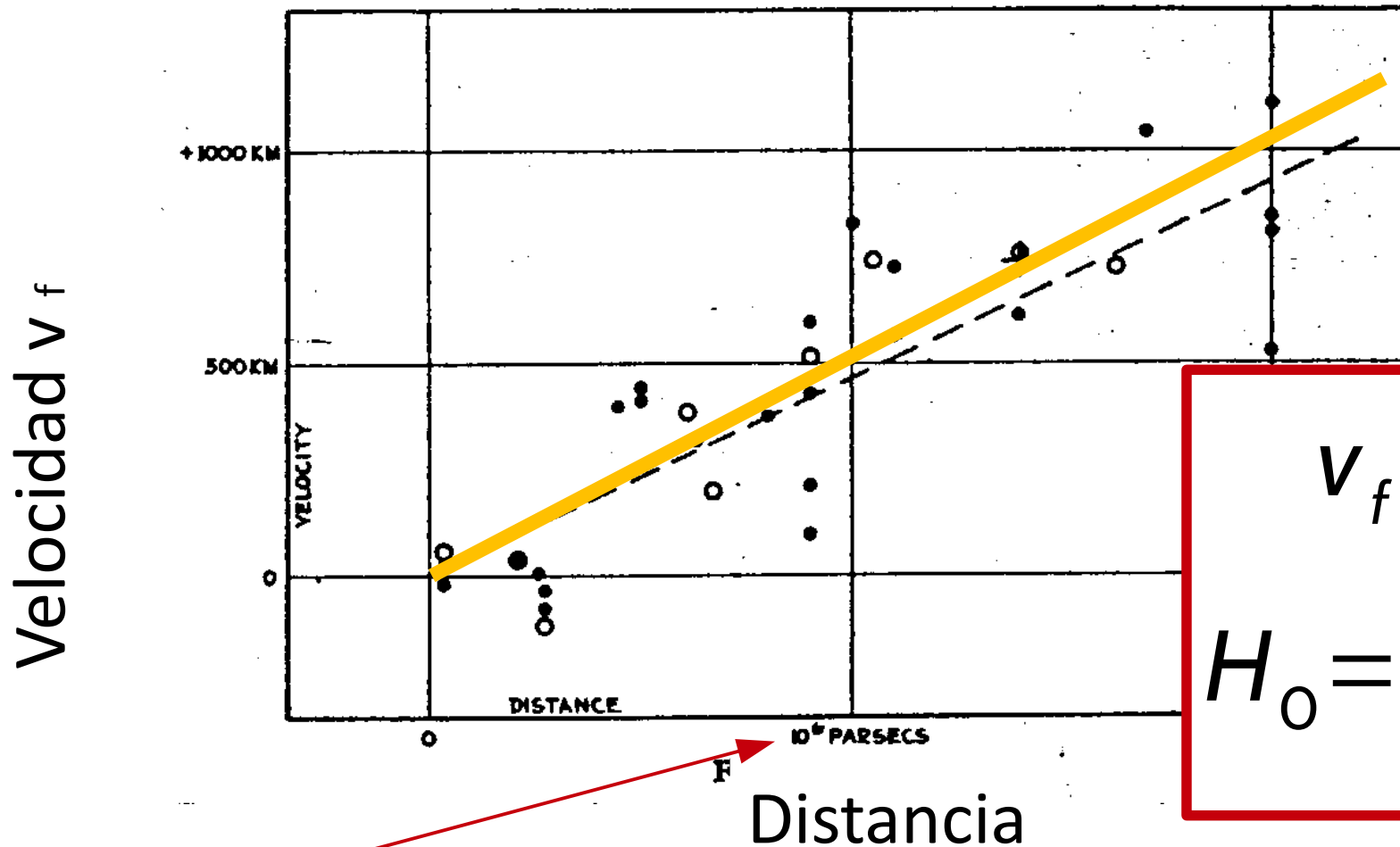
HST, visible





# Ley de Hubble: el Universe se expande

Un objeto situado a 1 Mpc de la Tierra se aleja a una velocidad de 67 km/s



$$v_f = H_0 d$$
$$H_0 = 67 \frac{\text{km}}{\text{s Mpc}}$$

$10^6$  parsecs = 1 Mpc (megaparsec) =  $3.085 \times 10^{22}$  m