

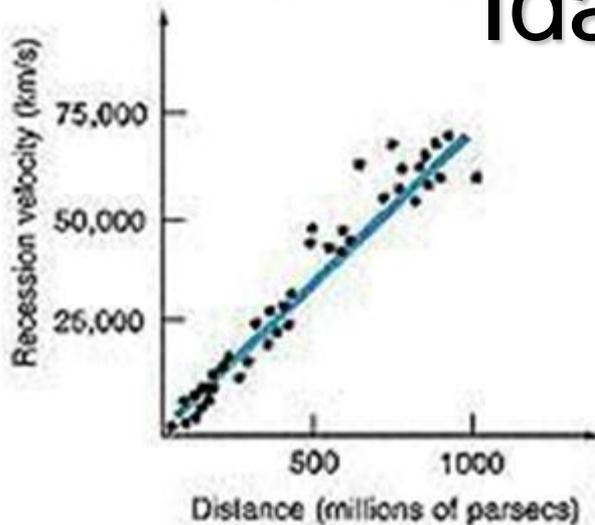


1400110

Laboratório de Física da Terra e do Universo

*Profa. Jane Gregorio-Hetem*

# Redshift e a **Lei de Hubble**: Idade do Universo





[News](#)

[Science](#)

[Publications](#)

[Administration](#)

[Education & Training](#)

[IAU for](#)

[Home](#) / [News](#) / [Press Releases](#) / [IAU members vote to recommend renaming the Hubble law as the Hubble–Lemaître law](#)

## iau1812 — Press Release

[Subscribe to the IAU e-Newsletter.](#)



# Lei de Hubble-Lemaître: Idade do Universo

## RESUMO

### Conceitos Básicos

- ❖ Métodos de Determinação de Distâncias;
- ❖ Formação de Linhas Espectrais;
- ❖ Efeito Doppler;
- ❖ Distância das Galáxias;
- ❖ Constante de Hubble;
- ❖ A Idade do Universo

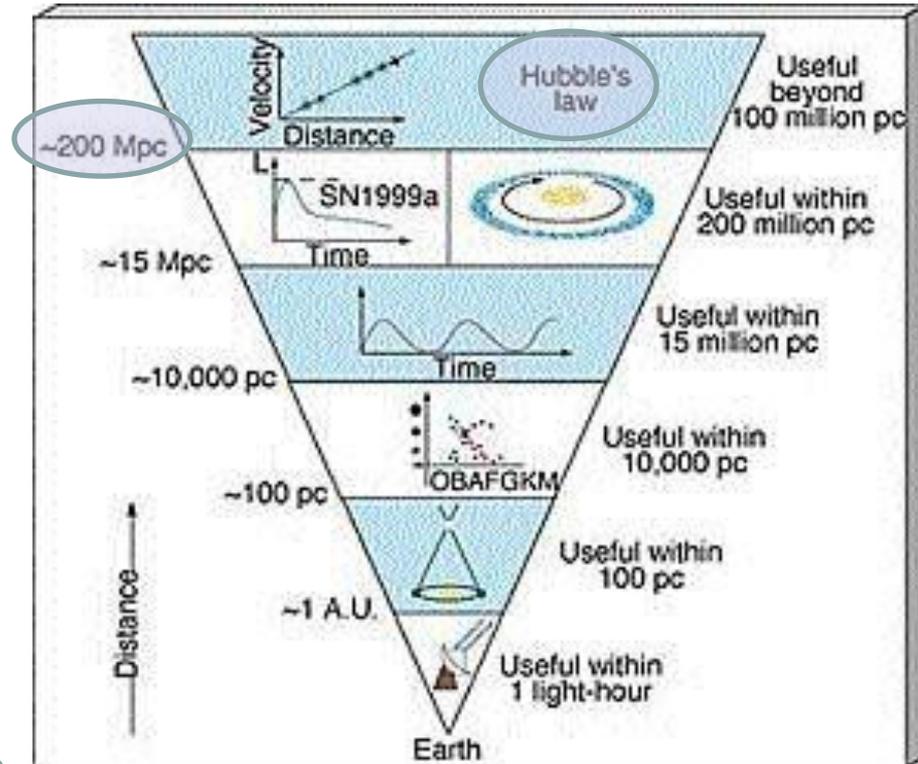
# Métodos de Determinação de Distâncias

- Terra-Lua: radar;
- Sistema Solar: paralaxe trigonométrica;
- Estrelas próximas: módulo de distância

$$m - M = 5 \log \left( \frac{d(\text{pc})}{10} \right)$$

Via Láctea

- Galáxias: período-luminosidade das Cefeidas; função de luminosidade de aglomerados globulares, nebulosas planetárias; luminosidade de supernovas, etc.



# Formação das Linhas Espectrais

## Emissão de radiação



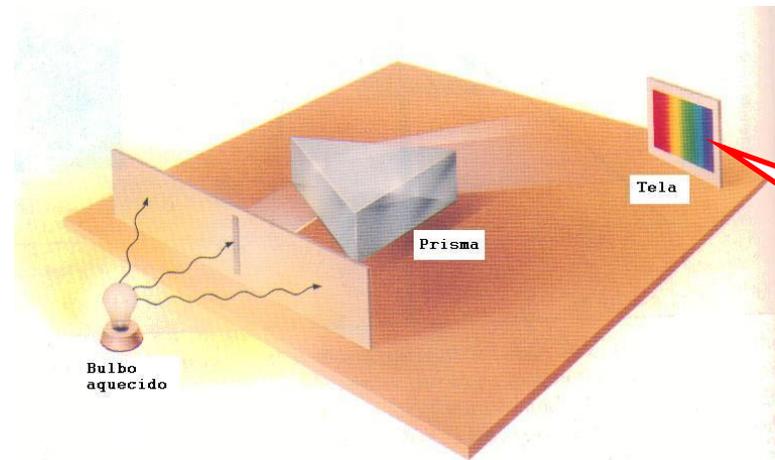
Qualquer corpo aquecido a uma dada temperatura  $T$  emite uma quantidade e um tipo (frequência) de radiação em função de  $T$ .

- Ex: barra de ferro ( $T \uparrow$ )  $\Rightarrow$  cores: cinza  $\Rightarrow$  vermelho laranja  $\Rightarrow$  amarelo  $\Rightarrow$  branco

# Leis de Kirchhoff

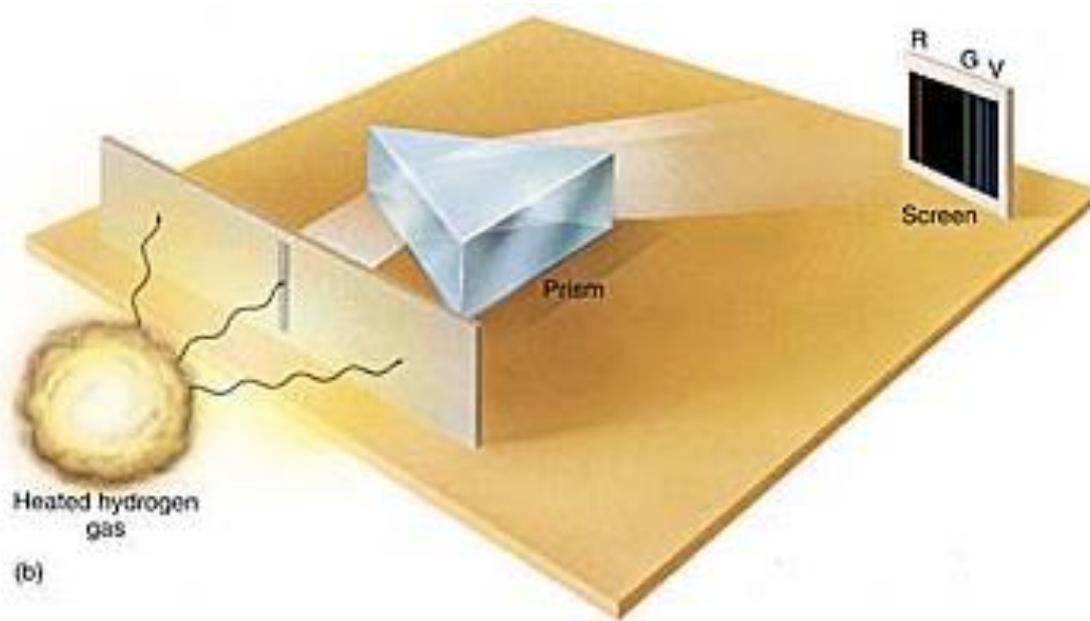
Regras que estabelecem a emissão e a absorção de radiação (três leis):

- 1ª: *Um objeto que esteja no estado sólido, líquido ou gasoso, e sob alta pressão, produzirá um espectro contínuo de emissão, quando aquecido.*



Espectro contínuo

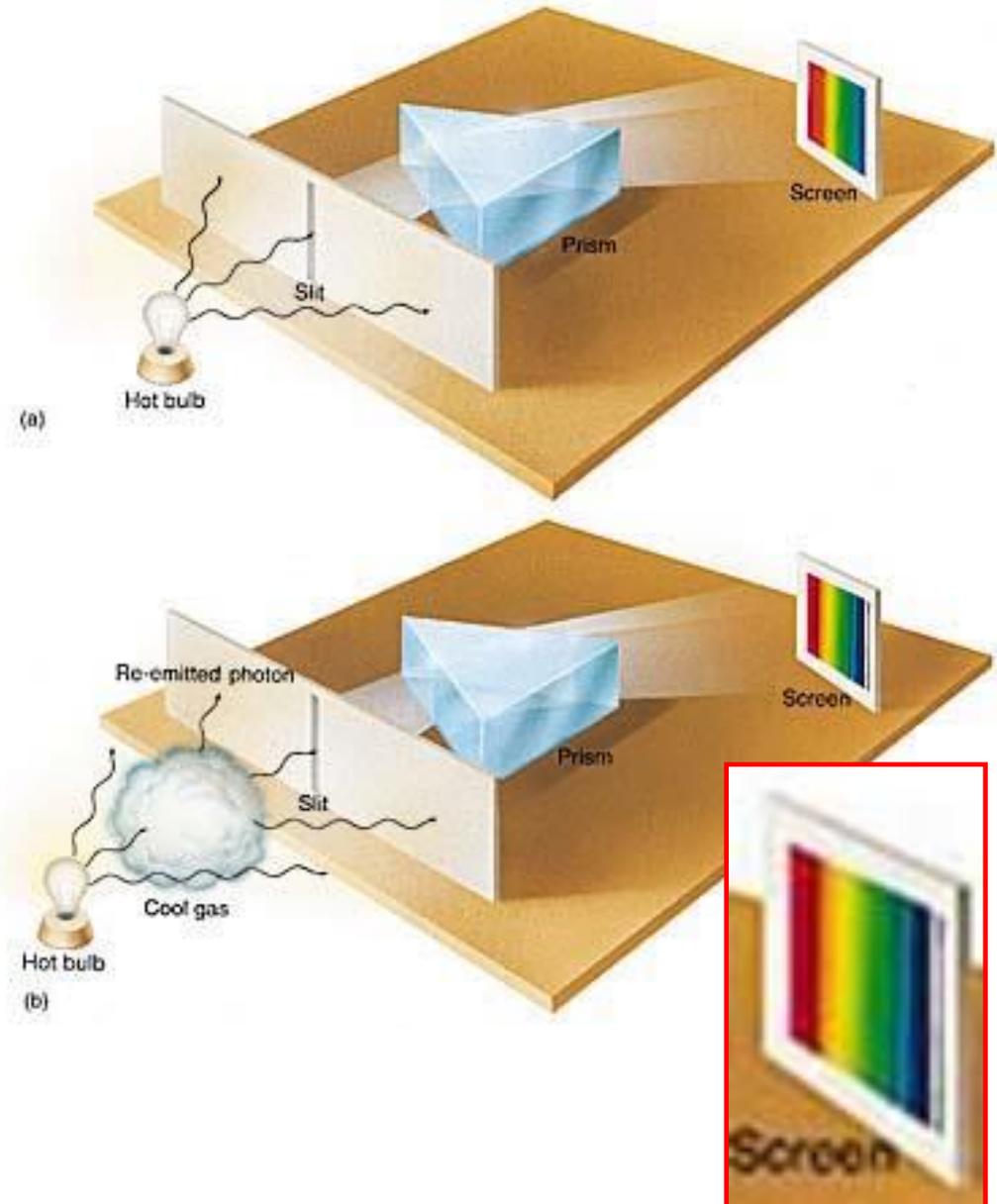
## 2ª Lei de Kirchhoff

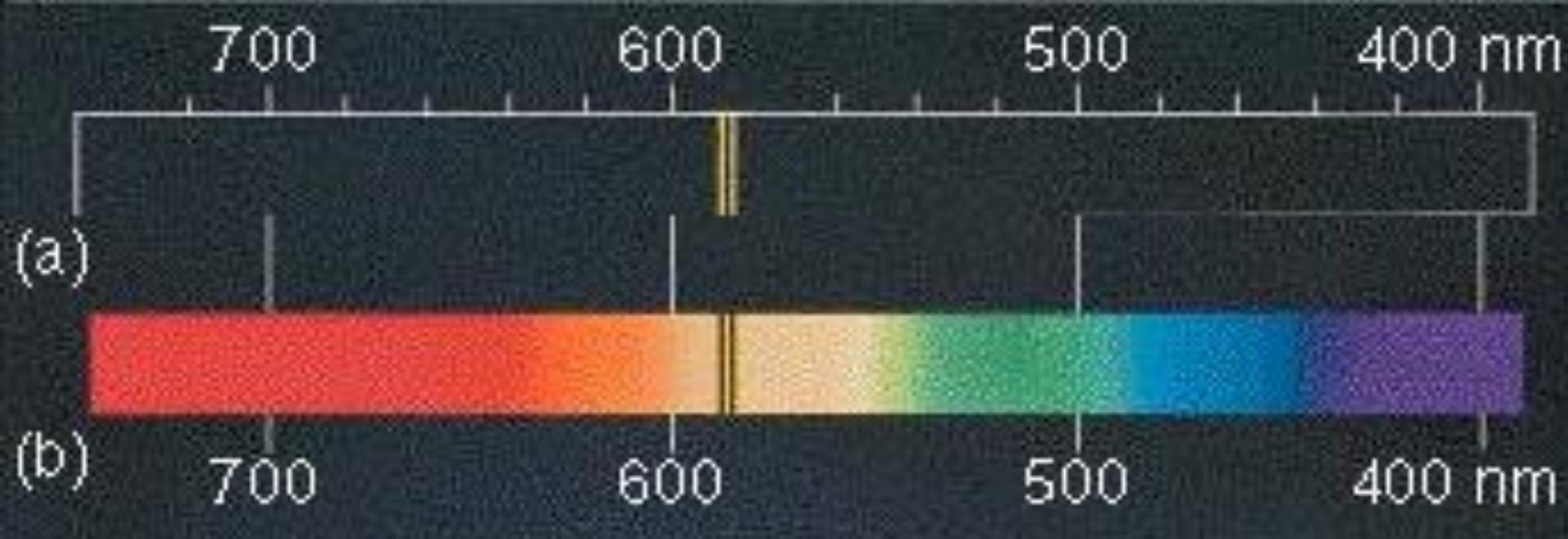


*Um gás a baixa pressão e a uma temperatura suficientemente alta produzirá um espectro de linhas brilhantes de emissão.*

# 3ª Lei de Kirchhoff

*Um gás a baixas pressão e temperatura, que se localize entre uma fonte de radiação contínua e um observador, produzirá um espectro de **linhas de absorção**, ou seja, um conjunto de linhas escuras superpostas ao espectro contínuo.*



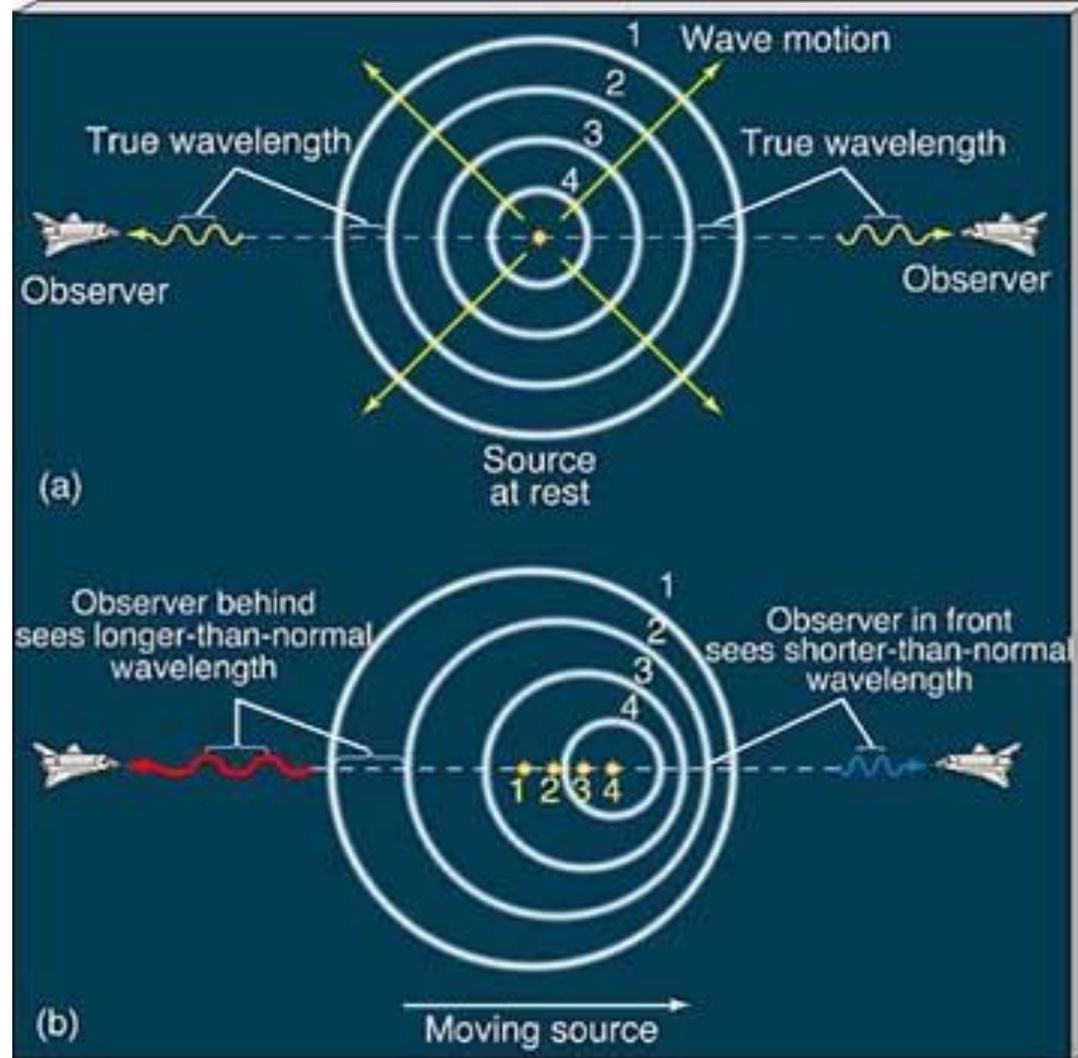


a) O espectro de **emissão** do sódio  $\rightarrow$  duas linhas brilhantes  $\rightarrow$  amarelas.

b) Espectro de **absorção** do sódio  $\rightarrow$  duas linhas escuras  $\rightarrow$  na mesma posição correspondente às linhas de emissão.

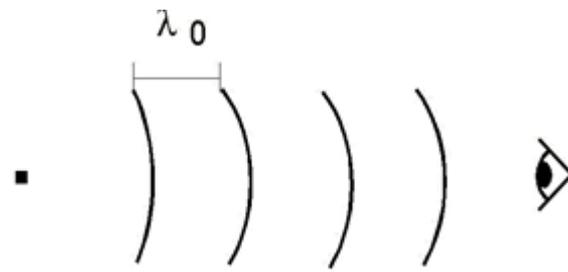
# Efeito Doppler

Como medimos a velocidade radial dos astros (afastamento ou aproximação)?



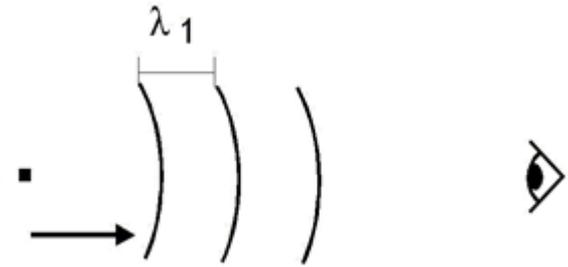
Fonte emissora desloca-se em relação ao observador

- Fonte em repouso, emitindo luz a um comprimento de onda  $\lambda_e$ .



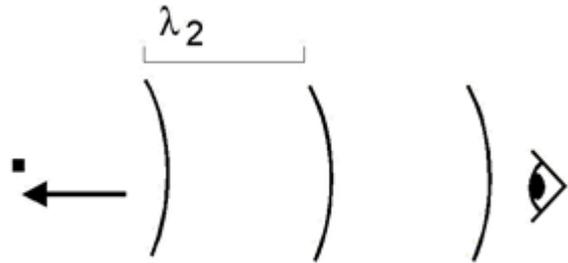
$$v_e = \frac{c}{\lambda_e}$$

- Fonte aproxima-se do observador: comprimento de onda observado será menor ( $\lambda_1 < \lambda_e$ ).



$$v_1 = \frac{c}{\lambda_1}$$

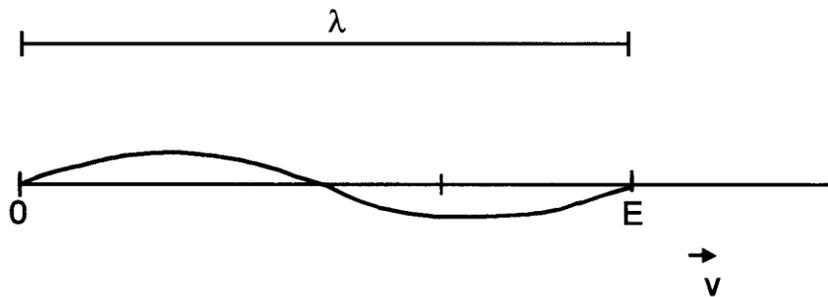
- Fonte afasta-se: comprimento de onda observado será maior ( $\lambda_2 > \lambda_e$ ).



$$v_2 = \frac{c}{\lambda_2}$$

Para velocidades **não-relativísticas**

(fonte Emissora com  $v \ll c$ )



$$\lambda = (c + v) t$$

$$\lambda = c \left[ 1 + \frac{v}{c} \right] t \quad \longleftrightarrow \quad \lambda = c \left[ 1 + \frac{v}{c} \right] \frac{1}{\nu_e}$$

$t = \frac{1}{\nu_e}$  **Período de oscilação**

$$\lambda = \lambda_e \left[ 1 + \frac{v}{c} \right]$$

$$\lambda = \lambda_e \left[ 1 + \frac{v}{c} \right]$$

- Quanto o comprimento de onda observado ( $\lambda$ ) desviou-se do emitido ( $\lambda_e$ )?

- Calculamos  $\Delta\lambda = \lambda - \lambda_e = \lambda_e \left( \frac{v}{c} \right)$

- resultando na expressão que define o deslocamento Doppler:

$$\boxed{\frac{\Delta\lambda}{\lambda_e} = \frac{v}{c}}$$

Objetos em afastamento, observa-se  $\lambda > \lambda_e \Rightarrow$  desvio para o vermelho (*redshift*)  $\Rightarrow$  **VELOCIDADES POSITIVAS**

No caso em que  $\lambda < \lambda_e$ , temos o desvio para o azul (*blueshift*), que corresponde à aproximação do objeto  $\Rightarrow$  **VELOCIDADES NEGATIVAS**

# Distância das galáxias

- Nos anos 20, Edwin Hubble e Milton Humason obtiveram espectros de muitas galáxias e através do “desvio Doppler”, calcularam a velocidade com que estas galáxias estavam se movendo.
- A maioria delas estava se distanciando de nós, ou seja, apresentaram “*redshifts*” e não “*blueshifts*”.

## Determinação da distância das galáxias (cont.)

- Usando a relação período-luminosidade das Cefeidas, obtiveram distâncias para as galáxias.
- Gráfico **distância** vs. **velocidade** de cada galáxia  
⇒ Hubble verificou que estas duas variáveis se **correlacionam** linearmente.
  - Galáxias que estão próximas a nós se afastam mais lentamente do que galáxias distantes.
  - Este movimento é comum a todo o Universo.  
Em geral, galáxias estão sempre se **afastando umas das outras**. **EXCETO: Grupo Local**: movimentos peculiares ⇒ objetos gravitacionalmente ligados

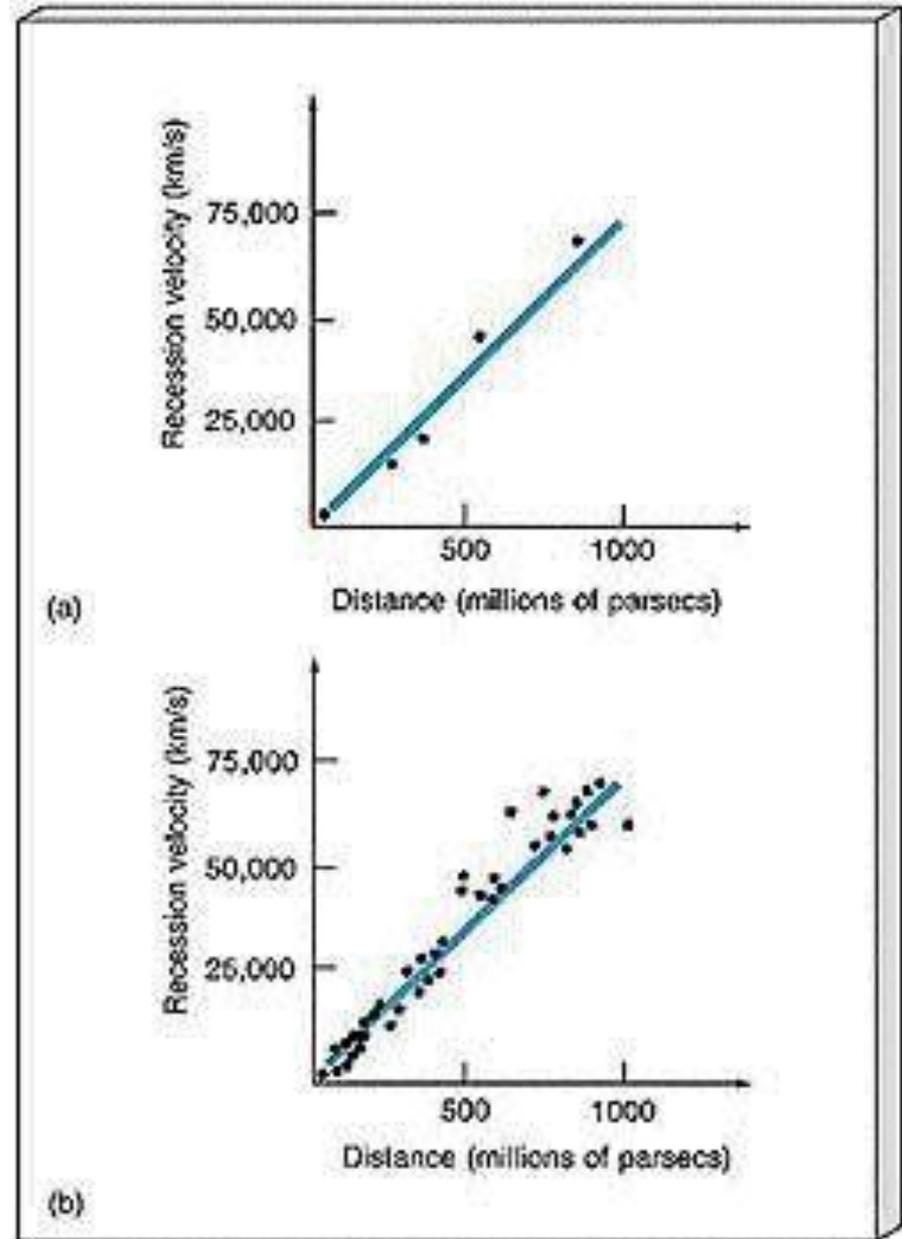
# A constante de Hubble

- Relação entre as distâncias das galáxias e suas velocidades: uma das descobertas mais importantes  $\Rightarrow$  expansão do Universo (que já havia sido sugerida por Lemaître).
- A **Lei de Hubble-Lemaître** fornece a velocidade com que o Universo se expande:  
**VELOCIDADE DE RECESSÃO =  $H_0$  x DISTÂNCIA**,  
onde  $H_0$  é a constante de Hubble.
- Esta constante é a inclinação da reta do diagrama de Hubble.
- A **distância** das galáxias é normalmente medida em **Mpc** e a **velocidade** em **km/s**.

**Diagrama de Hubble:**  
velocidade de recessão vs.  
distância.

(a) galáxias de vários  
aglomerados entre 16 e  
820 Mpc;

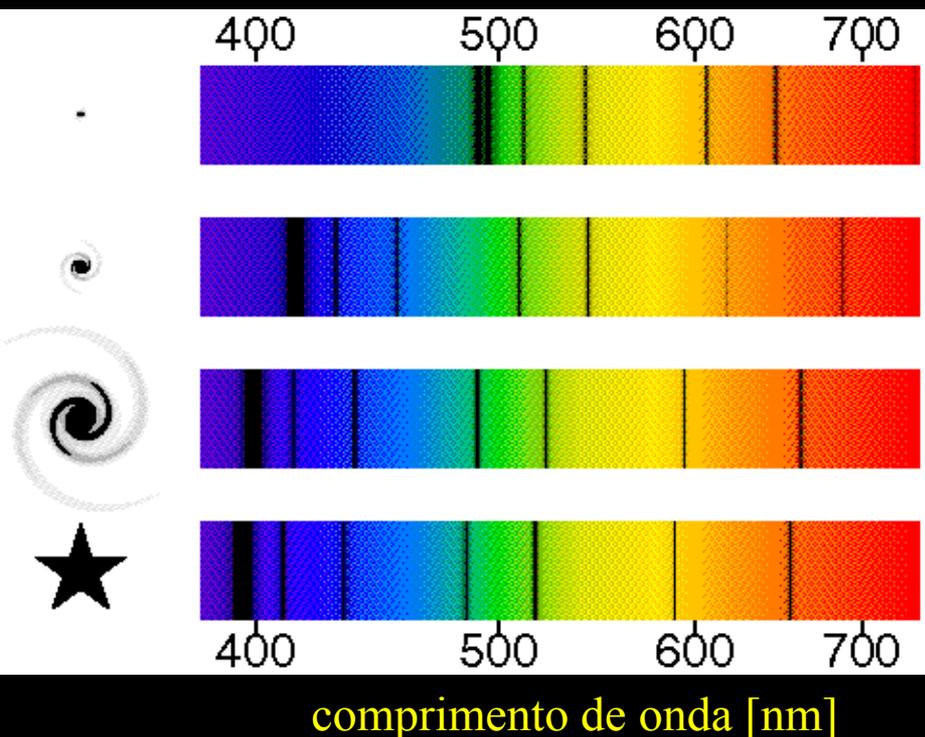
(b) outras galáxias até  $10^3$   
Mpc.



# Lei de Hubble-Lemaître

$$c z = v$$
$$z \equiv \Delta\lambda/\lambda_e$$
$$v = H_0 d$$

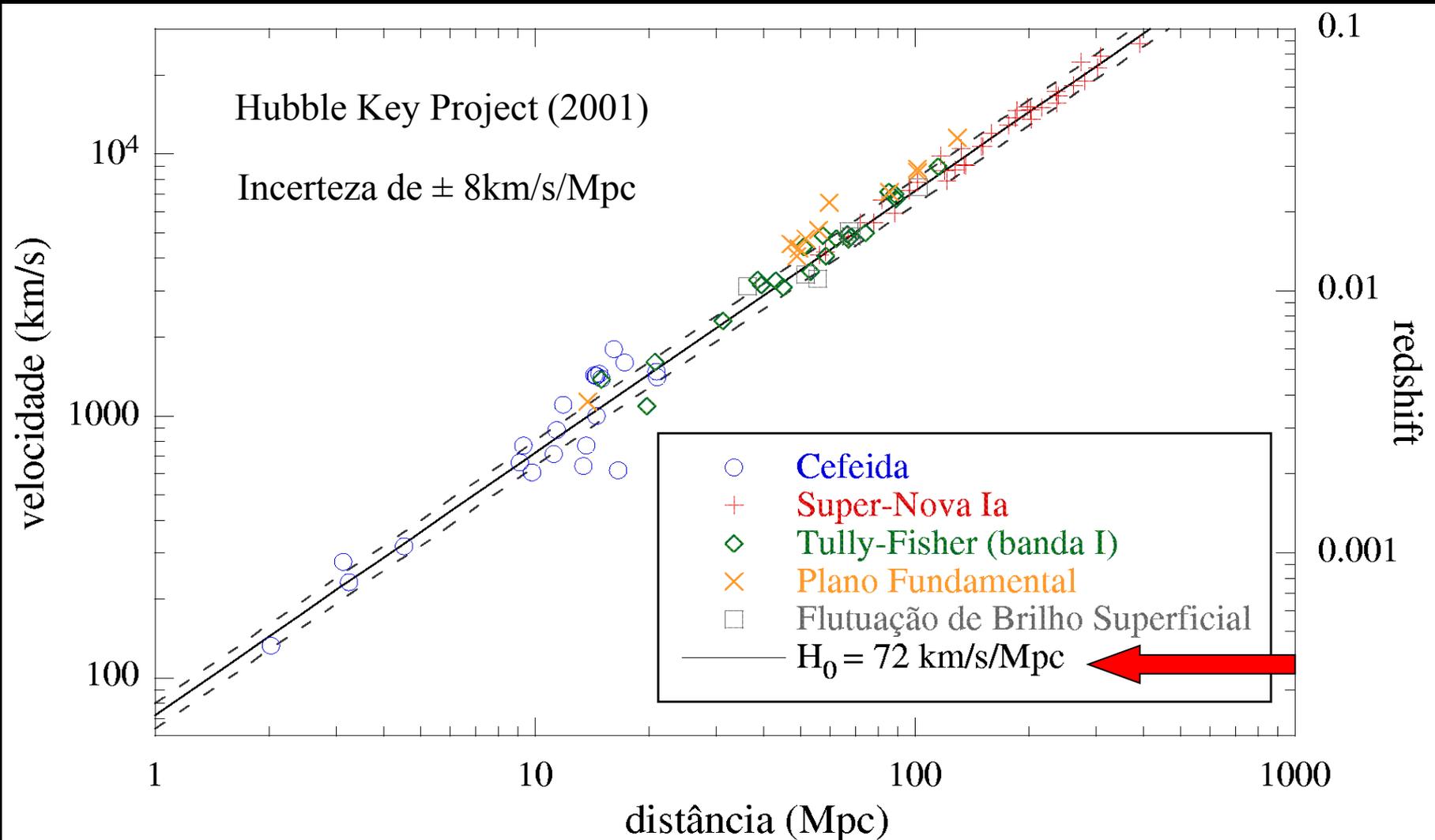
Efeito Doppler  $\Rightarrow$  desvio para o vermelho (“redshift”):



Determinação de distâncias:

- ✓ Relação Período-Luminosidade de Cefeidas;
- ✓ Aglomerados de galáxias;
- ✓ Supernovas;
- ✓ Relações de escala em galáxias
- ✓ Flutuação de brilho superficial

# Lei de Hubble-Lemaître



# Distâncias: o uso da constante de Hubble ( $H_0$ )

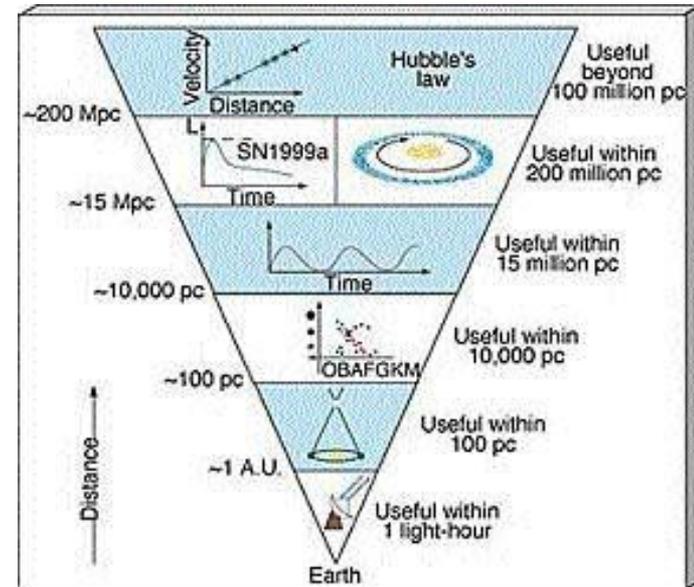
Adotando-se  $H_0 = 72 \text{ km s}^{-1} / \text{Mpc}$  :

- Galáxias a 1 Mpc têm  $v = 72 \text{ km s}^{-1}$
- $d = 2 \text{ Mpc} \rightarrow v = 144 \text{ km s}^{-1}$

$$v = H_0 d$$

## Idade do Universo:

$$t = 1/H_0 = 1 / (72 \text{ km s}^{-1} \text{Mpc}^{-1})$$



Maior distância observável\*:  $14 \cdot 10^9 \text{ pc}^{**}$

\*Usando  $d = c \times t \rightarrow d = 3 \cdot 10^5 \text{ km/s} \times 13,6 \cdot 10^9 \text{ anos} \rightarrow d \sim 14 \text{ bilhões a.l.} = 4 \cdot 10^9 \text{ pc}$ , mas  $\rightarrow$  Universo observável em expansão:  $d \sim 46,2 \text{ bilhões a.l.}$

\*\*1 pc =  $3,086 \times 10^{16} \text{ m} = 3,3 \text{ a.l.}$

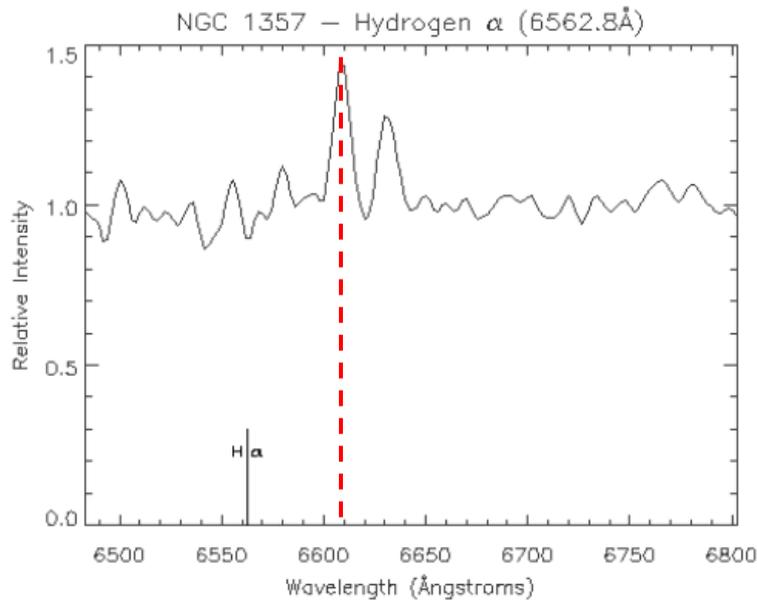
# BIBLIOGRAFIA

**Radiação Eletromagnética** (Cap.04 – Apostila AGA0215)

**Cosmologia** (Cap. 10 – Livro “O Céu Que Nos Envolve”)

# Experimento No. 02 (a) Idade do Universo

Galáxia	Distância [Mpc]	z	v [km/s]	Galáxia	Distância [Mpc]	z	v [km/s]
NGC 1357	26.30			NGC 3627	8.58	0.002425	
NGC 1832	25.15			NGC 3941	10.85	0.003095	
NGC 2775	17.65			NGC 4472	125.43	0.035358	
NGC 2903	7.16			NGC 4631	2.56	0.001001	



$$\lambda_e = 6562,8 \text{ \AA}$$

$$\lambda_{\text{obs}} = 6609 \text{ \AA}$$

$$\Delta\lambda = \lambda_{\text{obs}} - \lambda_e$$

$$\Delta\lambda = 46,2 \text{ \AA}$$

$$z \equiv \Delta\lambda / \lambda_e$$

$$z = 0,00704$$

$$c z = v$$

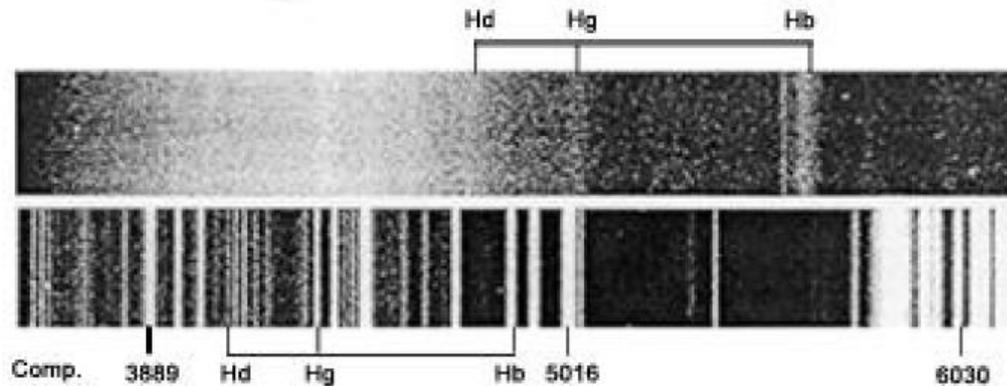
$$c = 3e5 \text{ km/s}$$

$$v = 2112 \text{ km/s}$$

Para NGC1357

# Experimento No. 02 (b) Redshift do Quasar 3C273

simplesmente "quasares". A figura a seguir mostra o espectro desse quasar e um espectro de comparação. Determine o redshift desse objeto (regra de três simples). Qual sua velocidade? Se admitirmos que  $H_0$  seja igual a  $70\text{km/s Mpc}$ , qual a sua distância em Mpc? E em anos-luz?



Optical Spectrum of 3C273

Dados: Os comprimentos de onda de repouso das 3 linhas do H mostradas no espectro são (1 Angstrom -  $10^{-8}$  cm):

$$H\beta = 4861 \text{ Angstroms}$$

$$H\gamma = 4340 \text{ Angstroms}$$

$$H\delta = 4102 \text{ Angstroms}$$