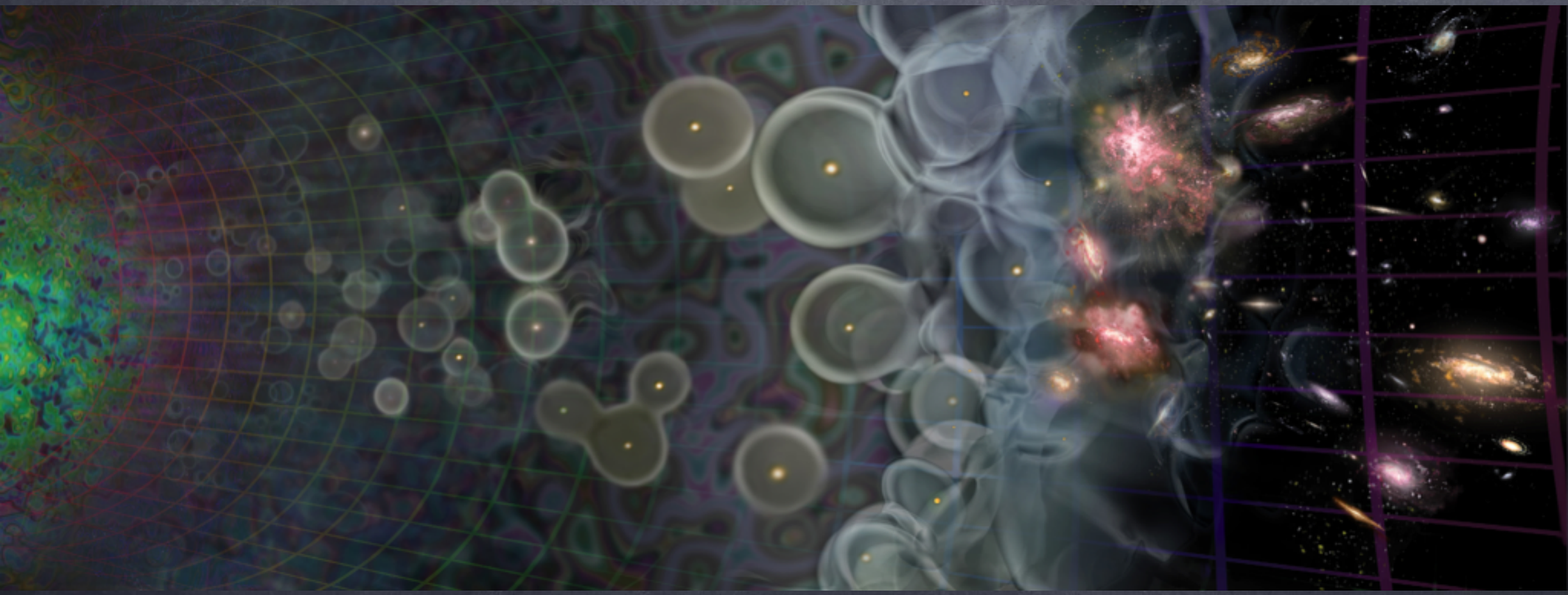
Introdução à Cosmologia Física



Aula de hoje:

* Fluxo, intensidade e potência

* Magnitudes: aparente e absoluta

* Distâncias, velocidades e o redshift: Hubble e a criação da Cosmologia moderna

Potência, Fluxo, Radiância, Brilho

Potência é a energia total por unidade de tempo que é gerada (ou transmitida) por alguma fonte.

Exemplos:

Potência de uma lâmpada

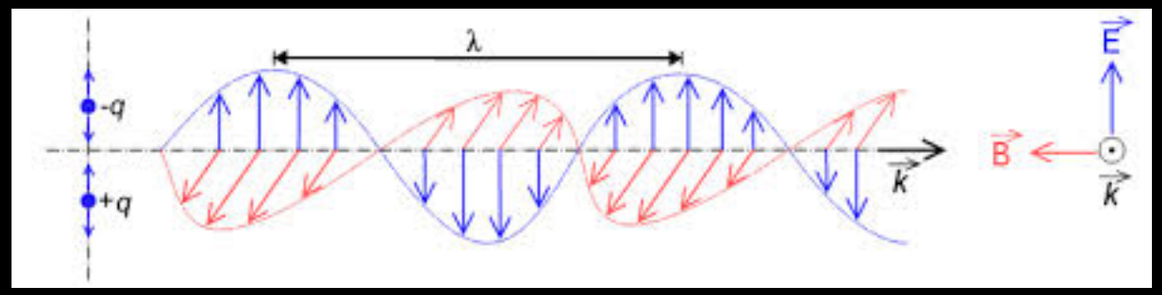
$P = 100$ W $= 100$ erg/s

Potência de um carro

$P = 100$ cavalos $= 100$ x 735.5 W

Potência de uma onda eletromagnética

$$P = |\vec{S}| = \left| \frac{\vec{E} \times \vec{B}}{2\mu_0} \right|$$

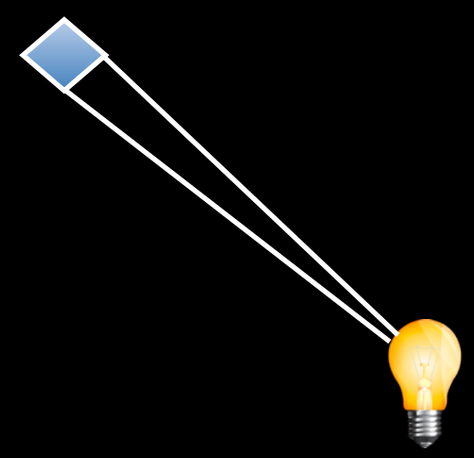


Fluxo

Fluxo de radiação, ou fluxo radiativo é a potência que atravessa uma certa área.

Exemplo:

Fluxo de uma lâmpada de 100 W, concentrado num ângulo sólido de 1 grau quadrado, a 1m da lâmpada:



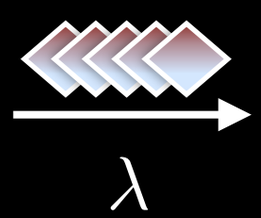
$$F = \frac{100\ W}{\Delta\Omega \times r^2} = \frac{100\ W}{(\pi/180)^2 \times (1\ m)^2}$$

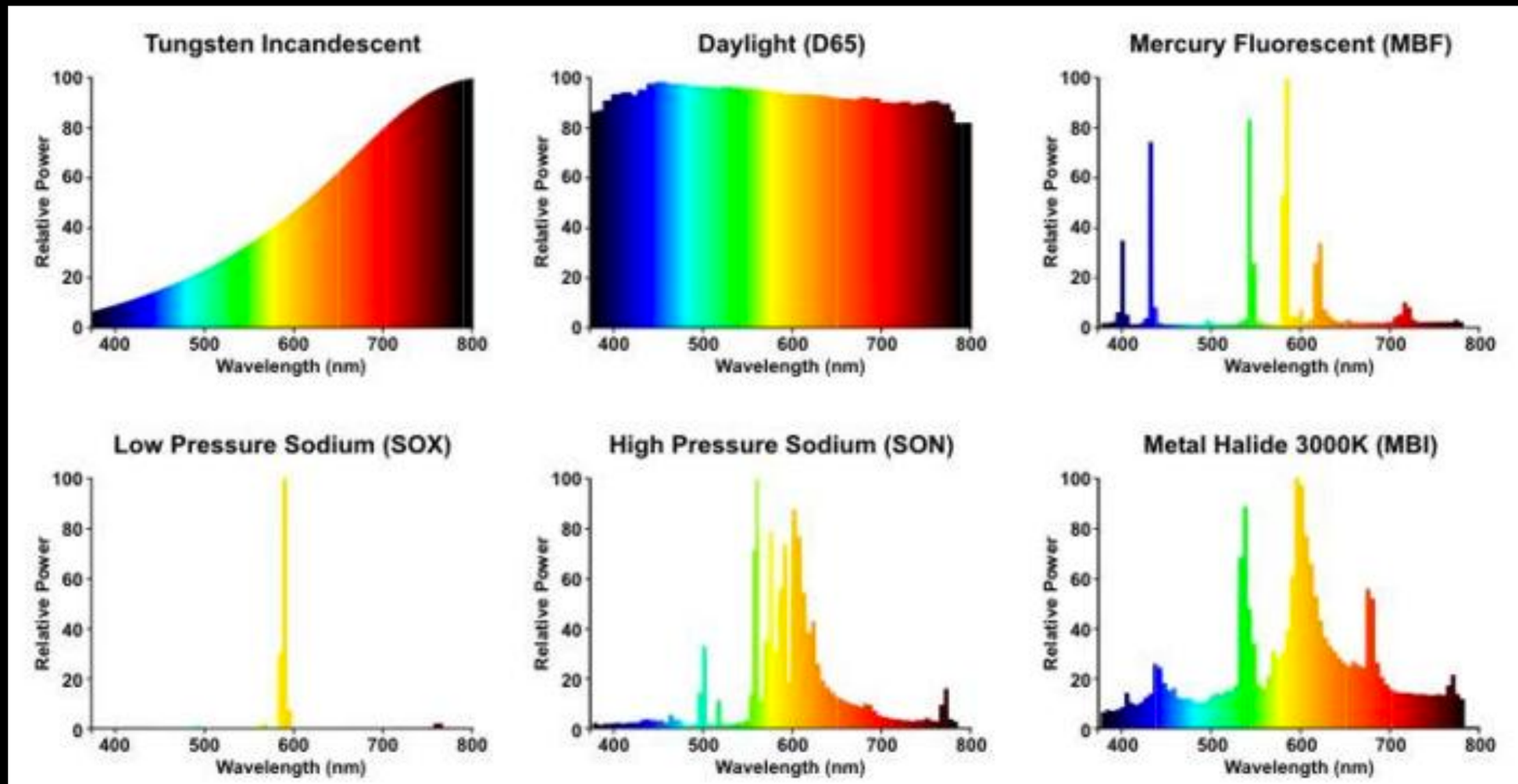
$$\simeq 3.28 \times 10^5\ W\ m^{-2}$$

Fluxo espectral

É o fluxo de radiação por unidade de comprimento de onda da luz

Exemplos:





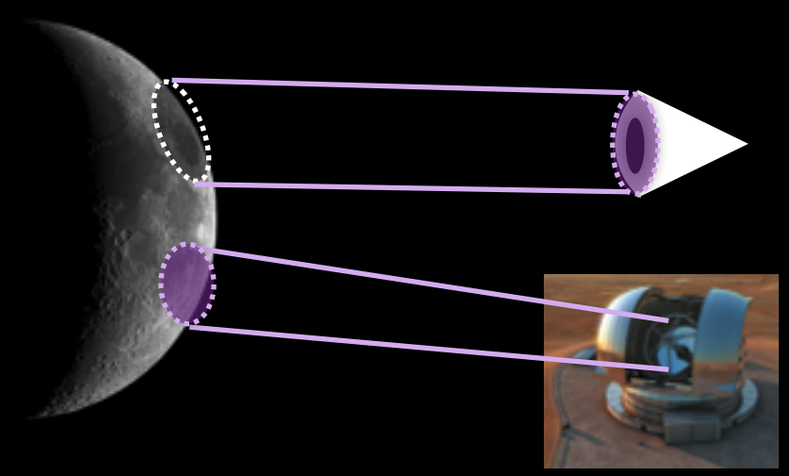
Radiância

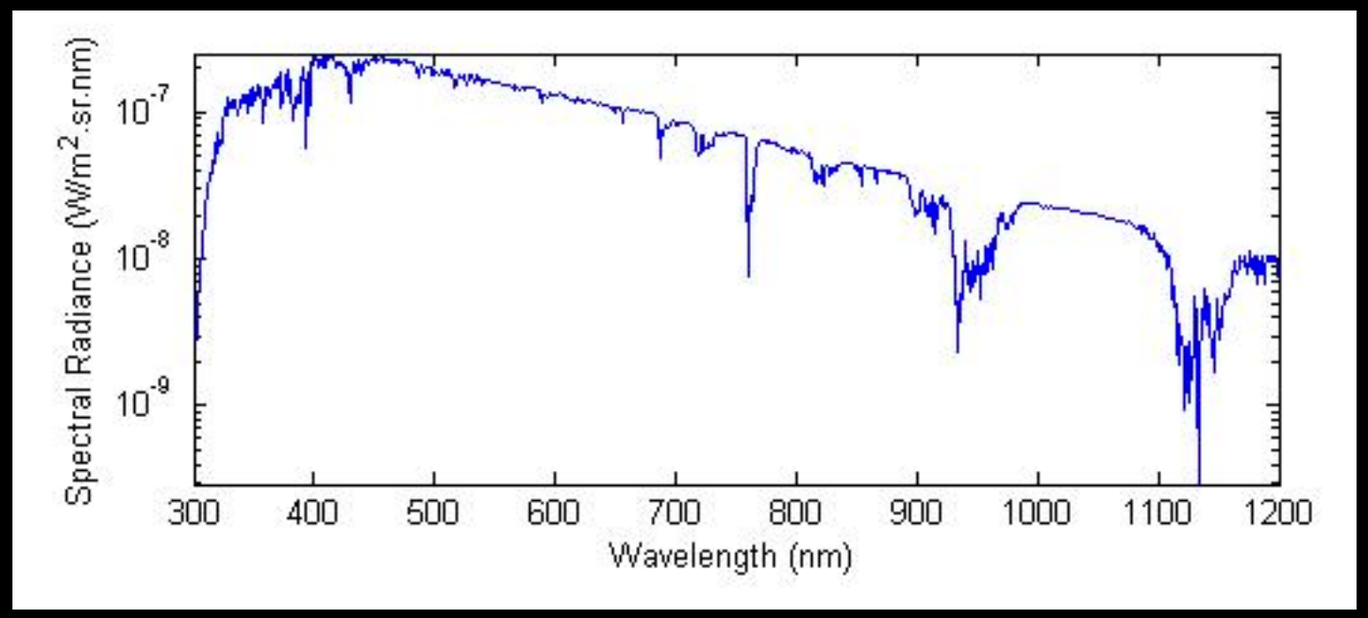
É o fluxo espectral que é emitido de uma dada superfície e incide sobre um determinado ângulo sólido.

OU:

É o fluxo espectral que é emitido de um certo ângulo sólido e incide sobre uma determinada área.

Exemplo:
A radiância (ou brilho) da Lua à meia-noite



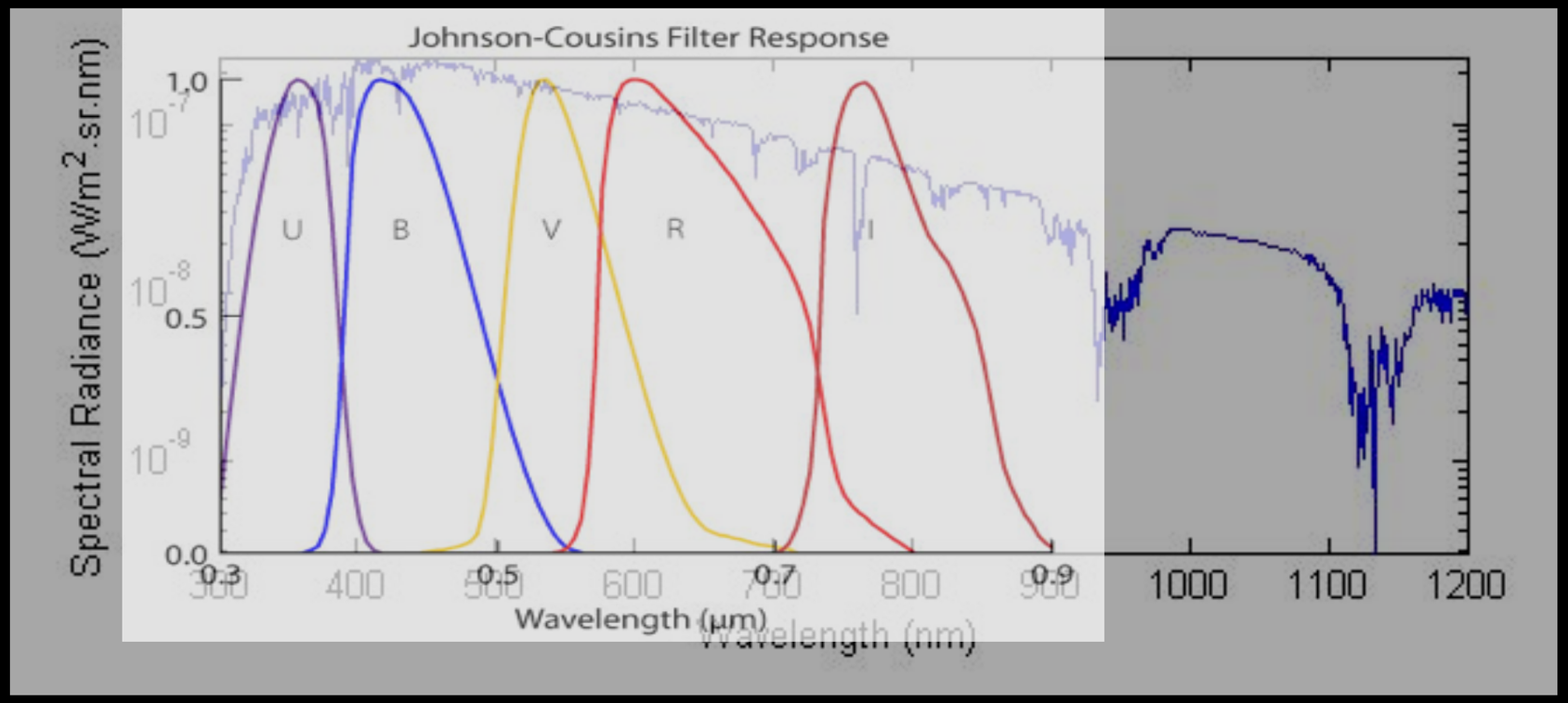


Luminância (brilho/brightness)

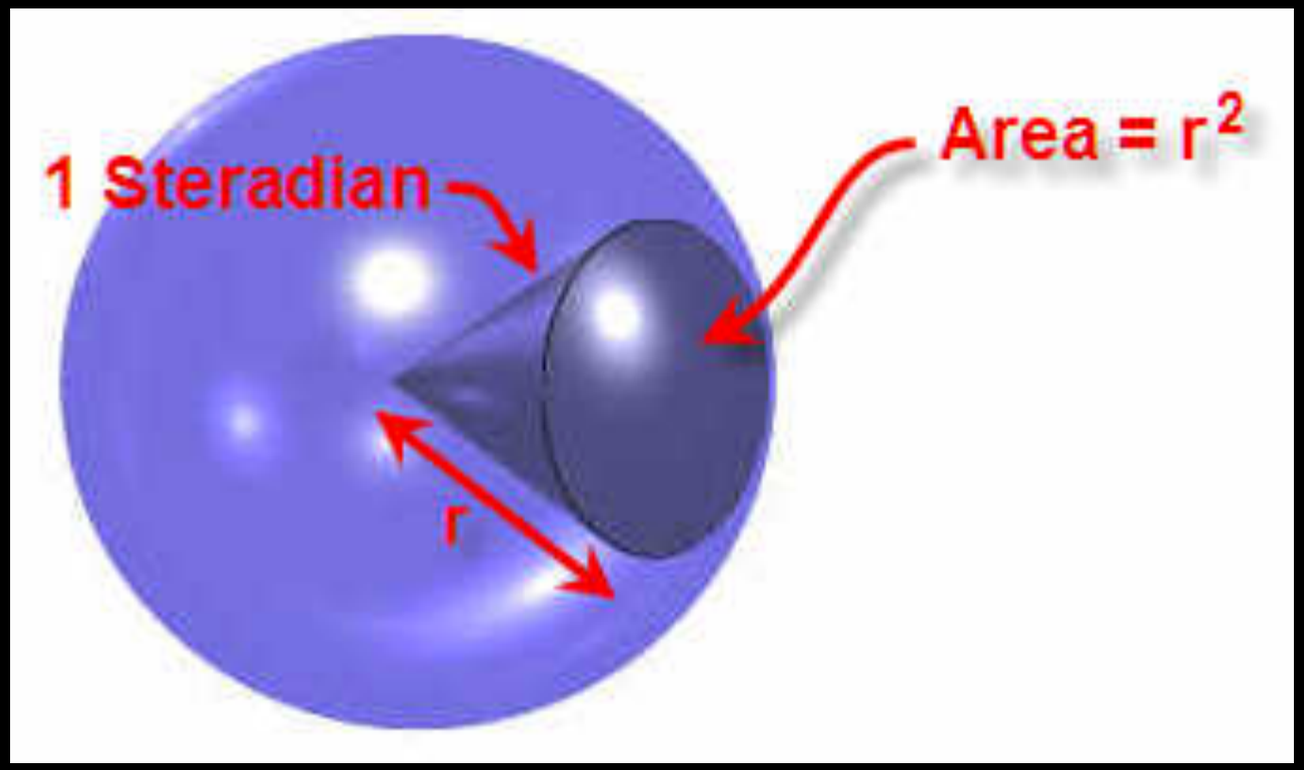
É a radiância integrada sobre uma certa banda de comprimentos de onda.

Exemplo:
Bandas U B V R I

$$\Rightarrow W\ m^{-2}\ sr^{-1}$$



O que raios é um sr = steradiano?



Ângulo sólido total de uma esfera:

$$4\pi\, sr$$

Área correspondente a um certo ângulo sólido:

$$\Delta\Omega = X\, sr \quad \rightarrow \quad A = X \times r^2$$

Magnitudes

A magnitude aparente é a medida do brilho (ou fluxo numa certa banda) de um objeto celeste (estrela, galáxia, quasar) como observado na Terra.

Assim como dB, magnitudes empregam uma escala logarítmica (em base 10), e assumem um certo "padrão" arbitrário

Fluxo na banda b

Fluxo do "padrão" na banda b

$$F_b \rightarrow \frac{F_b}{F_{0,b}} \rightarrow \log_{10}\left(\frac{F_b}{F_{0,b}}\right)$$

magnitude aparente na banda b

$$b \equiv -2.5 \times \log_{10}\left(\frac{F_b}{F_{0,b}}\right)$$

A magnitude do "padrão" é zero, por definição

Algumas magnitudes aparentes (banda v - visual)

Sol	v = -26.7
1 lux	v = -14.2
Lua cheia (max)	v = -12.9
Vênus (max)	v = - 4.9
Lua nova (min)	v = -2.5
Sirius (★ + brilhante)	v = -1.5
Vega	v = 0 (→ 0.03)
★ no limiar do olho humano (cidade)	v = 3 - 4
galáxia de Andrômeda (M31)	v = 3.5
★ no limiar do olho humano (cond. ideais)	v = 6.5
Netuno	v = 8
Objeto menos brilhante visível com o HST	v = 31.5

Mais brilhante

Magnitude absoluta

A magnitude absoluta é a medida do brilho/fluxo (relativo ao "padrão" - vega) que seria observado na Terra, se o objeto estivesse a uma distância padrão (fixa) de 10 pc

$$M \equiv -2.5 \times \log_{10}\left(\frac{F}{F_0} \times \frac{D^2}{D_0^2}\right)$$

$$= m - 2.5 \times \log_{10}\left(\frac{D^2}{(10\,\mathrm{pc})^2}\right) = m - 5 \times (\log_{10} D\,[\mathrm{pc}] - 1)$$

$$\boxed{M = m - 25 - 5 \times \log_{10} D\,[\mathrm{Mpc}]}$$

Algumas magnitudes absolutas...

Sol	4.8
Sirius	1.4
Vega	0.58
SMC	-16.2
galáxia de Andrômeda (M31)	-20.9
Quasar 3C 273	-26.7
Galáxias mais brilhantes do universo	-30

Mais brilhante

Edwin Hubble e a descoberta da expansão do universo

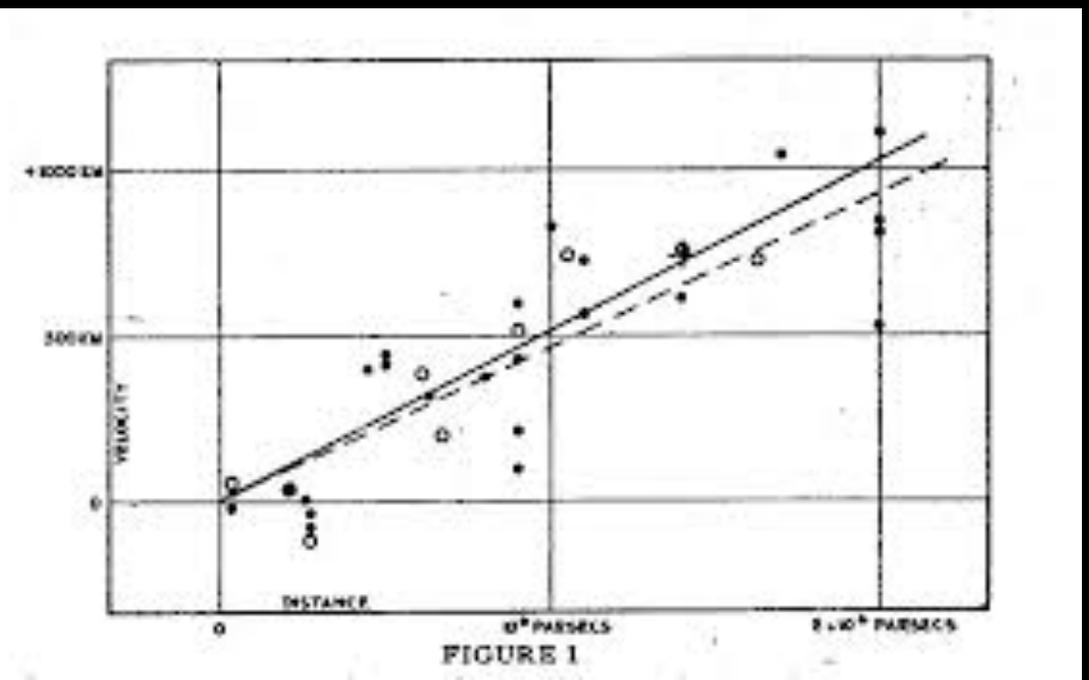
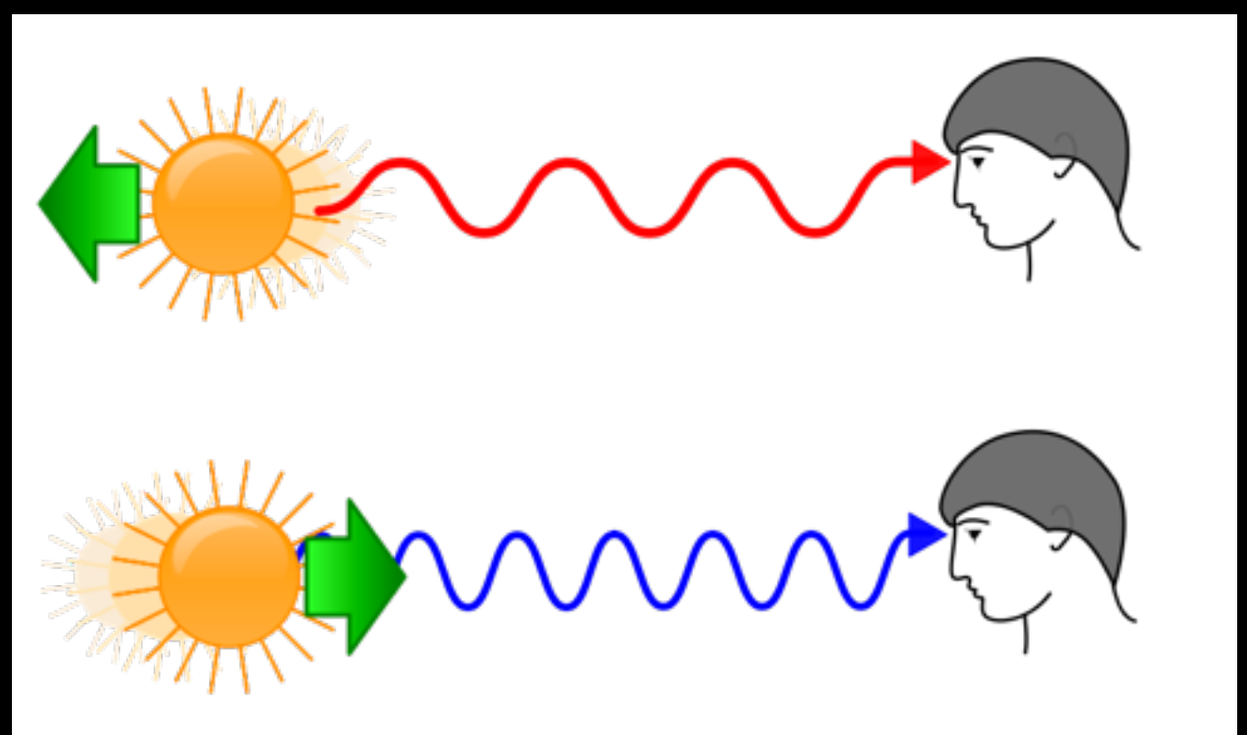
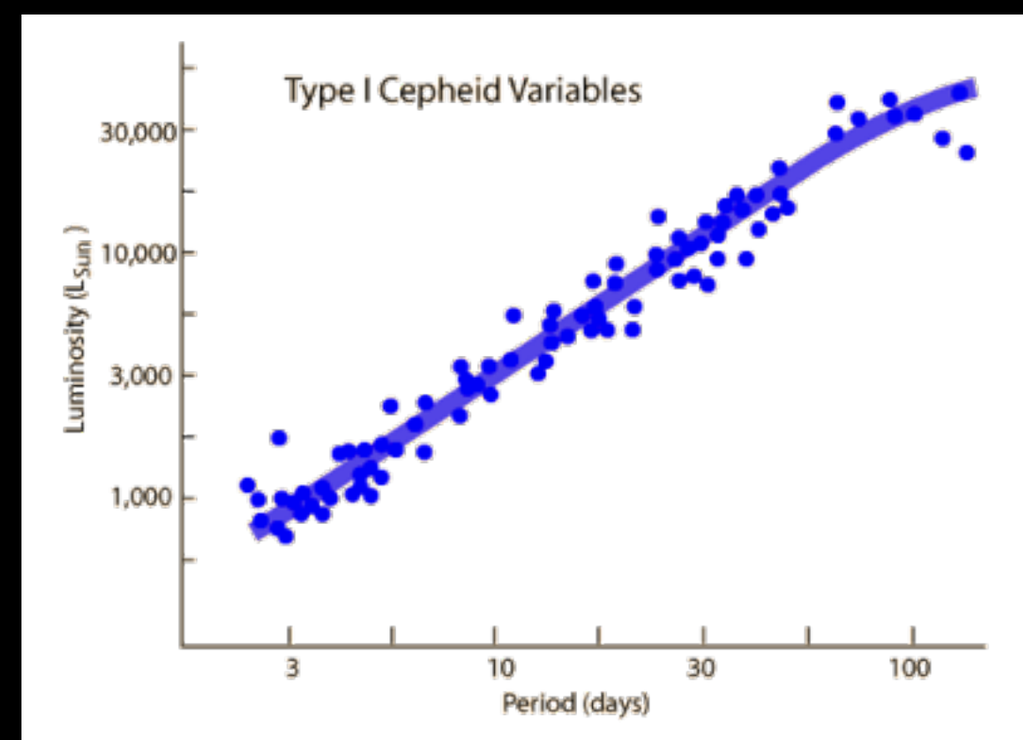


FIGURE 1

Hubble mediu distâncias e velocidades de "nebulosas", usando estrelas cefeidas nessas nebulosas

Artigo original:
http://apod.nasa.gov/diamond_jubilee/d_1996/hub_1929.html





$$\lambda_{obs} = \lambda_{em} \times (1+z)$$

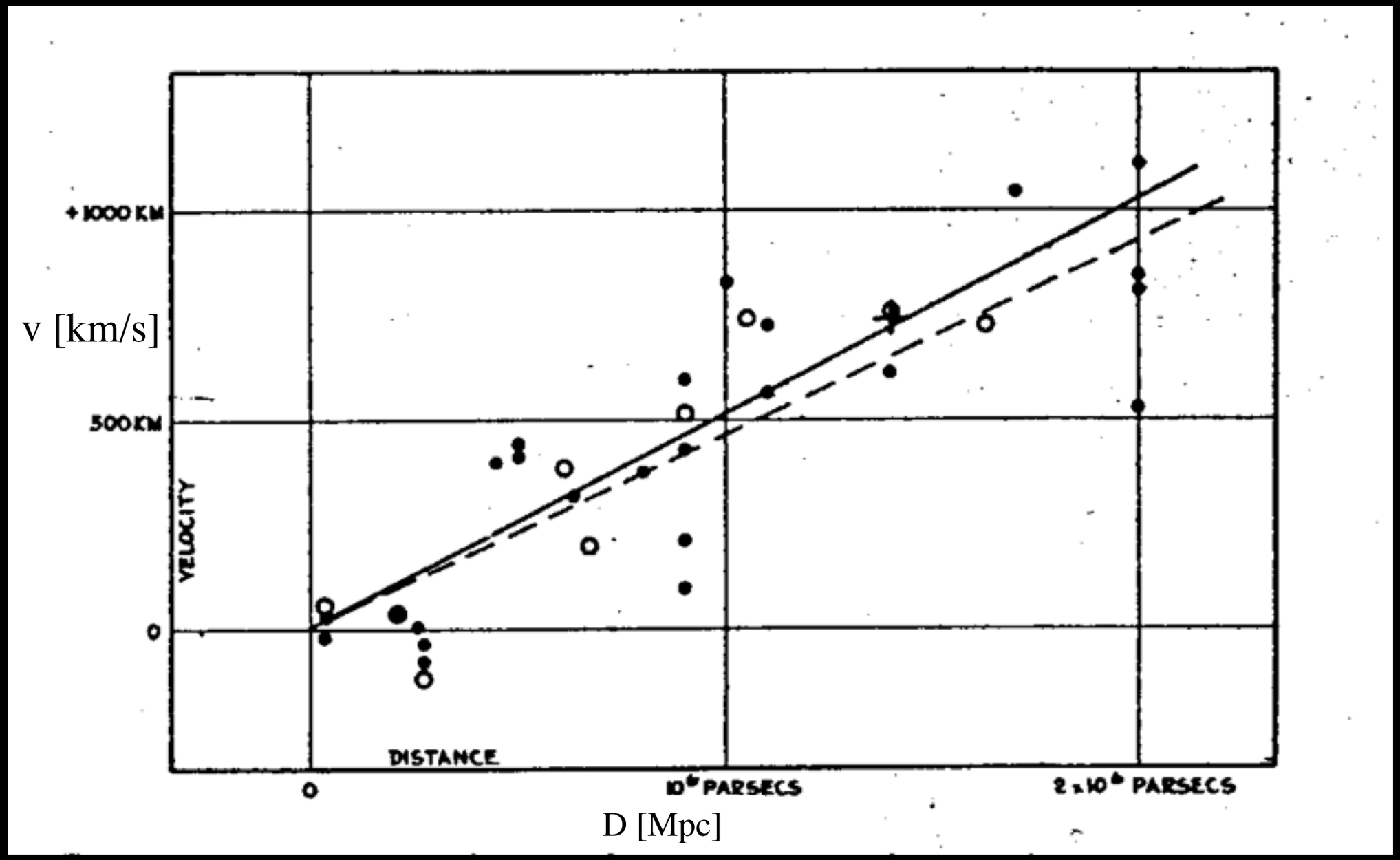
$$z = \frac{\lambda_{obs} - \lambda em}{\lambda_{em}} \simeq \frac{v_{||}}{c} + \mathcal{O}(v/c)^2$$

$$F = \frac{L(p)}{4\pi\, D^2}$$

$$D = \sqrt{4\pi\, \frac{L(p)}{F}}$$

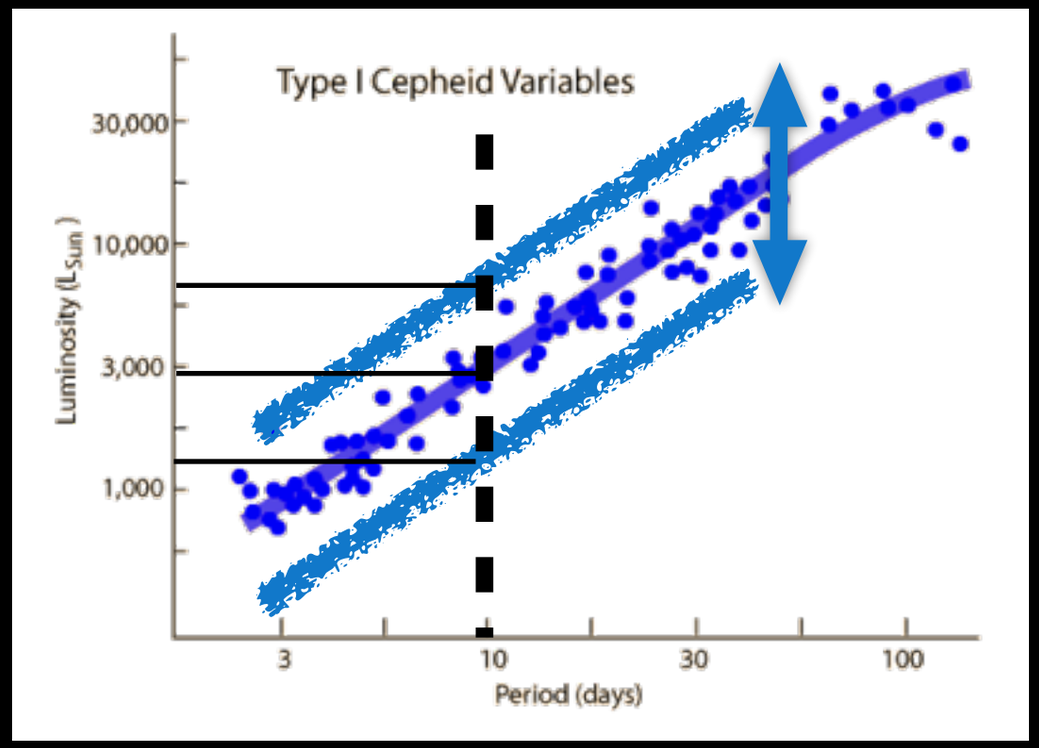
… e o resultado foi:

http://apod.nasa.gov/diamond_jubilee/d_1996/hub_1929.html

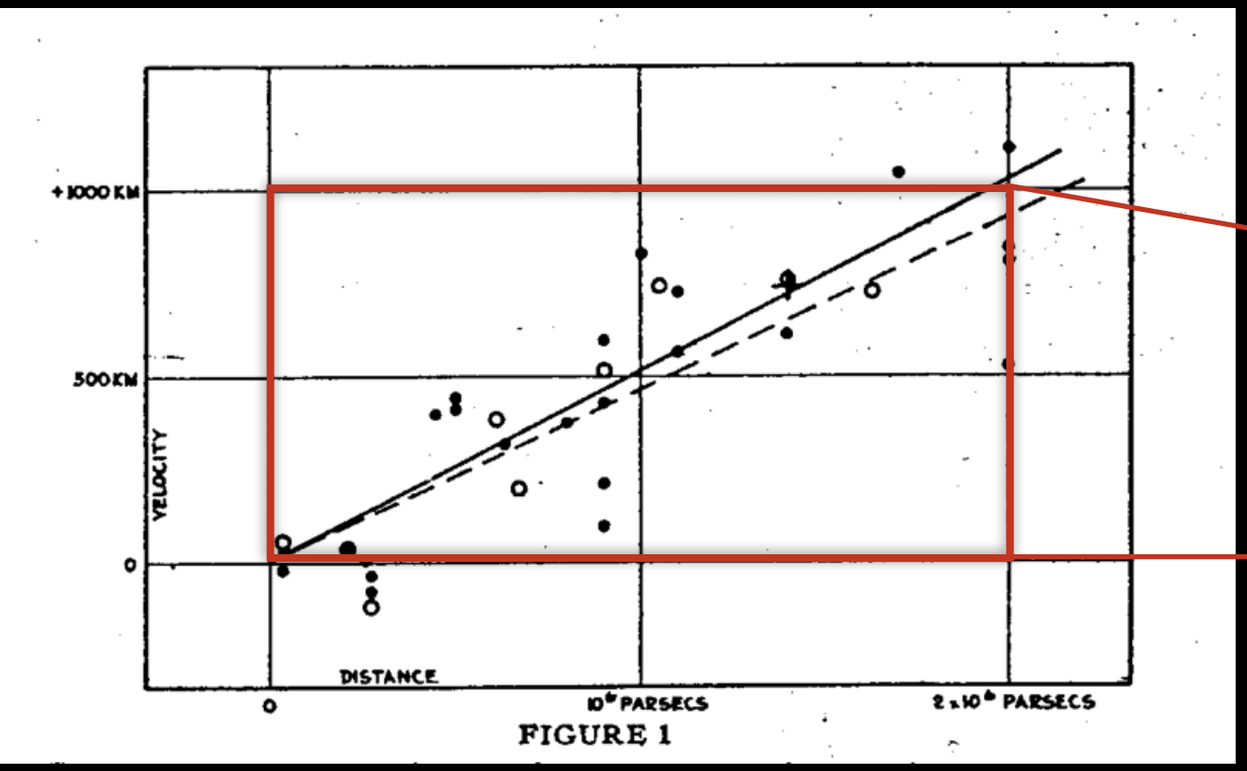


Problemas já apontados na época:

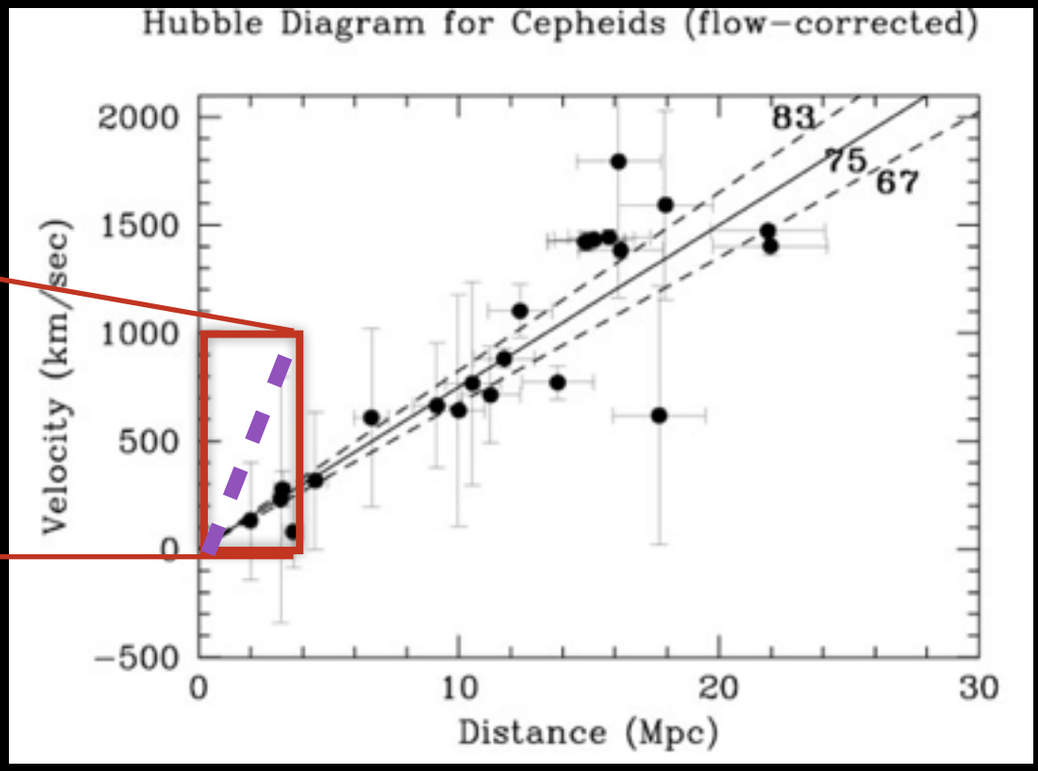
"Distances of extra-galactic nebulae depend ultimately upon the application of absolute-luminosity criteria to involved stars whose types can be recognized. These include, among others, Cepheid variables, novae, and blue stars involved in emission nebulosity. ***Numerical values depend upon the zero point of the period-luminosity relation among Cepheids***, the other criteria merely check the order of the distances."



De fato, a normalização ("zero point") da relação período-luminosidade das cefeidas estava errada!



Hubble



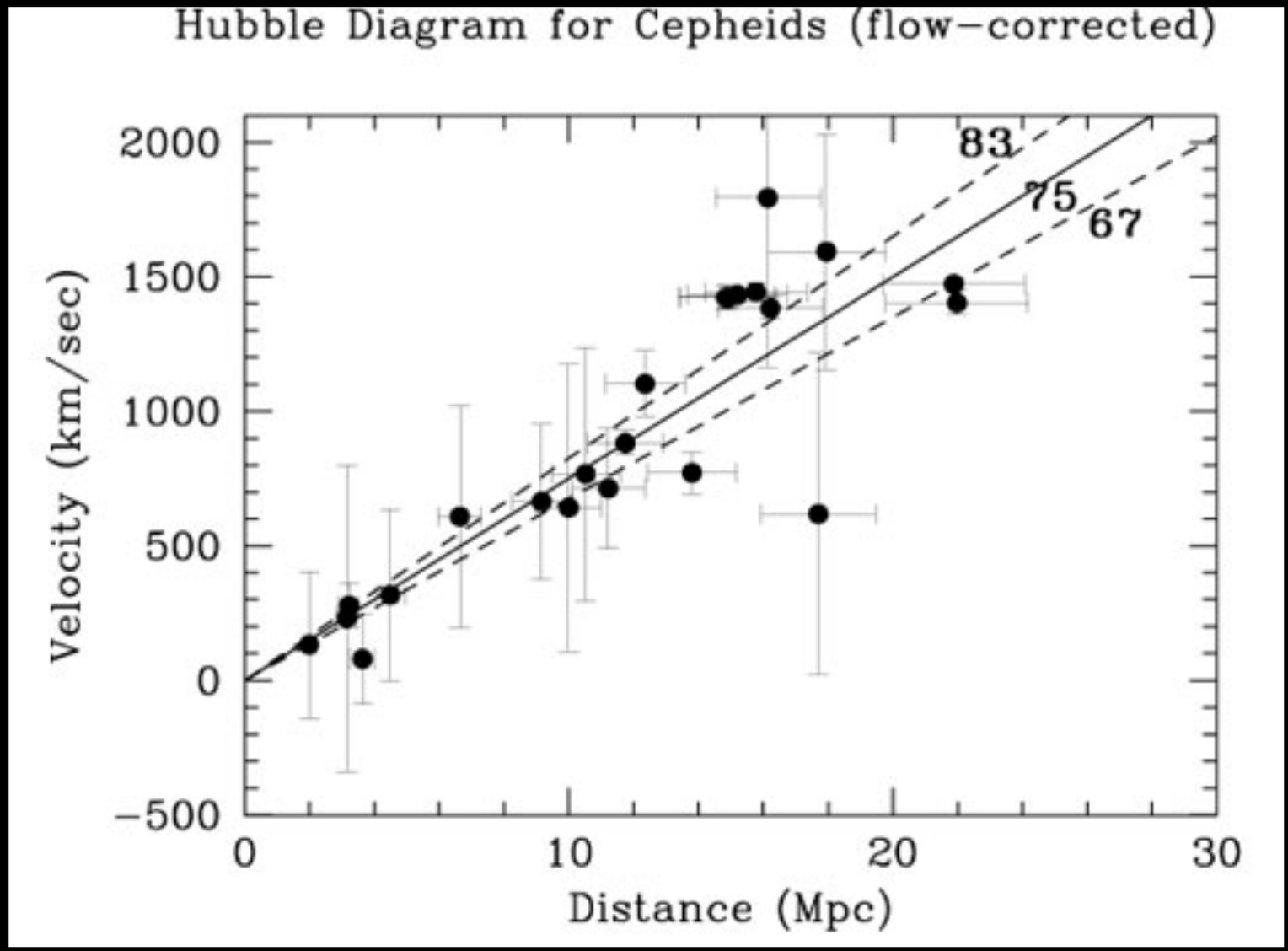
Hubble Space Telescope
"Key Project"
W. Freedman et al. 2001

O fato, entretanto, foi bem estabelecido por Hubble: quanto maior a distância, maior a velocidade de afastamento das "nebulosas extragalácticas"

$$v = H_0 D$$

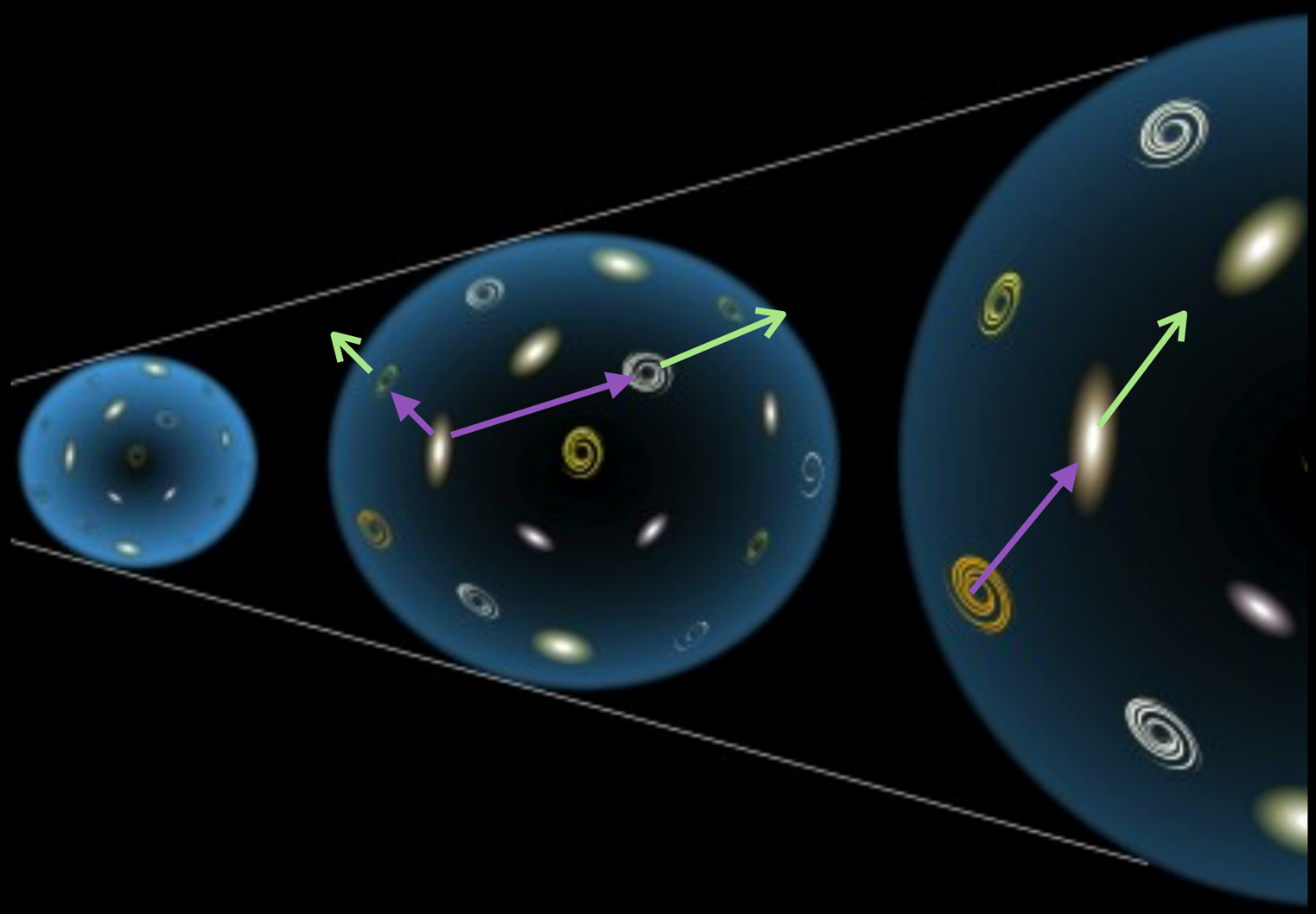
Medidas recentes do HST (várias "velas-padrão"):

$$H_0 = 72 \pm 7 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$$

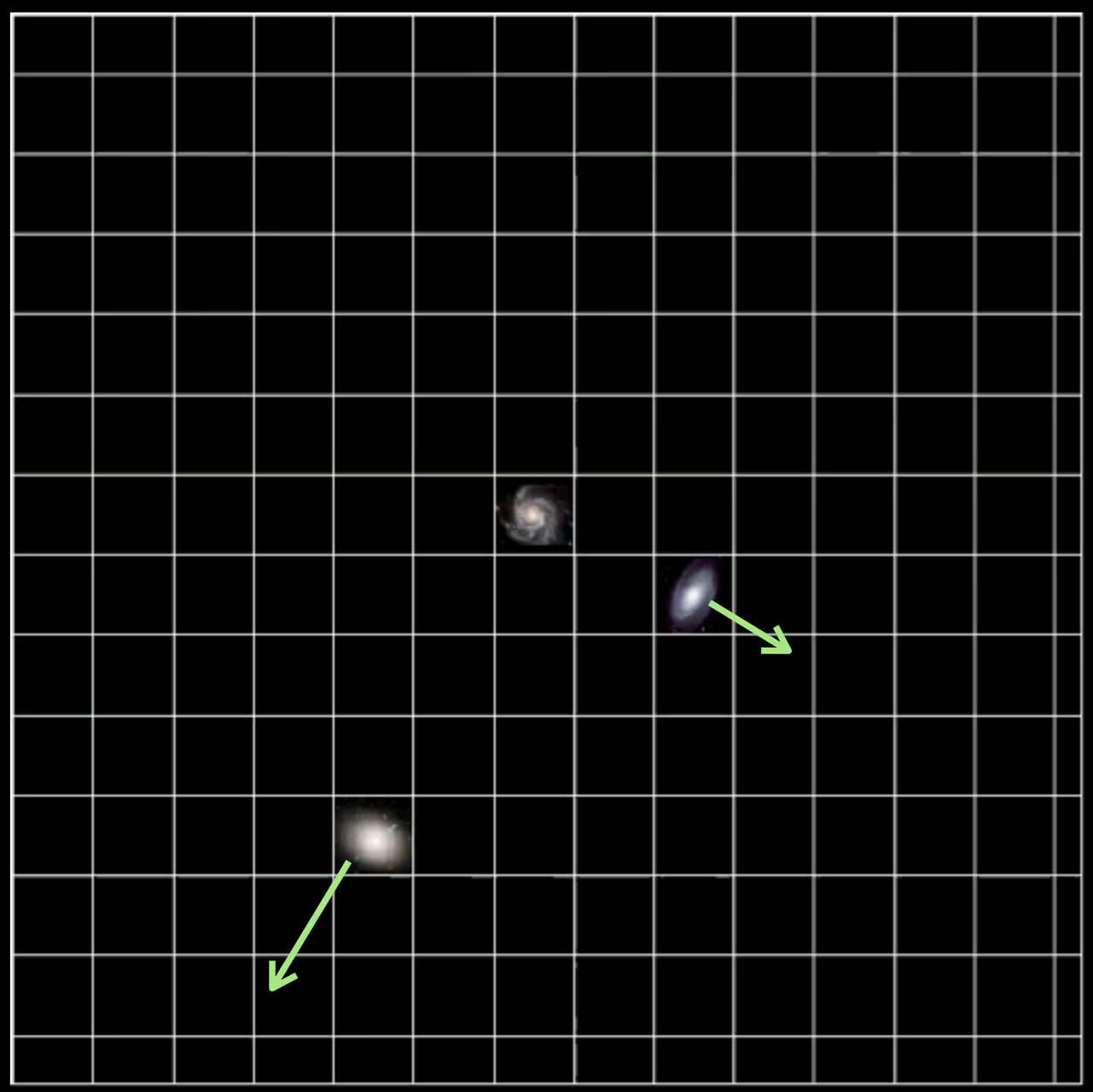


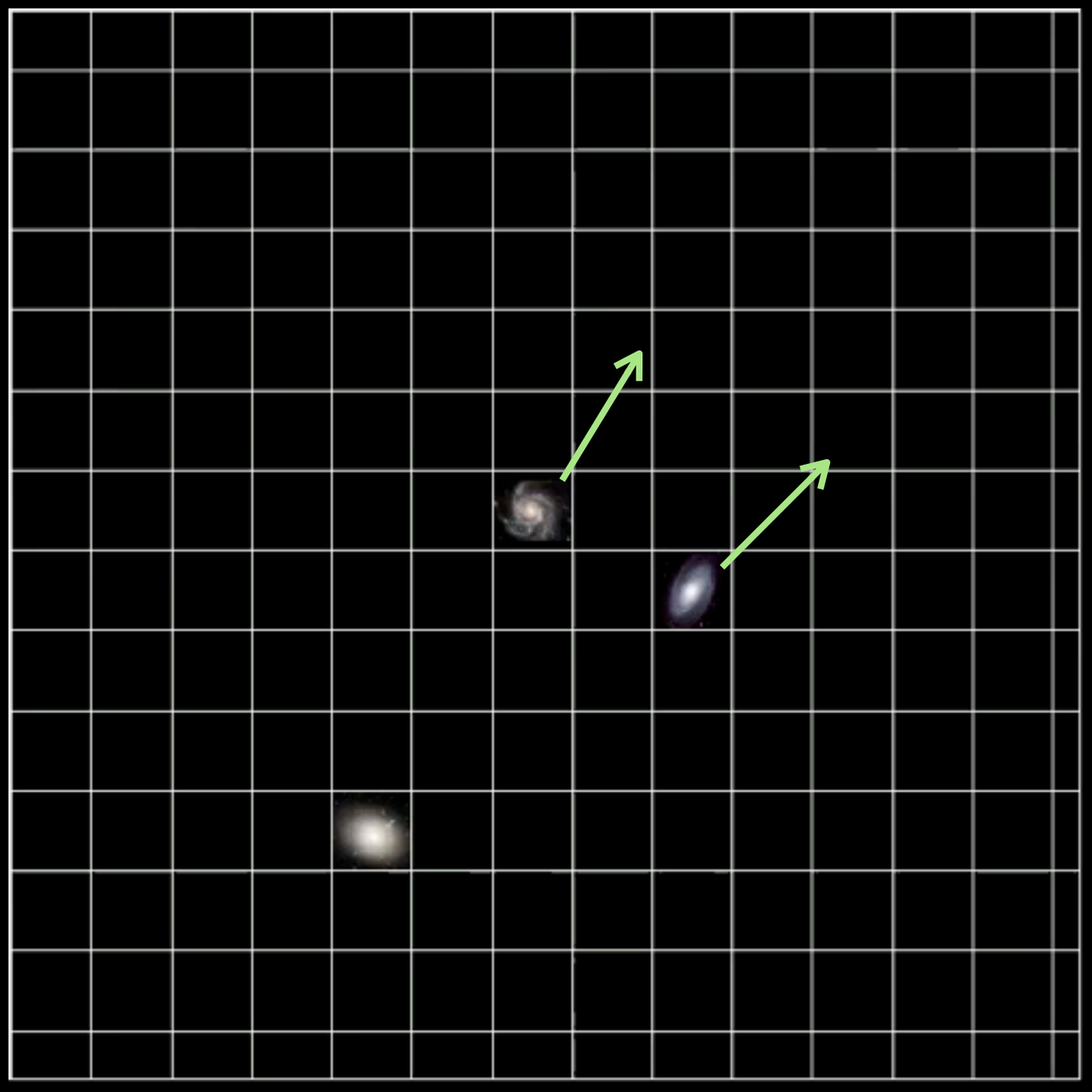
Como podemos interpretar essa observação?
Quais as consequências?
O que isso significa?

Como podemos interpretar essa observação?
Quais as consequências?
O que isso significa?

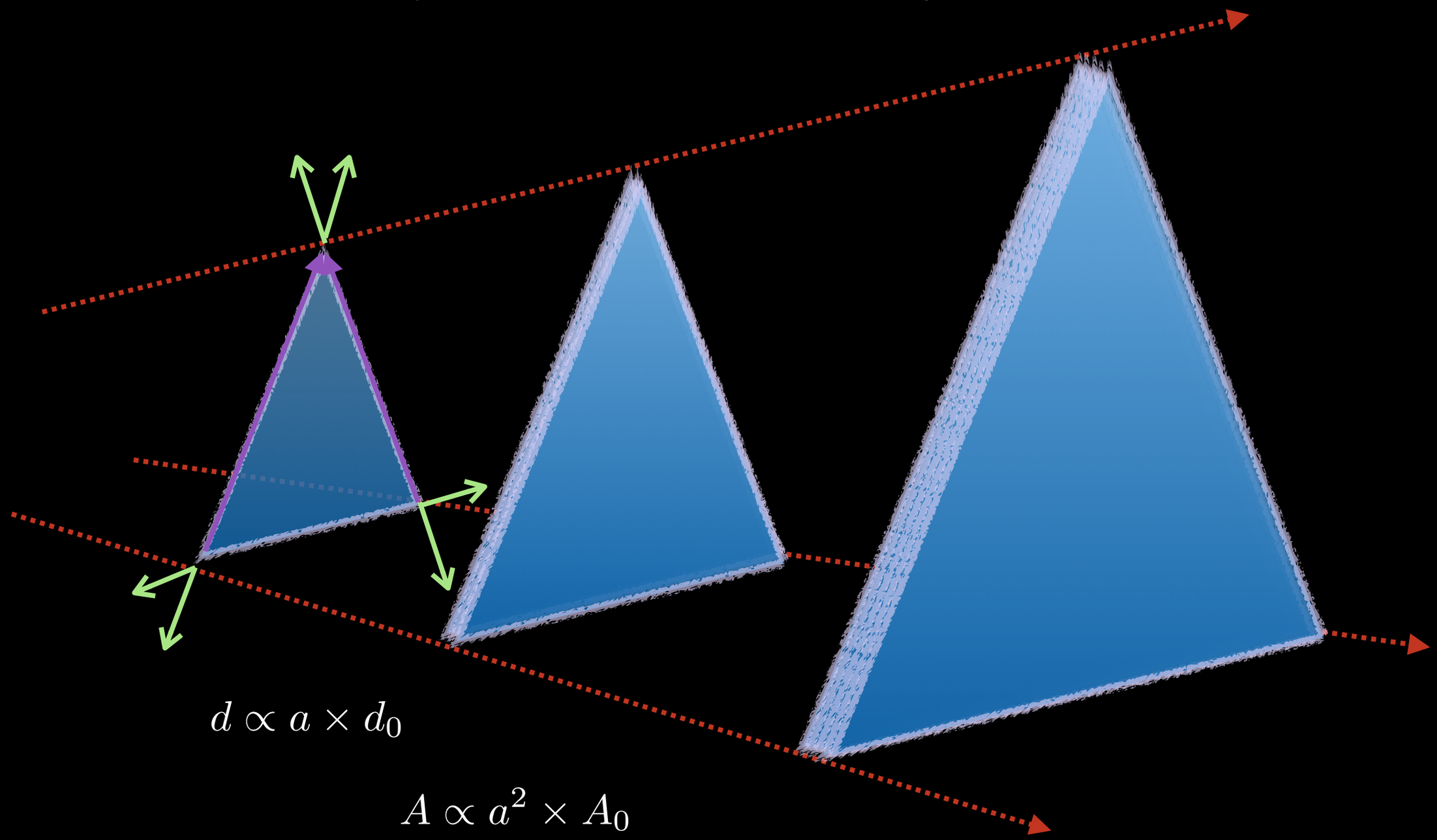


Expansão desde onde?...
Para onde?...





Expansão do universo: fator de escala

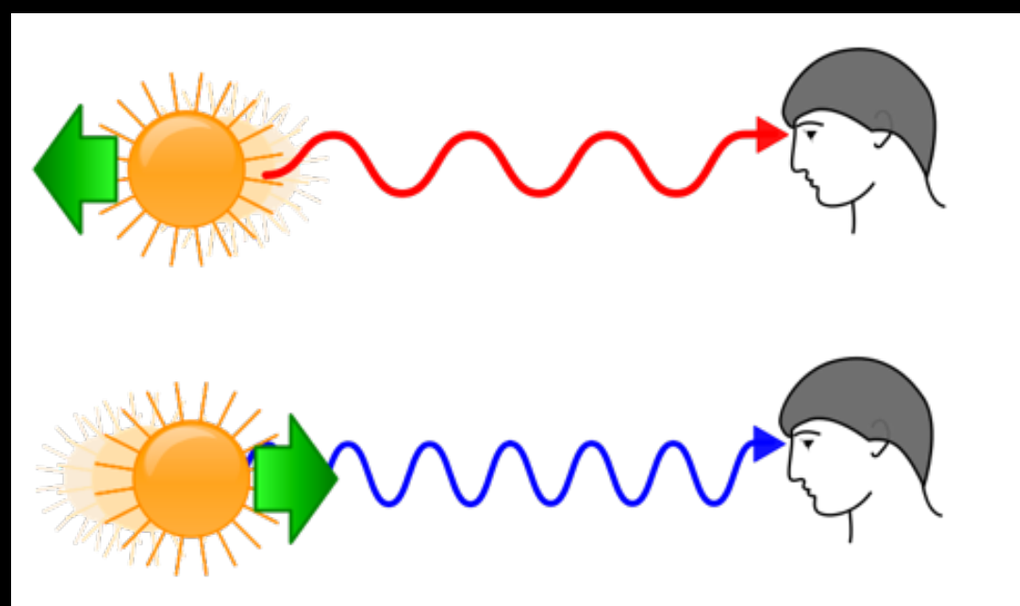


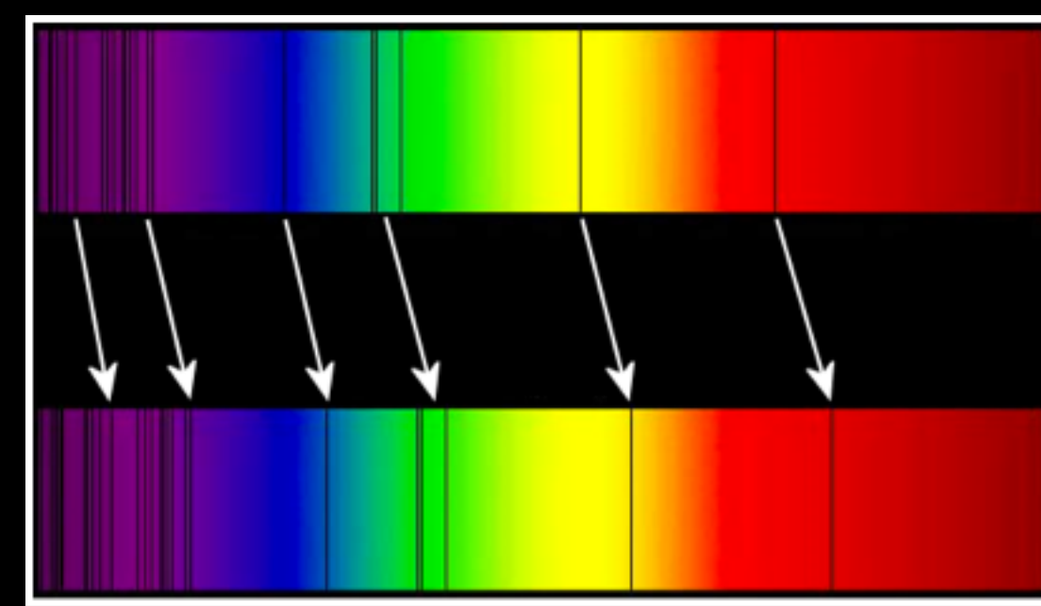
$d \propto a \times d_0$

$A \propto a^2 \times A_0$

$V \propto a^3 \times V_0$

Redshift: mais detalhes e um desafio





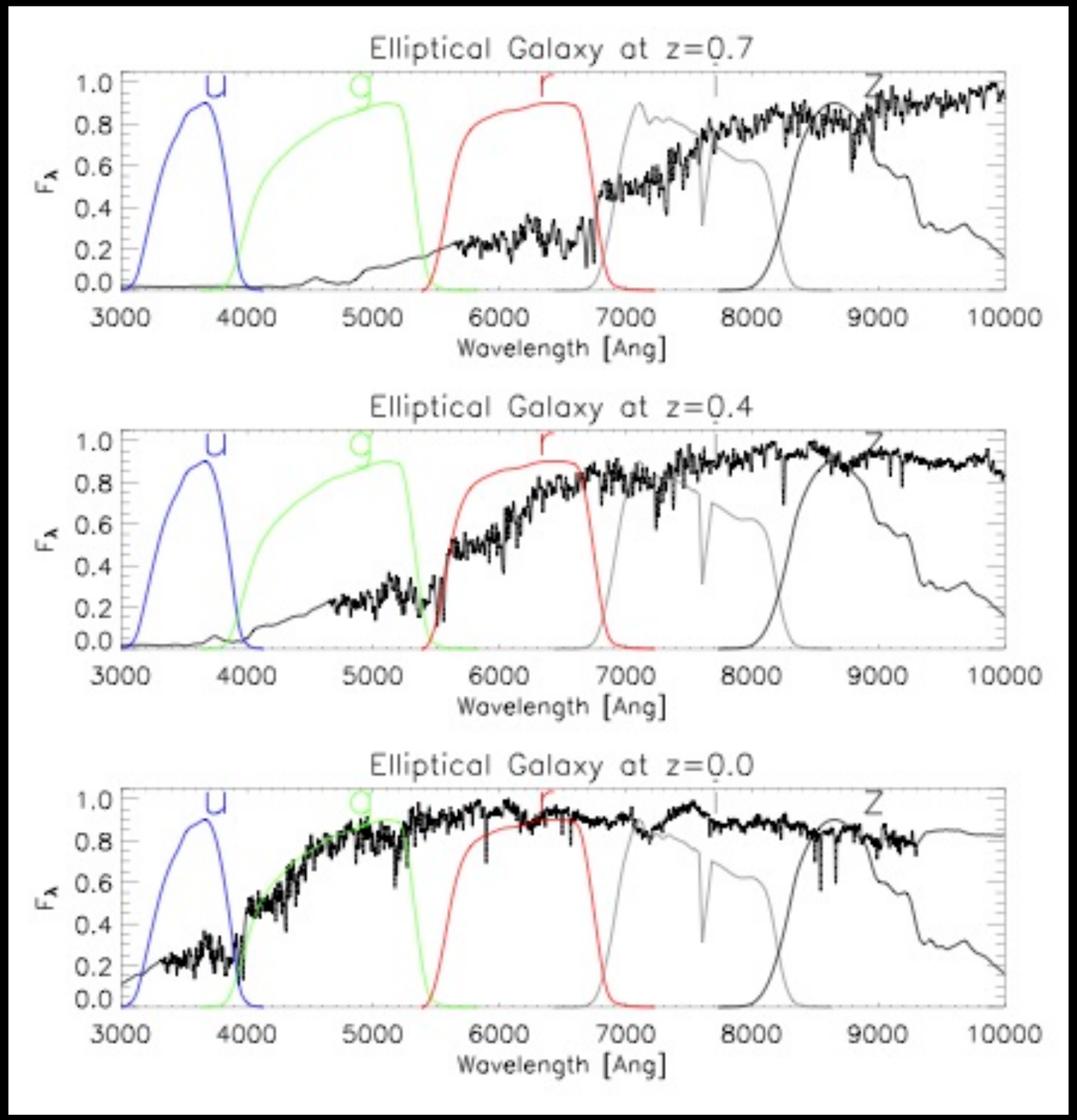
$$1 + z = \gamma(v)\left(1 + \frac{v_{||}}{c}\right)$$

$$\lambda_{obs} = \lambda_{em} \times (1 + z)$$

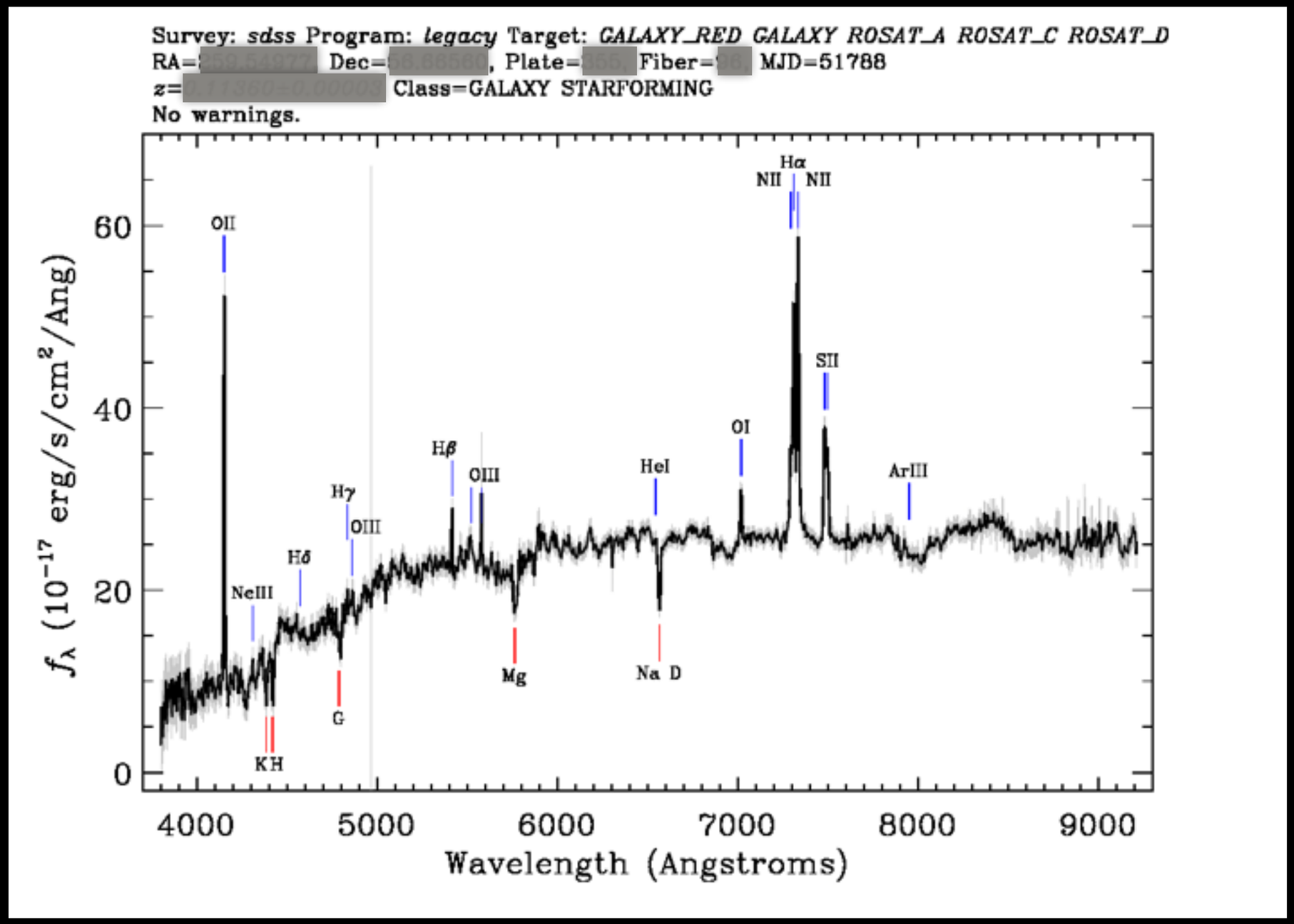
$$z = \frac{\lambda_{obs} - \lambda em}{\lambda_{em}} \simeq \frac{v_{||}}{c} + \mathcal{O}(v/c)^2$$

$$\nu_{obs} = \frac{\nu_{em}}{1 + z}$$

Redshifts de galáxias



Desafio: encontre o z desta galáxia:



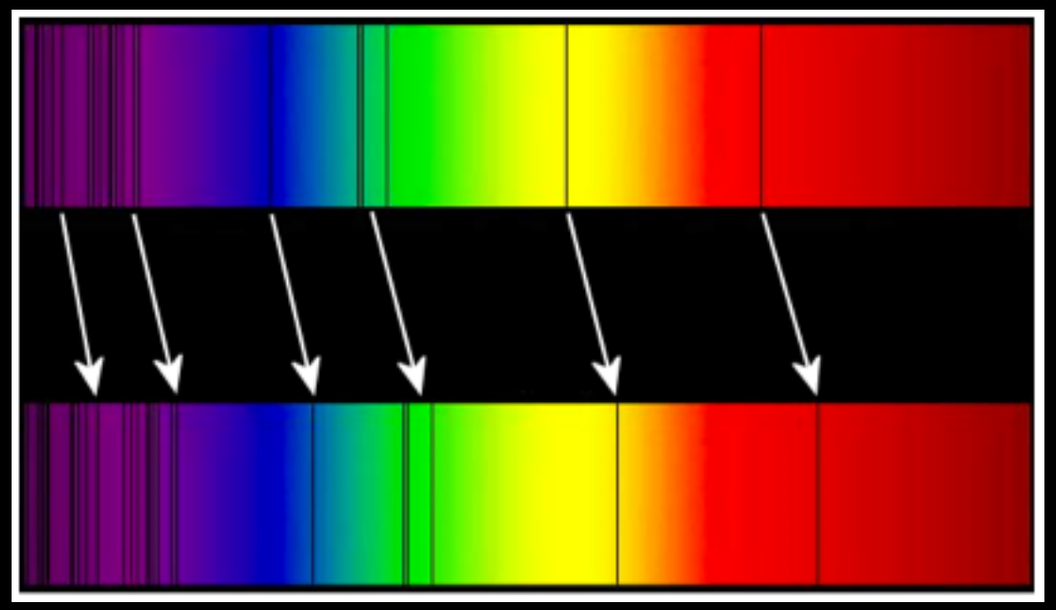
Enviem a resposta para mim por e-mail (abramo@if.usp.br)

* As primeiras 3 respostas levam +0.1 ponto na média final

* As respostas 4-6 levam +0.07 ponto na média final

* As respostas 7-10 levam +0.05 ponto na média final

OBS: Eu aceito respostas com erro menor que 5%

Leitura para a próxima aula:

Ryden, Cap. 2.3-2.5
Ryden, Cap. 3.1-3.2