

Galáxias

Conceito Atual: "punhados" auto-gravitantes de $\sim 10^{8-11}$ estrelas (+ gás +...) espalhados pelo universo, de ~ 1 a 1000 Mpc daqui!

Mas galáxia e universo são conceitos historicamente recentes: ~ 1920 !

Uma "revolução Copernicana" pouco conhecida...

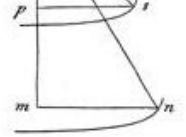
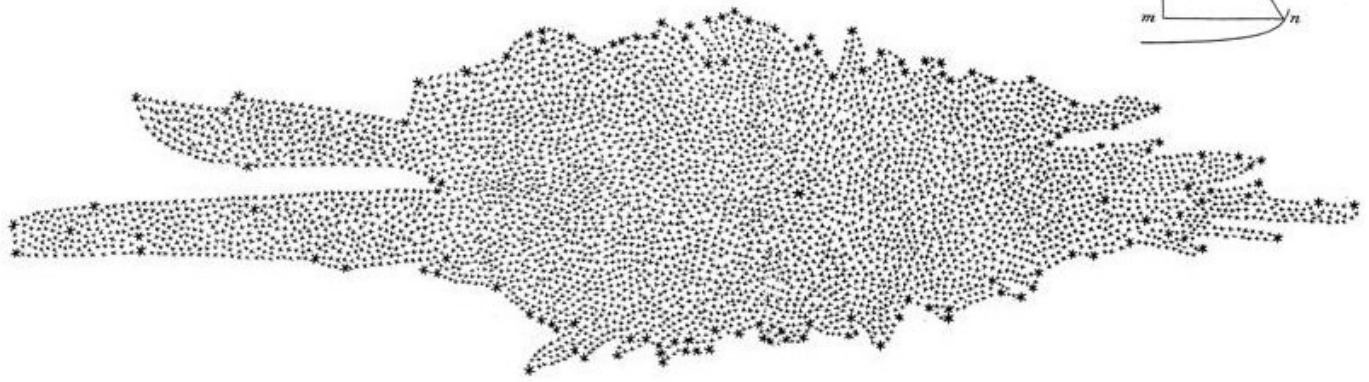
O "Grande Debate"

★ 2 questões centrais da astronomia no começo do século XX:

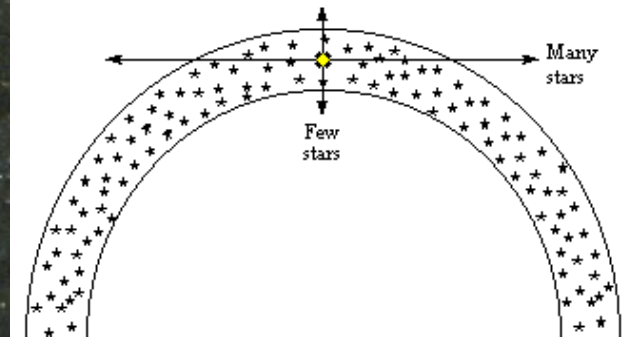
➡ (A) Qual nossa posição no cosmos? Como estão distribuídas as estrelas no céu?

➡ (B) O que são as "nebulosas espirais"? São elas objetos próximos, dentro da nossa "Galáxia"? Ou será que elas são "*universos ilha*", muito longe daqui?

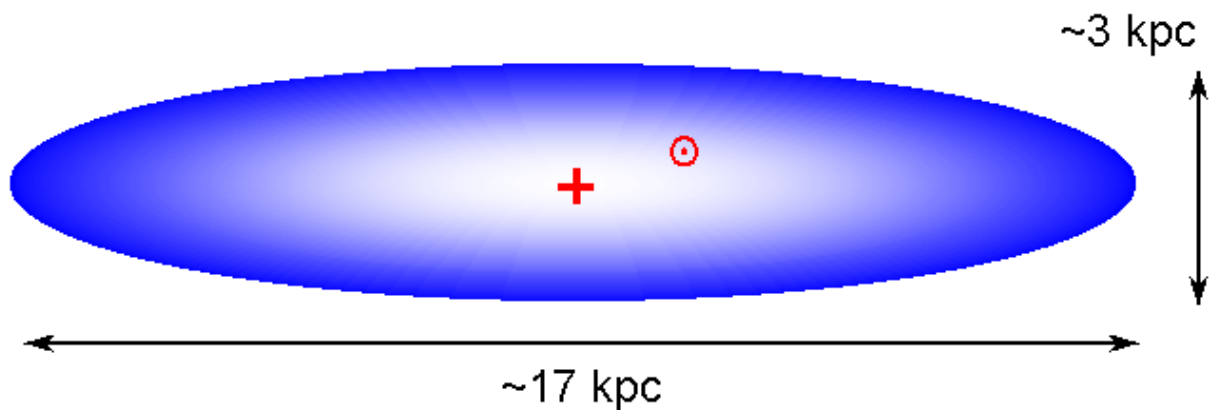
Fig 4.



Wright's Milky Way (1750)

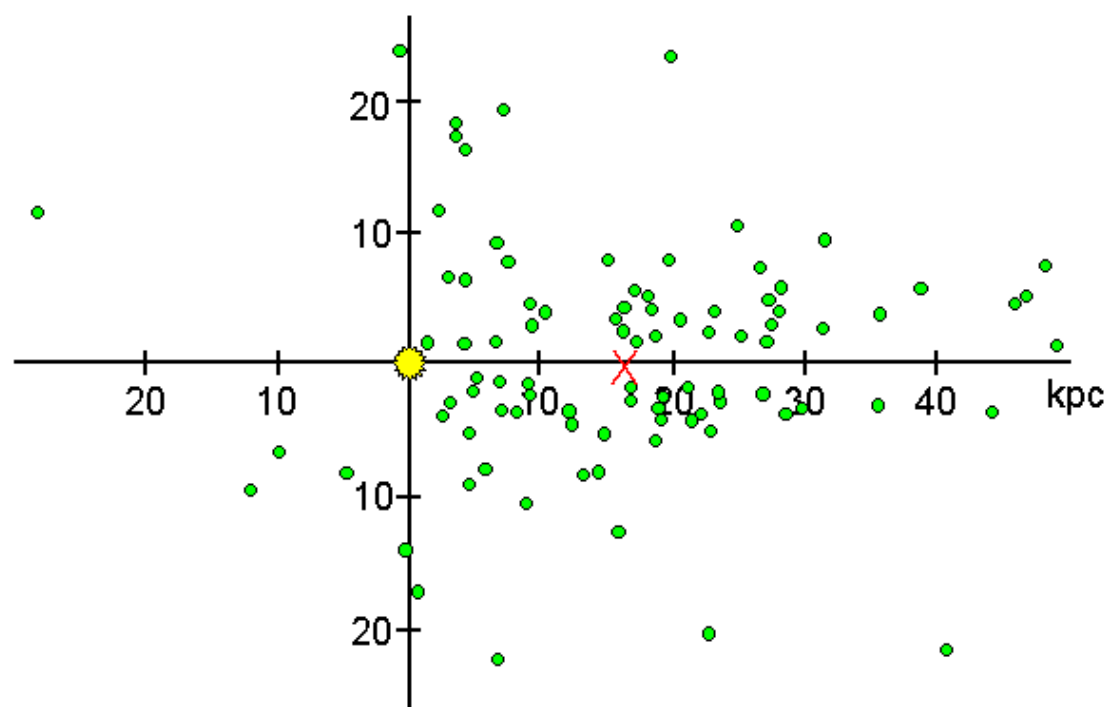


Kapteyn Model (1922)



kpc = kiloparsec = 1000 pc

Shapley's Globular Cluster Distribution





Nossa posição no cosmos: Kapteyn & Cia

Kapteyn mapeou o brilho das estrelas no céu e reconstruiu sua distribuição 3D com a hipótese de que **quanto + fraco + longe**, usando a técnica de contagem de estrelas:

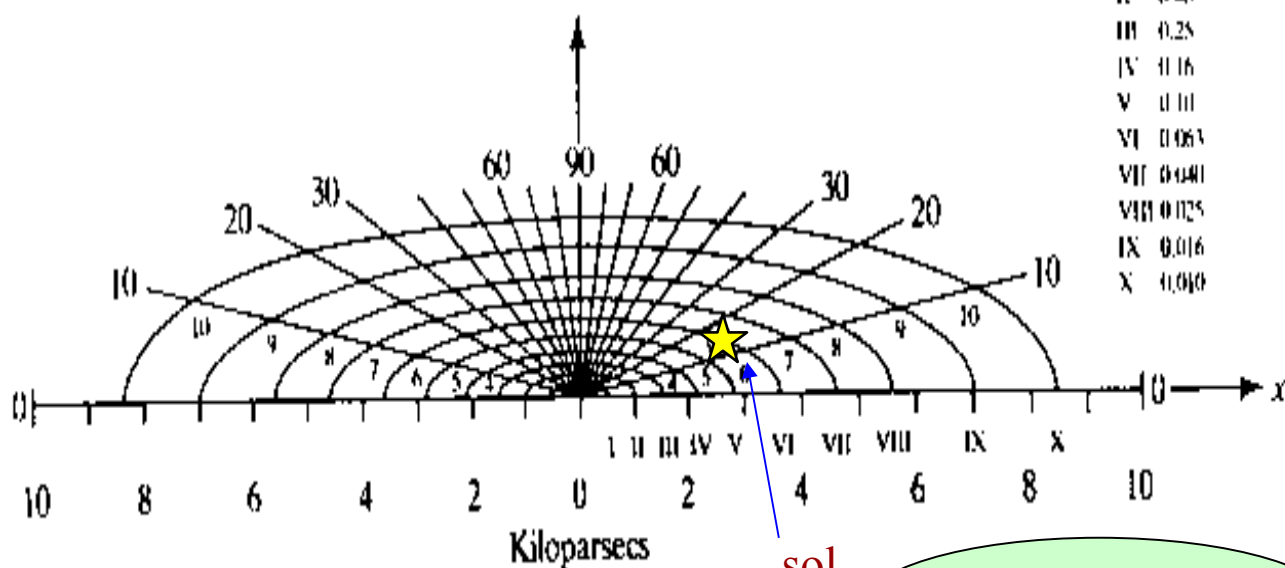
$$N(l,b) \longrightarrow N(l,b,r)$$



Kapteyn (1851-1922)

Resultado surpreendente: Um universo achatado e (quase) **HELIOCÊNTRICO!!**

Mapa 3D de estrelas



O sol **PARECE** estar ~ no centro das estrelas que vemos!

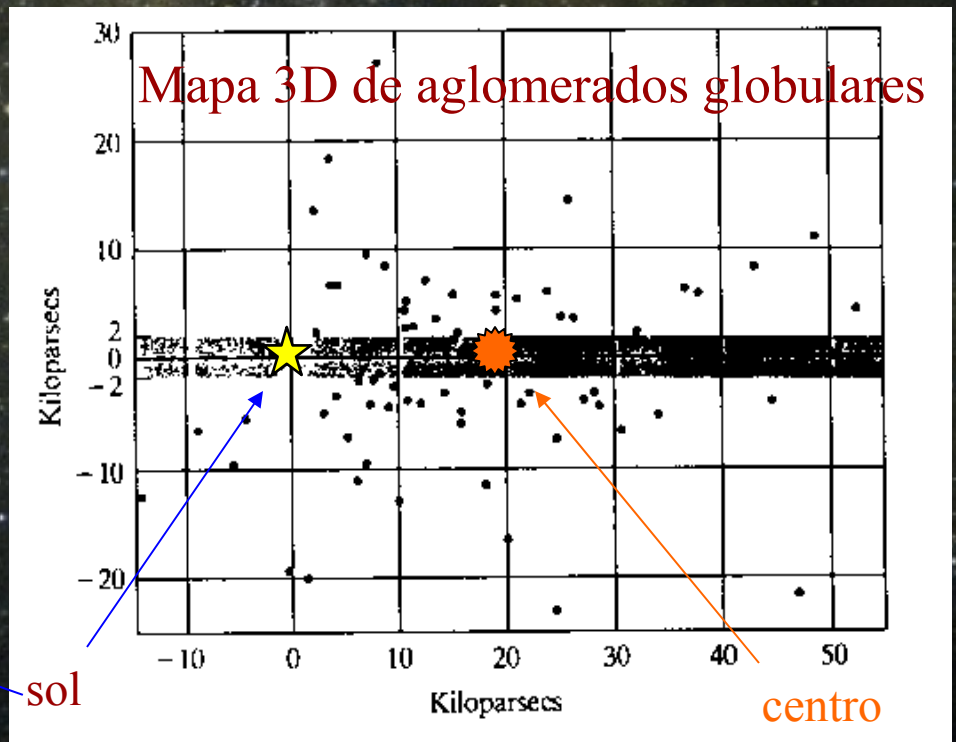
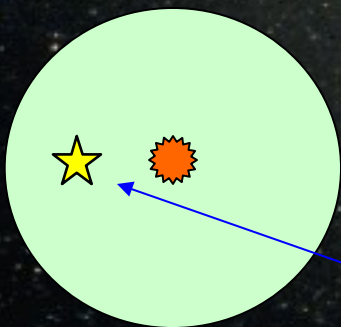
Nossa posição no cosmos: Shapley

Shapley mapeou a distribuição 3D de **aglomerados globulares** no céu. Ele conhecia a distância a esses objetos (usando a relação P-L de Cefeidas...)



Shapley (1885-1972)

Resultado: Uma distribuição isotrópica, centrada a ~ 10 kpc do sol!

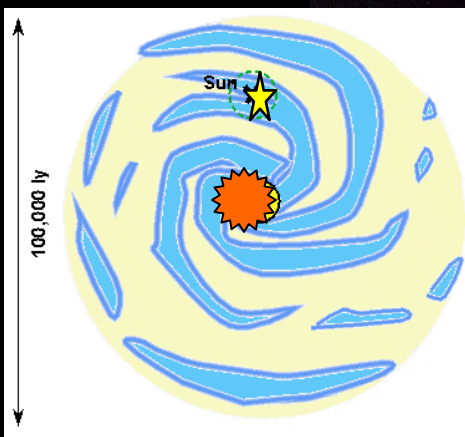
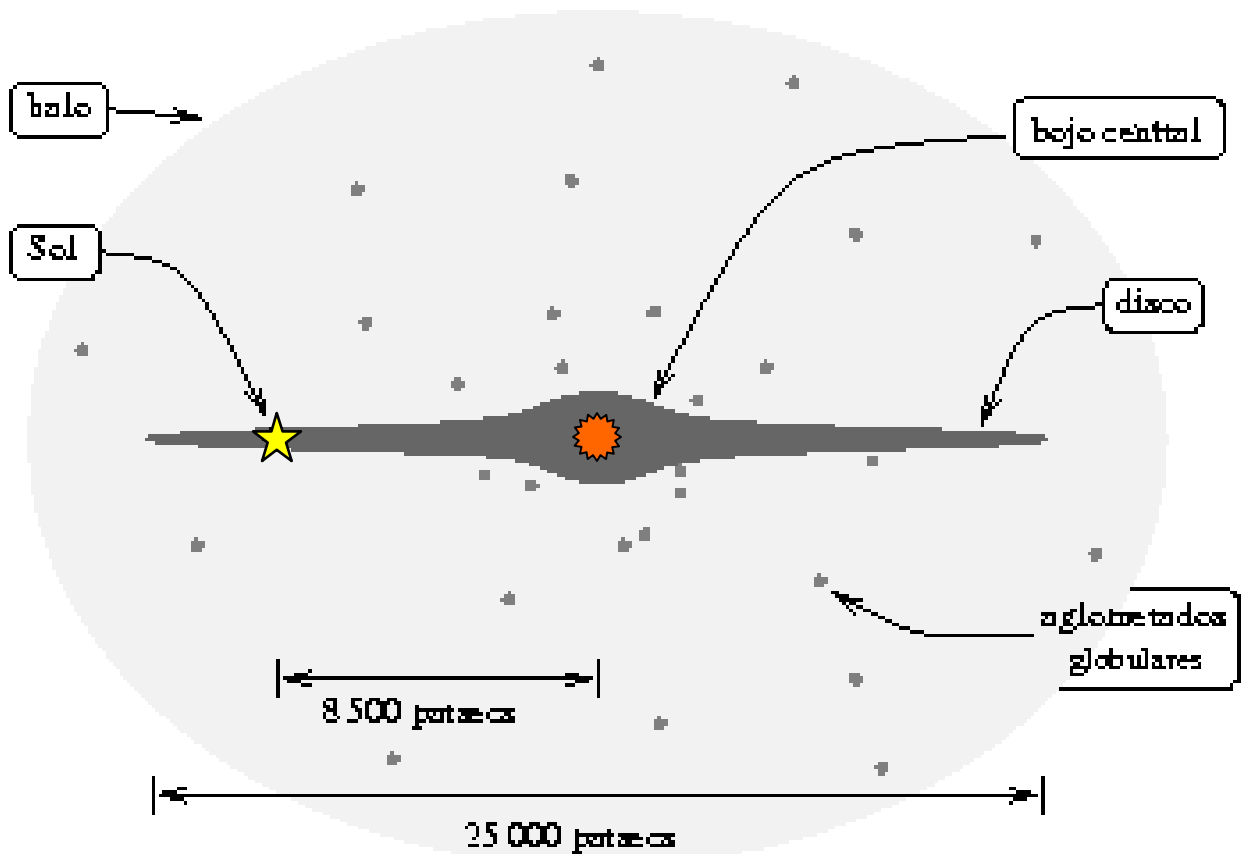


O sol não está nem perto do centro!

Nem a Terra (Aristóteles, Ptolomeu, ...) nem o Sol (Copérnico, Kepler, ...) são o centro do universo!

Nossa posição no cosmos: A Via Láctea

Vista lateral da Via Láctea



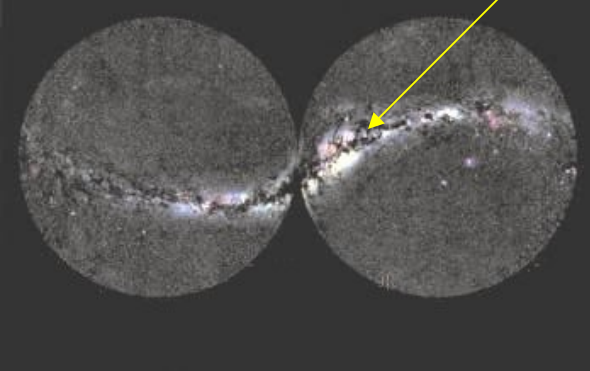
Shapley estava certo!



(Satélite COBE)

Nossa posição no cosmos: Onde Kapteyn & Curtis "erraram"?

Via Láctea (em luz visível)



POEIRA inter-estelar no plano do disco da Galáxia enganou Kapteyn & Cia. A poeira apaga a luz das estrelas + distantes, dando a falsa impressão de que estamos numa posição central! ("efeito neblina")

Já Shapley, que por sorte olhou para fora do disco, se deu bem!

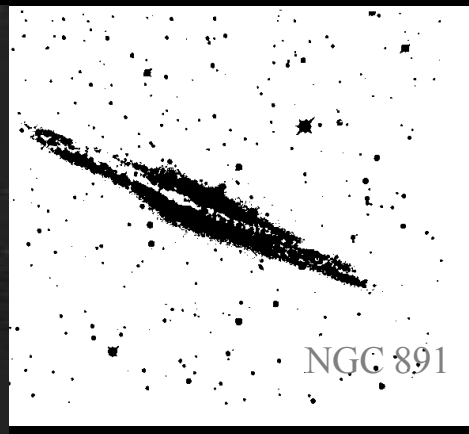
Poeira em Orion
(Cabeça de cavalo)



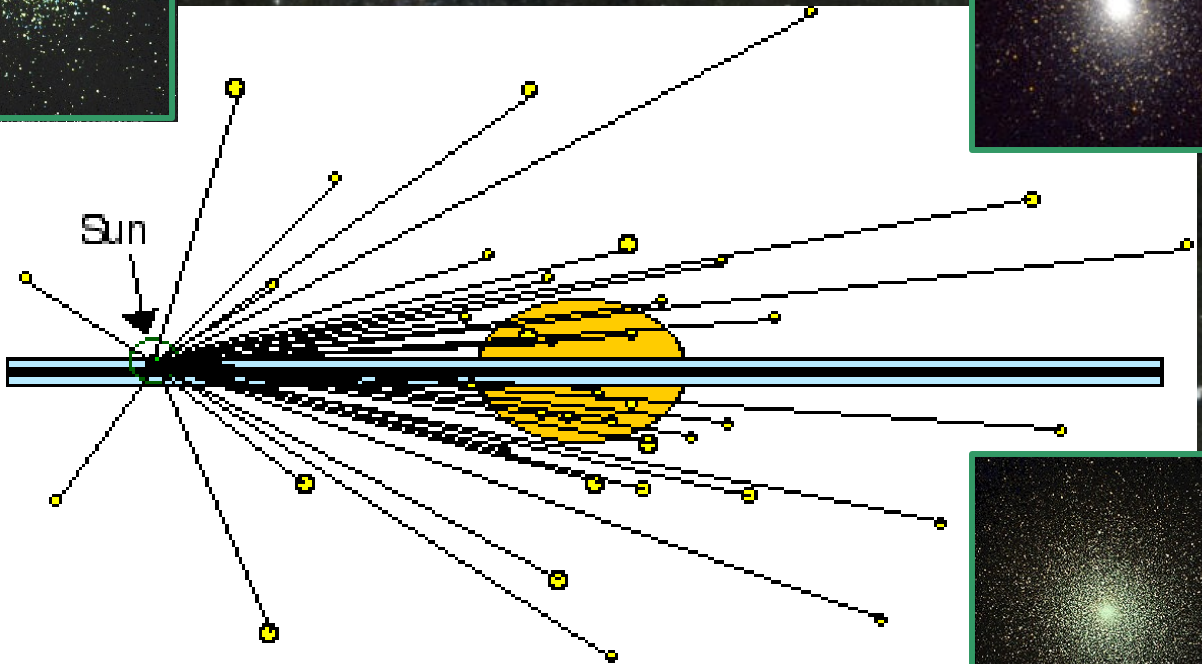
M104 (Sombrero)



NGC 891



Nossa posição no cosmos: Por que Shapley acertou?



- (1) Aglomerados globulares estão ~ esfericamente distribuídos ao redor do centro da Via Láctea.
- (2) Shapley olhou para fora do disco, e com isso escapou dos efeitos de poeira.
- (3) Ele tinha medidas diretas das distâncias (que estavam erradas, mas não tanto).

O Grande Debate: A escala do universo

Resultado do 1º tempo:

(O tamanho da Via Láctea e nossa posição nela)

Shapley 1 X 0 Curtis

Dificuldades/Controvérsias nesse 1º tempo

- 1- Distâncias: Cefeidas ainda não convenciam todo mundo... (Shapley na verdade confundiu Cefeidas com RR Lyrae, mas se safou!!)
- 2- Ambos estavam errados em dizer que absorção era pouco importante. Extinção (por poeira) era na verdade a causa dos resultados conflitantes de Kapteyn/Curtis e Shapley, mas isso só ficaria claro na década de 40 (Trumpler, ...).

Já no 2º tempo...

(a natureza das nebulosas espirais)

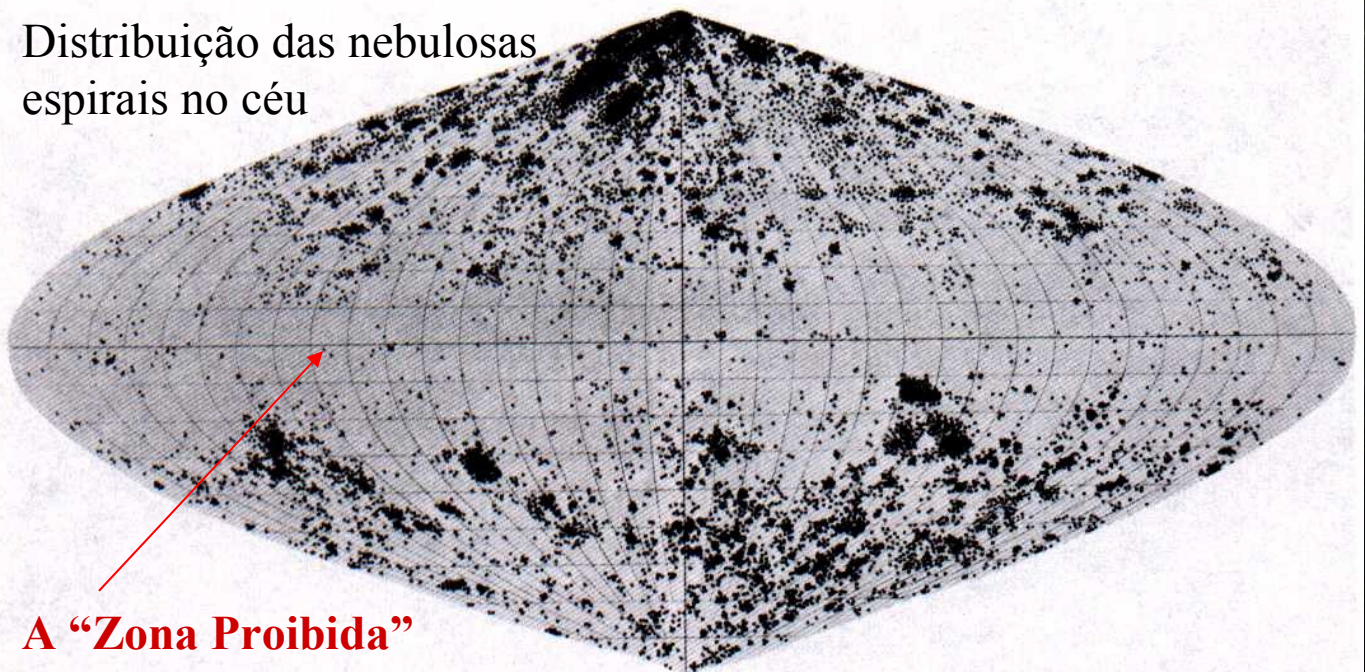
Nebulosas espirais: universos ilha?



- Para Shapley, elas seriam nuvens de gás dentro/ao redor da Via Láctea.
- Curtis, porém, acreditava que elas estão muito longe, e seriam outras Vias Lácteas...

Shapley estava errado!

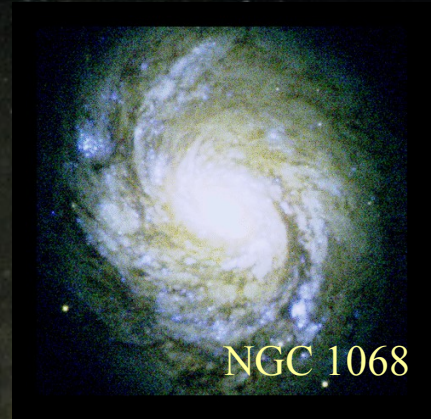
Distribuição das nebulosas
espirais no céu



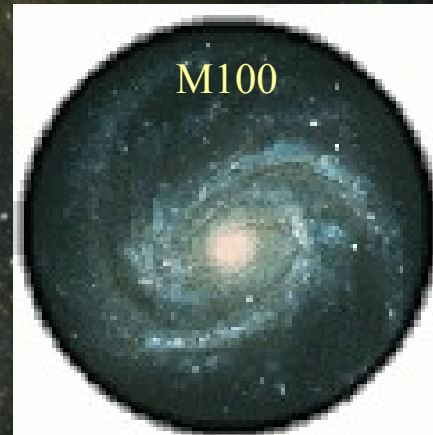
Nebulosas espirais: universos ilha?

Os argumentos de Shapley

(1) A Via Láctea é tão grande (diâmetro ~ 100 kpc) que deve conter todo universo.



(2) Van Maanen, um respeitado astrônomo da época, mediu ROTAÇÃO dos braços espirais em M100 (um erro até hoje não explicado!). Se as neb. espirais fossem mesmo Vias Lácteas distantes (> 100 kpc) então sua velocidade de rotação seria uma fração grande da velocidade da luz!



(3) As nebulosas espirais seriam nuvens de gás repelidas (por algum tipo misterioso de força...) por nossa Galáxia. Isto explicaria as altas velocidades de afastamento (Slipher) e a "zona proibida".



(...)

Nebulosas espirais: universos ilha?

Os argumentos de Curtis

(1) **Novas** observadas em algumas nebulosas espirais eram bastante parecidas com as da Via Láctea.

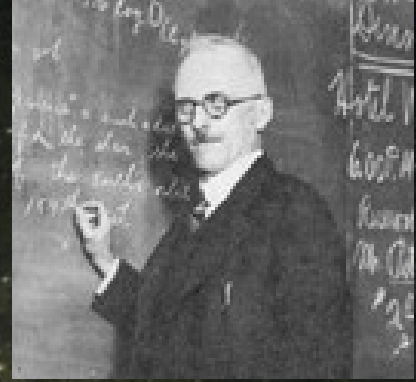
(2) As velocidades radiais medidas por Slipher não eram consistentes com o movimento de outros astros em nossa Galáxia, portanto elas não pertenceriam à Via Láctea.

(3) O tamanho das espirais seria similar ao do "**universo de Kapteyn**" (a Via Láctea) se elas estivessem a grandes distâncias ($\sim$ Mpc's).

(4) Bandas de absorção similares à da Via Láctea eram visíveis em várias espirais.

(5) Curtis **não** acreditava na rotação de M100 medida por Van Maanen.

(...)



Curtis



NGC 2442



NGC 5850

Hubble e a resolução do debate: Nebulosas espirais = universos ilha = galáxias!



Edwin Hubble (1889-1953)



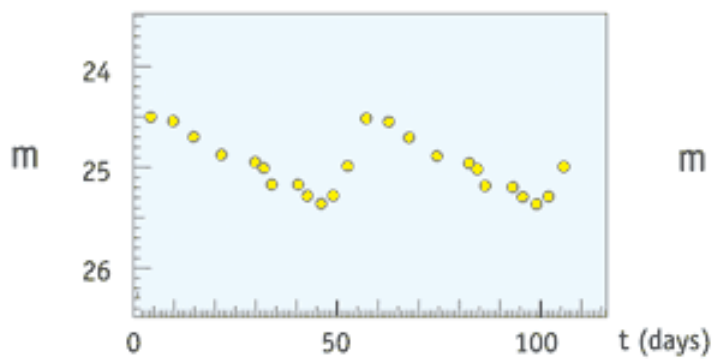
M31 = Andrômeda

Hubble observou **Cefeidas** em M31 e outras espirais, e confirmou que ela estão longe, fora da Via Láctea!

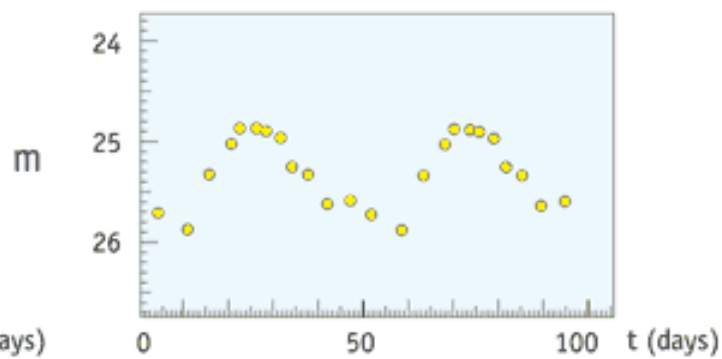
Ironia: Curtis não acreditava nas distâncias obtidas pela relação P-L de Cepheidas. Mas foi isso que confirmou que espirais são mesmo outras galáxias!



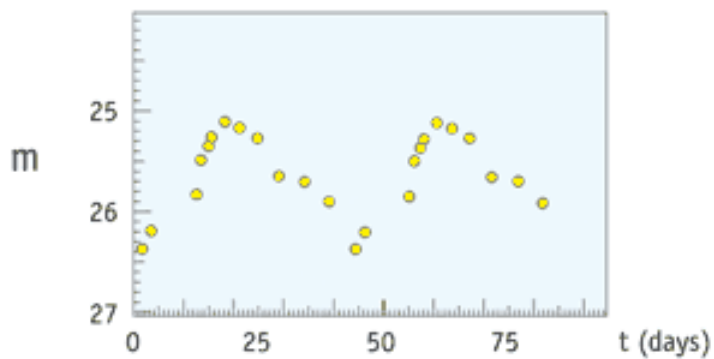
Cepheid 1



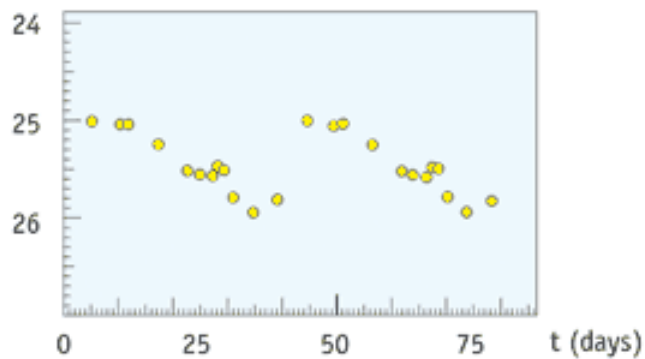
Cepheid 2



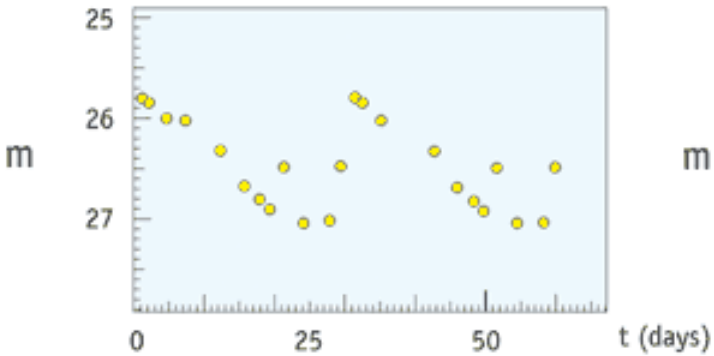
Cepheid 3



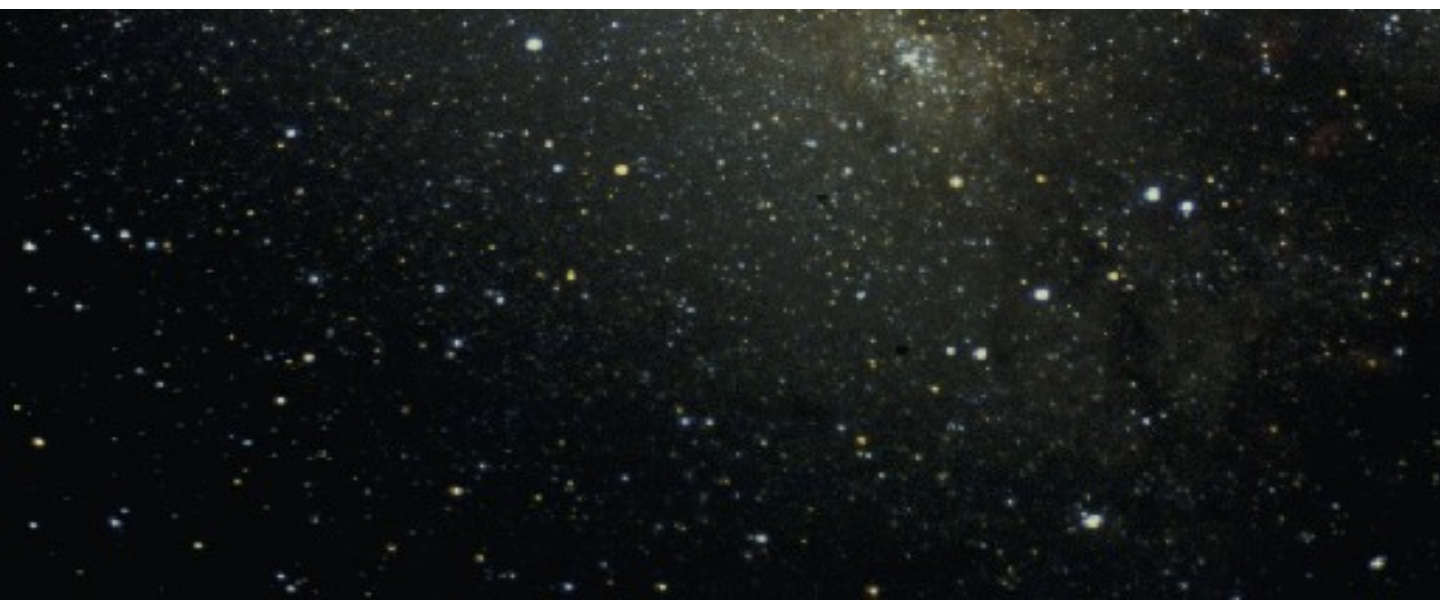
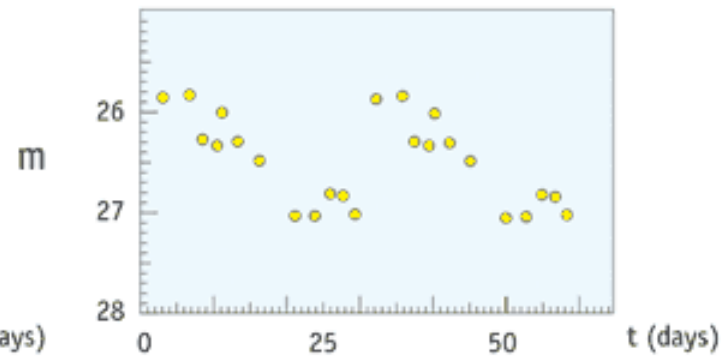
Cepheid 4



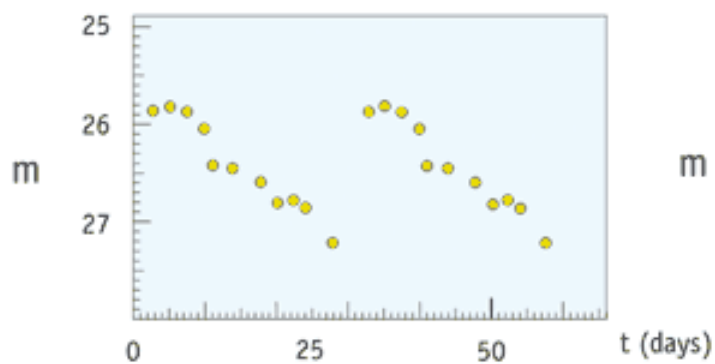
Cepheid 5



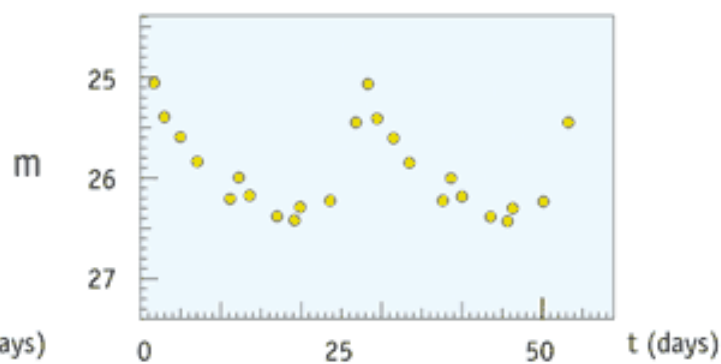
Cepheid 6



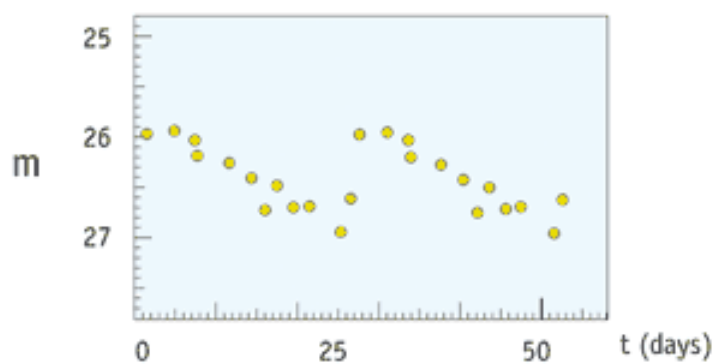
Cepheid 7



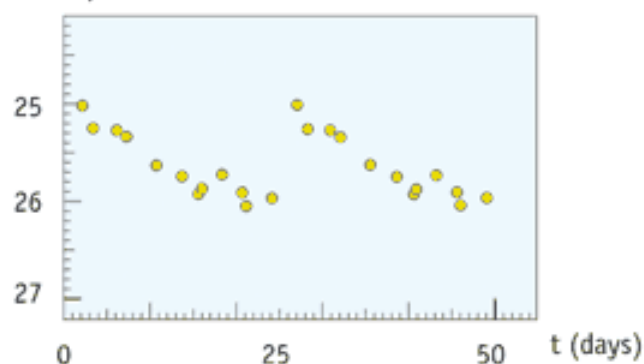
Cepheid 8



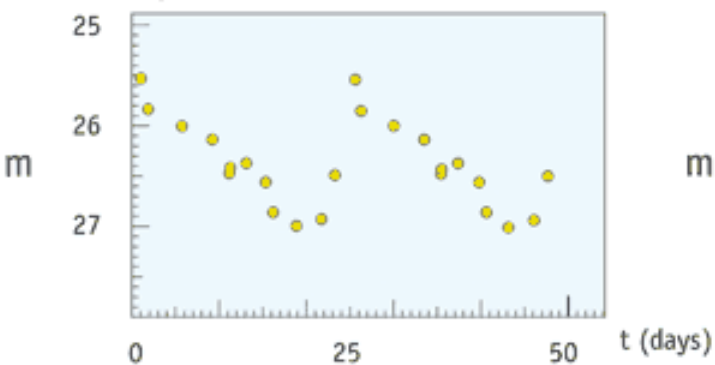
Cepheid 9



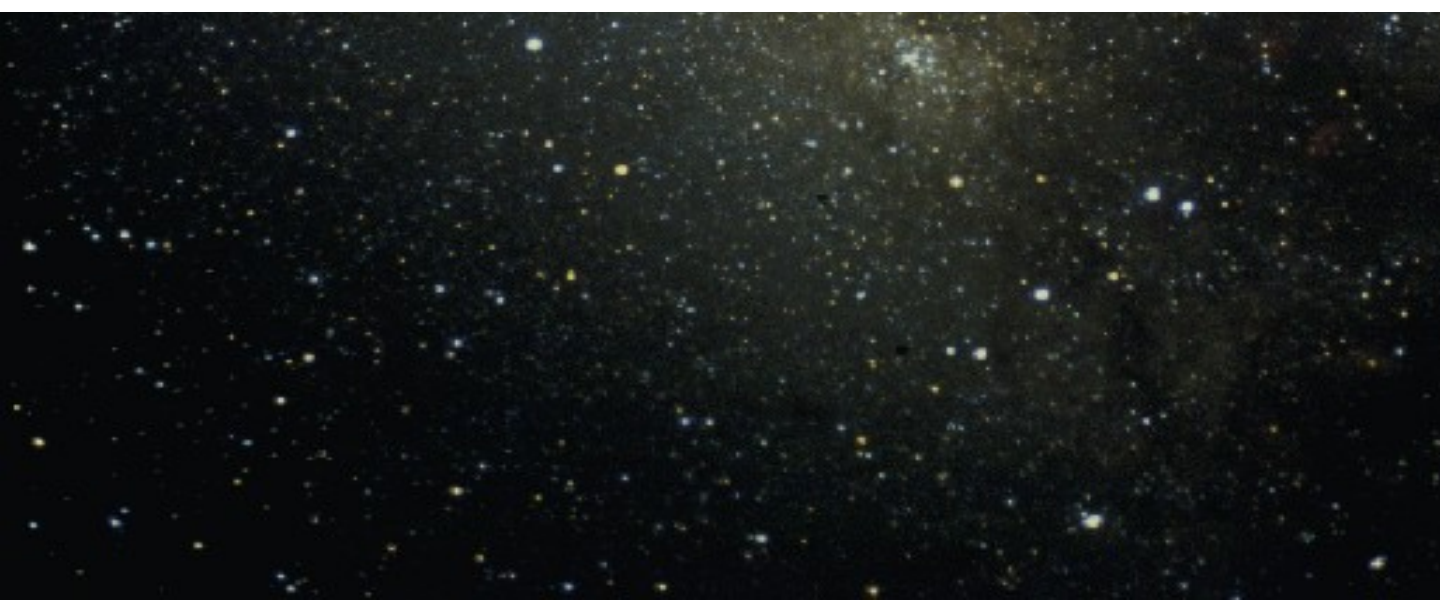
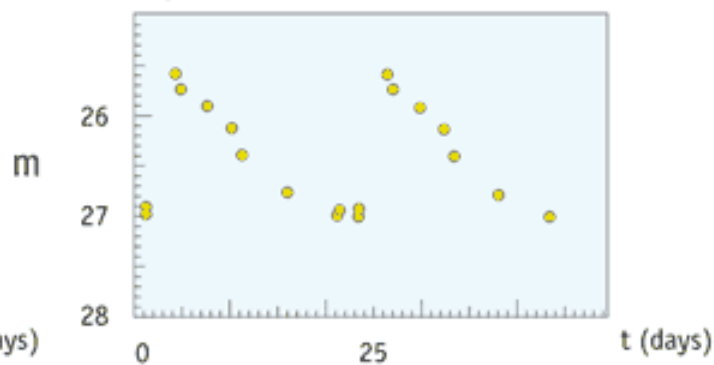
Cepheid 10



Cepheid 11



Cepheid 12



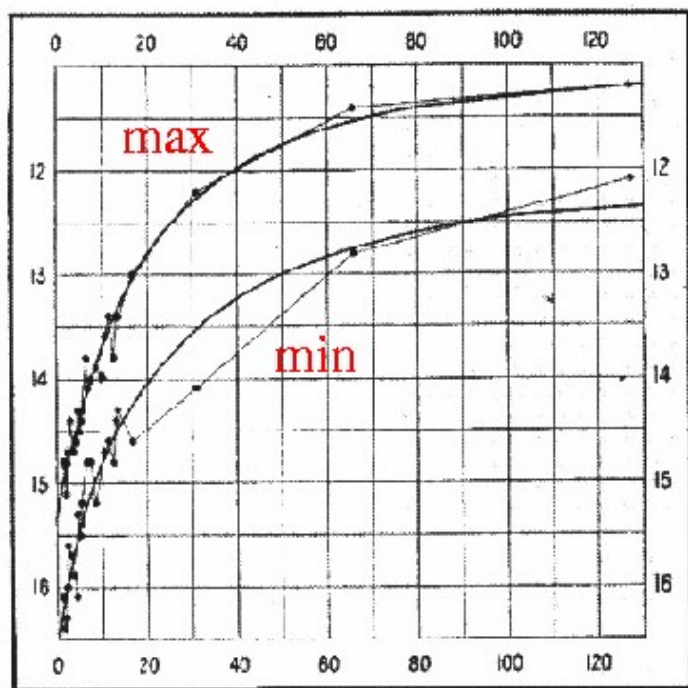


FIG. 1.

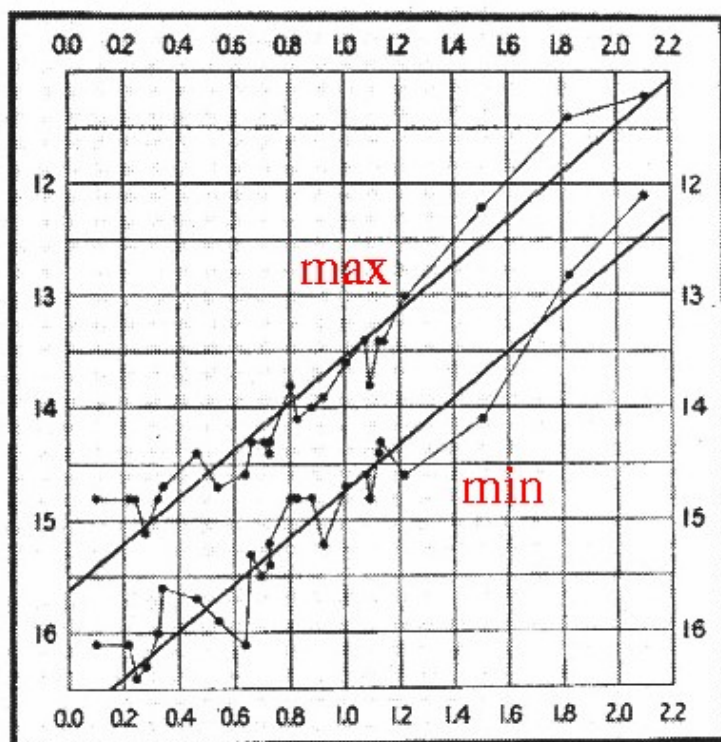
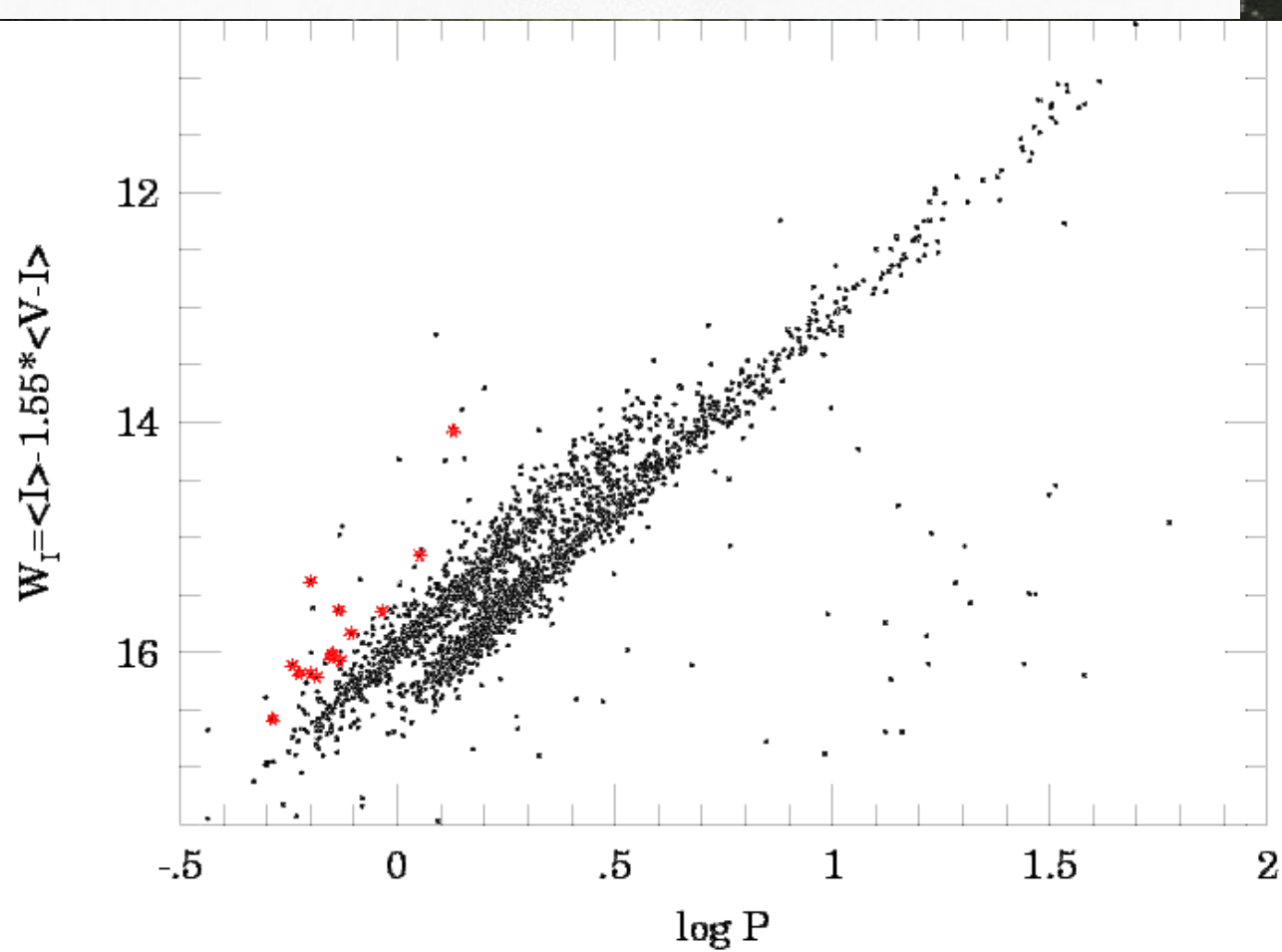
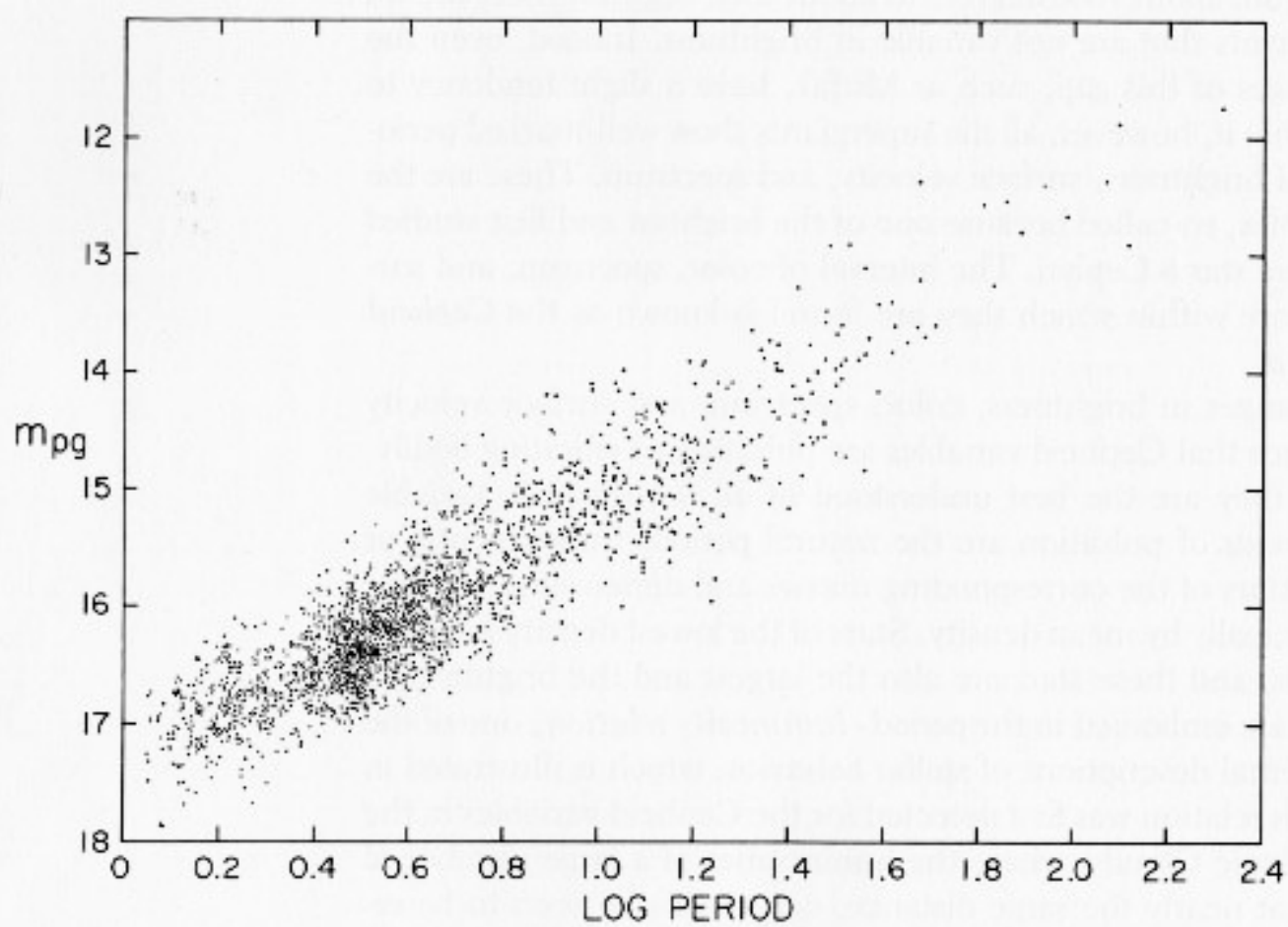
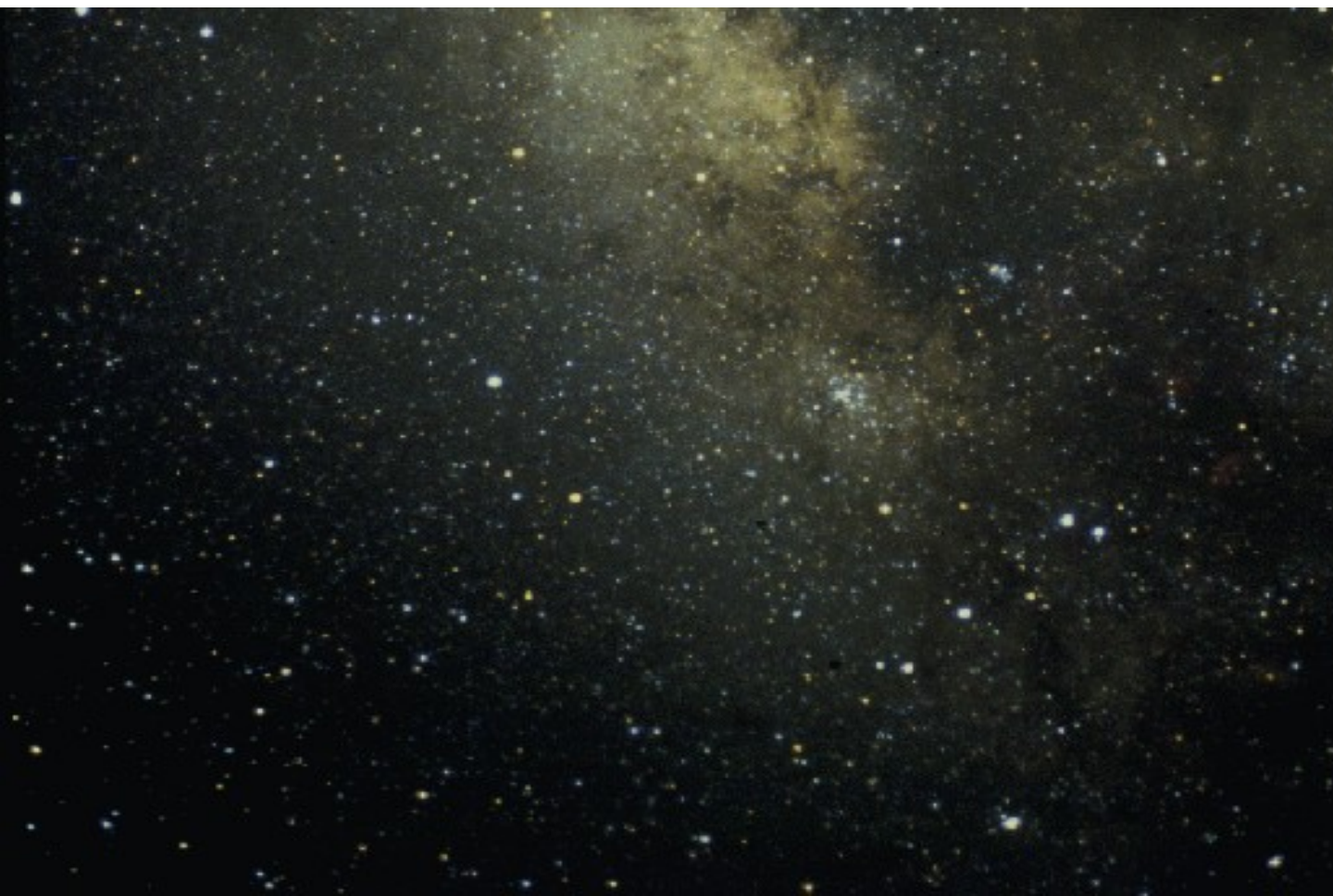
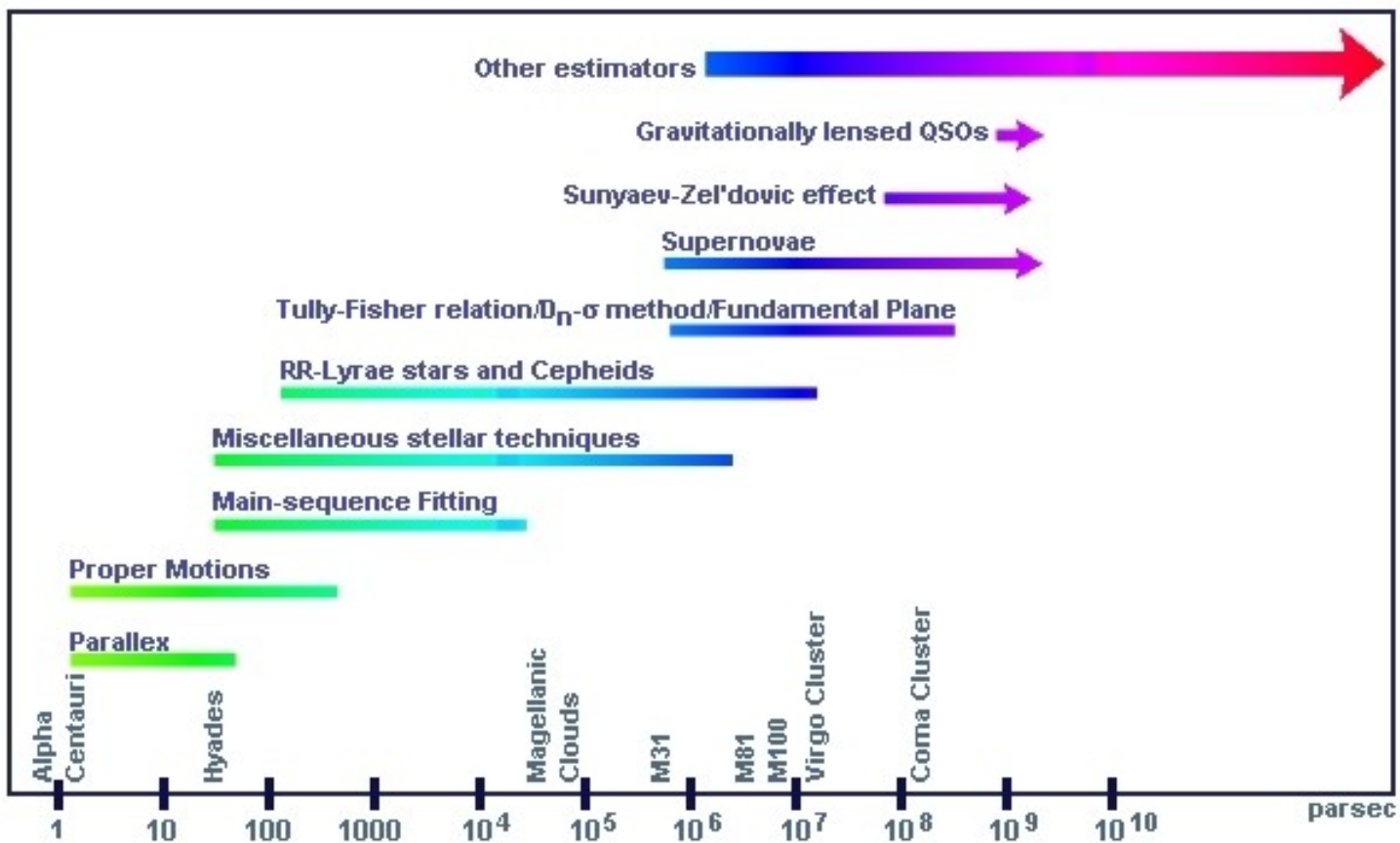
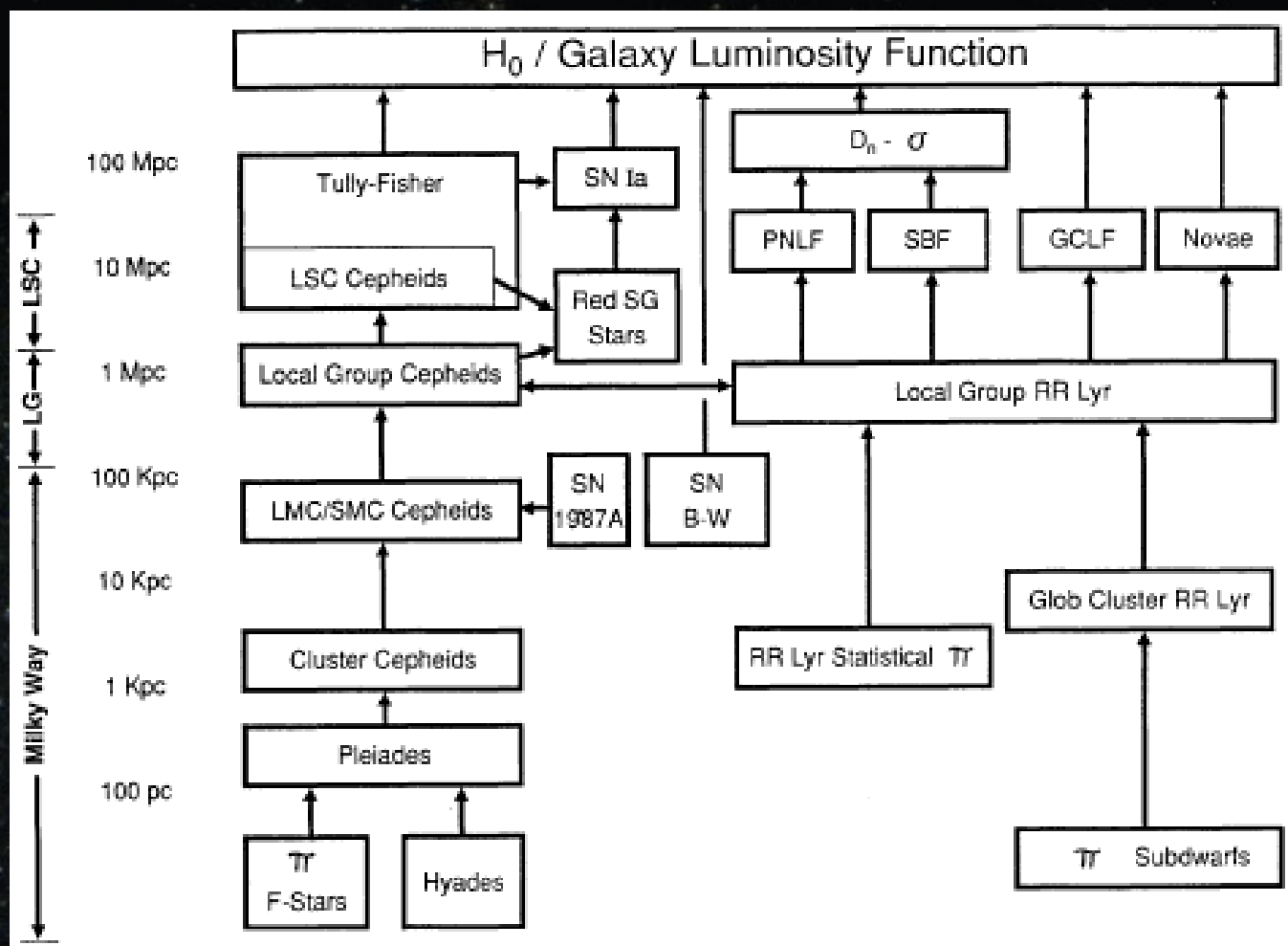


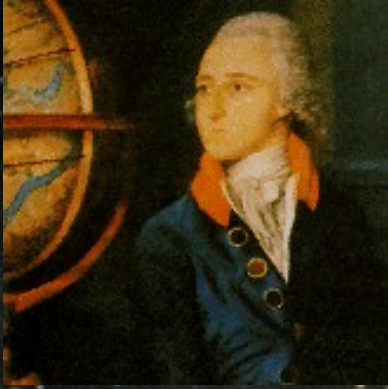
FIG. 2.





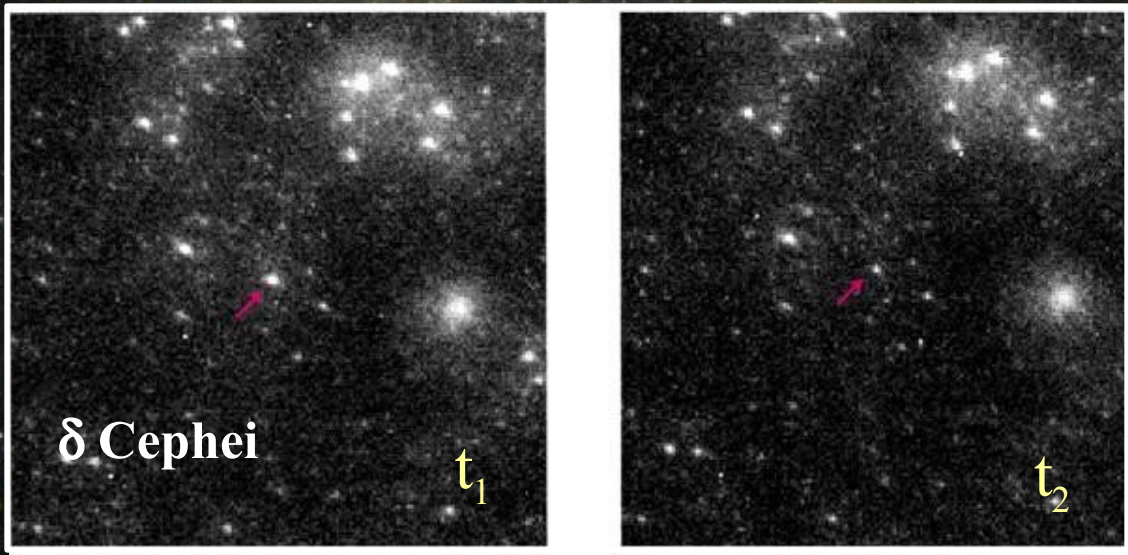


Cefeidas: indicadores de distância

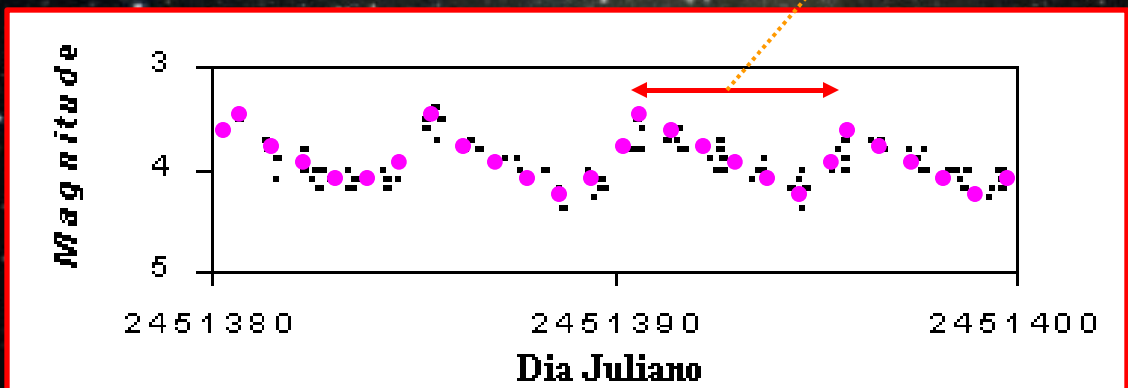


Goodricke (1764-1786)

Cefeidas: estrelas pulsantes, periódicas e brilhantes, que podem ser vistas a grandes distâncias.



Variacão de brilho: período = 5.366 dias



Cefeidas: indicadores de distância



H. Leavitt (1868-1921)

Em 1912 Leavitt descobriu a relação Período-Luminosidade de Cefeidas, que iria (com Shapley & Hubble) mudar o tamanho universo!

Ela estudou Cefeidas nas Nuvens de Magalhães, e descobriu que as estrelas com maior período (P) são as que possuem maior luminosidade aparente, ou seja, fluxo (F). Mesmo sem saber que as Nuvens eram galáxias, era razoável supor que suas estrelas estão +/- a uma mesma distância. Portanto, a relação entre P e F implica uma relação entre P e L, a luminosidade intrínseca! Ou seja $P = P(L)$, ou $L = L(P)$. Como

$$L = 4\pi d^2 F$$

medindo P achamos L, e, com o F observado, obtemos d!!

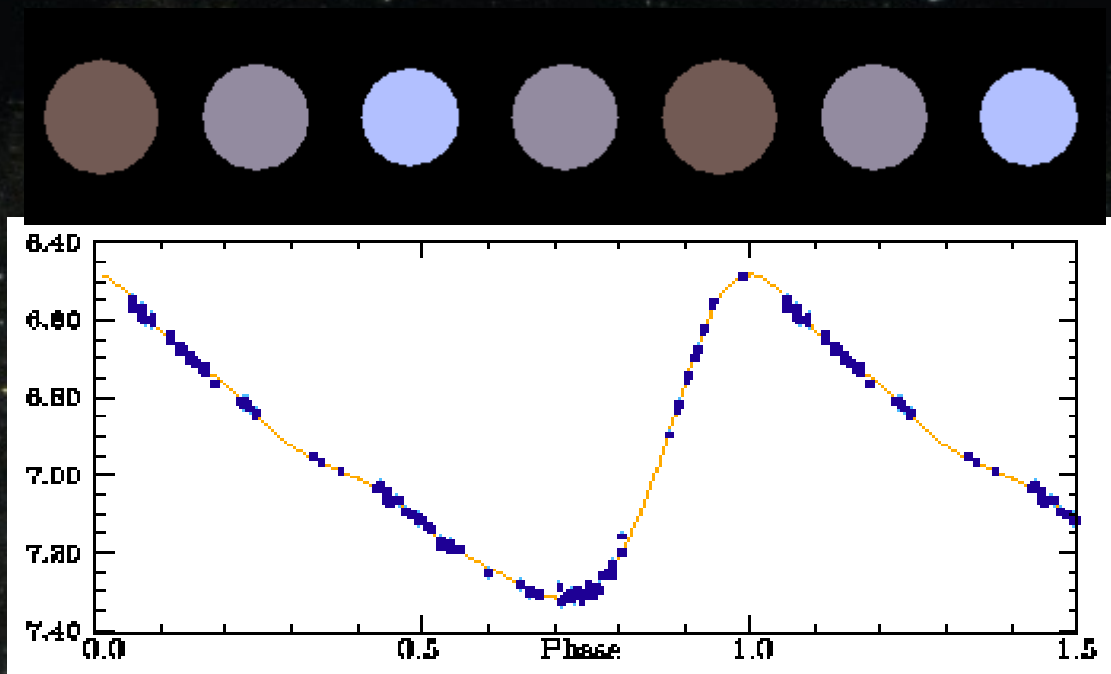
Grande Nuvem



Pequena Nuvem

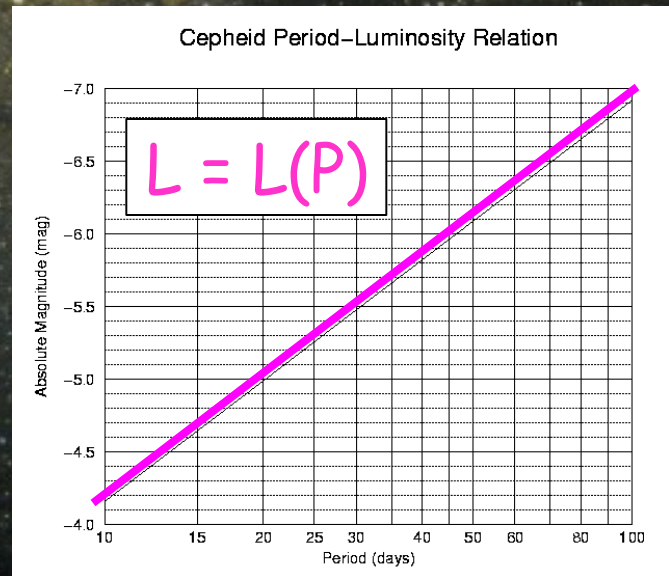
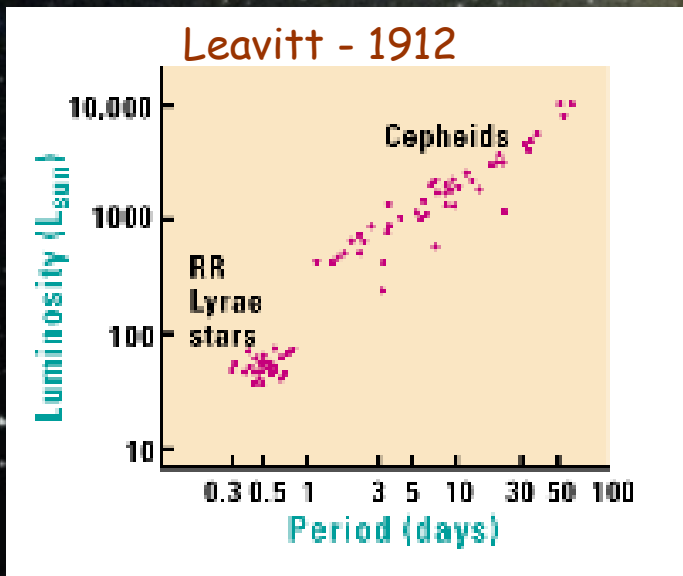


Cefeidas: indicadores de distância



Relação Período-Luminosidade

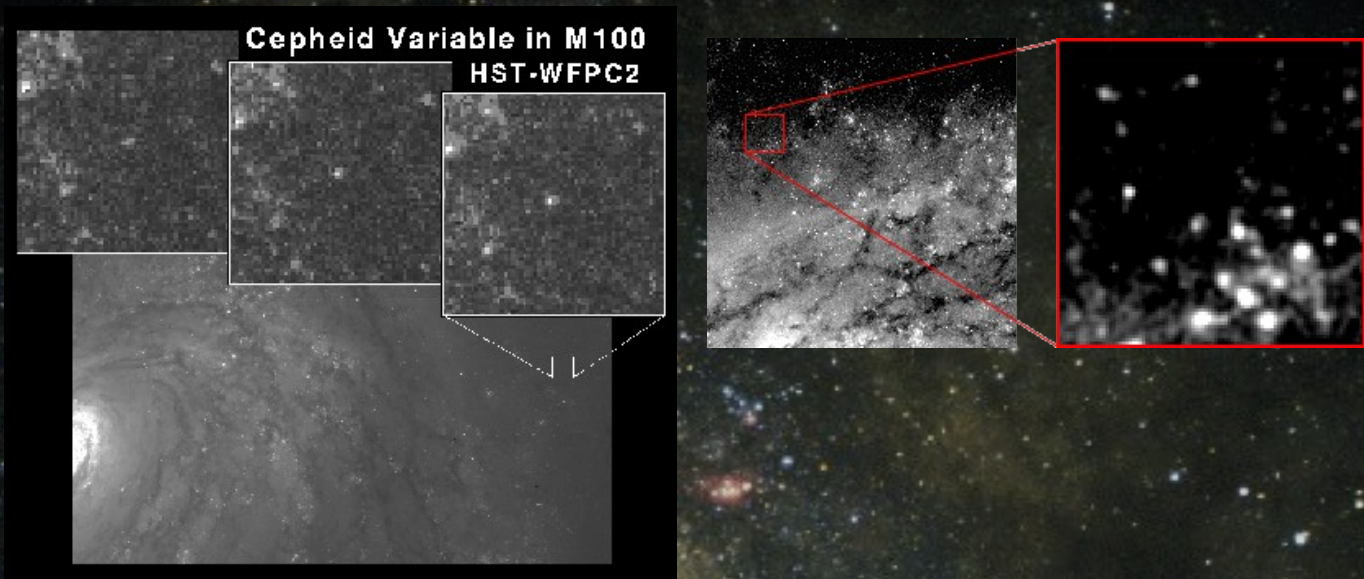
$$-2.5 \log L_{\text{bol}} = M_{\text{bol}} = -3.125 \log P - 1.525$$



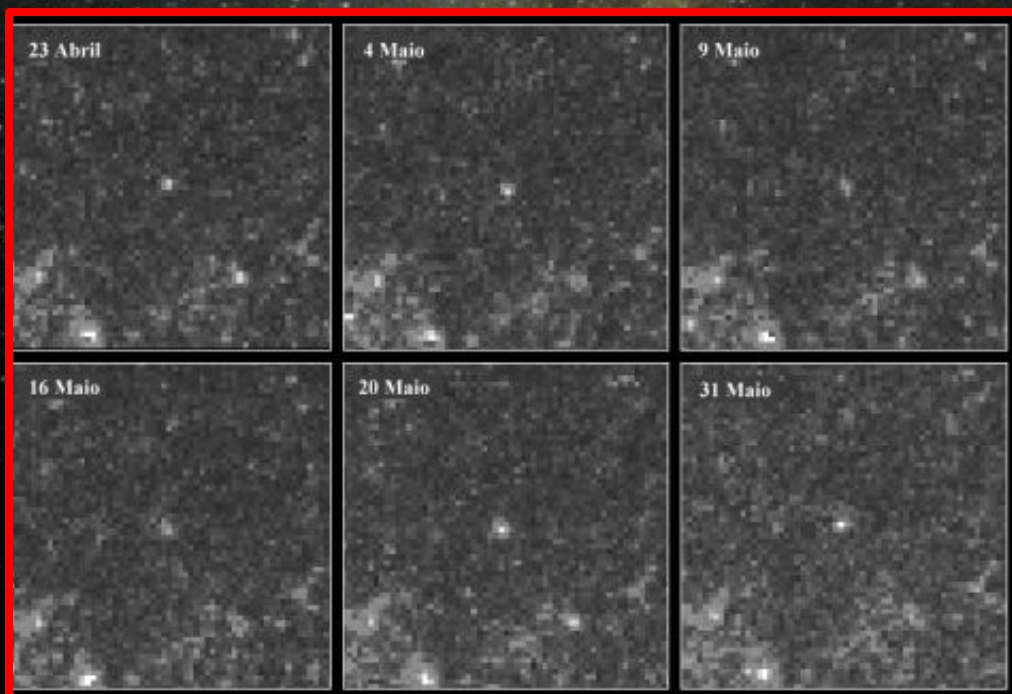
$$d = \{ L(P) / 4\pi F \}^{1/2}$$

Cefeidas: indicadores de distância

Exemplo moderno: Cefeidas em M100 (HST 1994)



Estrela Cefeida na galáxia M100, a $d = 56M$ anos-luz.
A estrela dobra de brilho (passando de 24.5 para 25.3 mag) em 51.3 dias. $P = 102.6$ dias.



O Grande Debate: A escala do universo

Quem ganhou? ... Empate!

O tamanho da Via Láctea
e nossa posição nela

A natureza da
nebulosas espirais

Shapley 1 X 1 Curtis

Moral da história: Revoluções científicas (mudanças de paradigma) são complexas, envolvem muita gente, trabalho, contradições, erros, sorte, (e azar!), briga, vaidades/egos, e, sobretudo, não se resolvem da noite para o dia!

Kapteyn, Curtis, Shapley, Leavitt, Hubble... são personagens de uma "revolução Copernicana" recente e bem documentada, que revela como caminha a ciência..