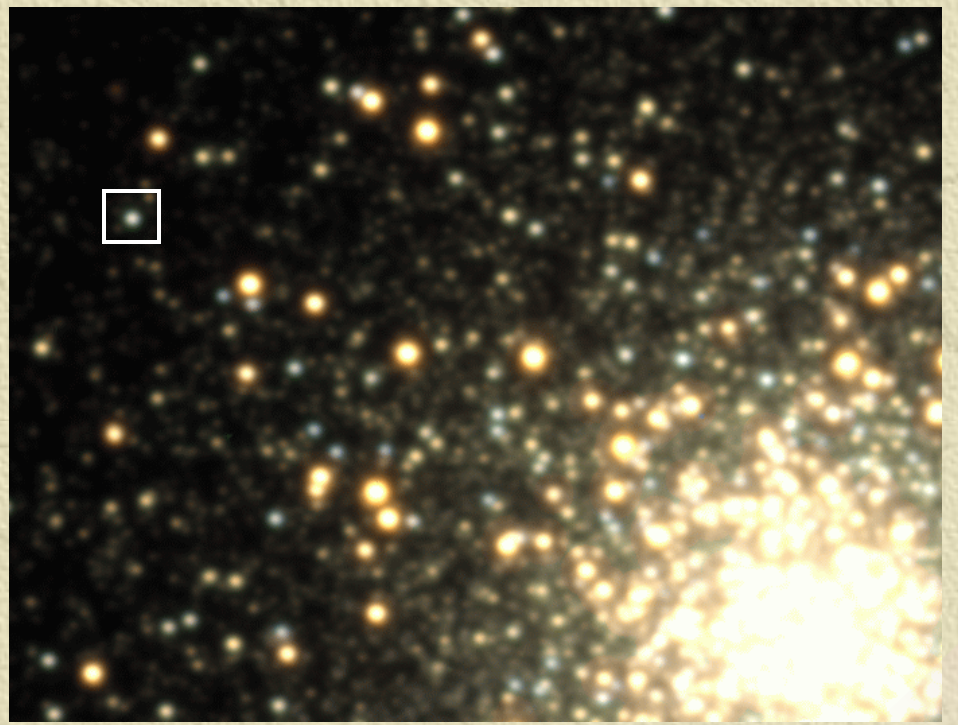
Astronomia Extragaláctica

Semestre: 2016.2

Sergio Scarano Jr

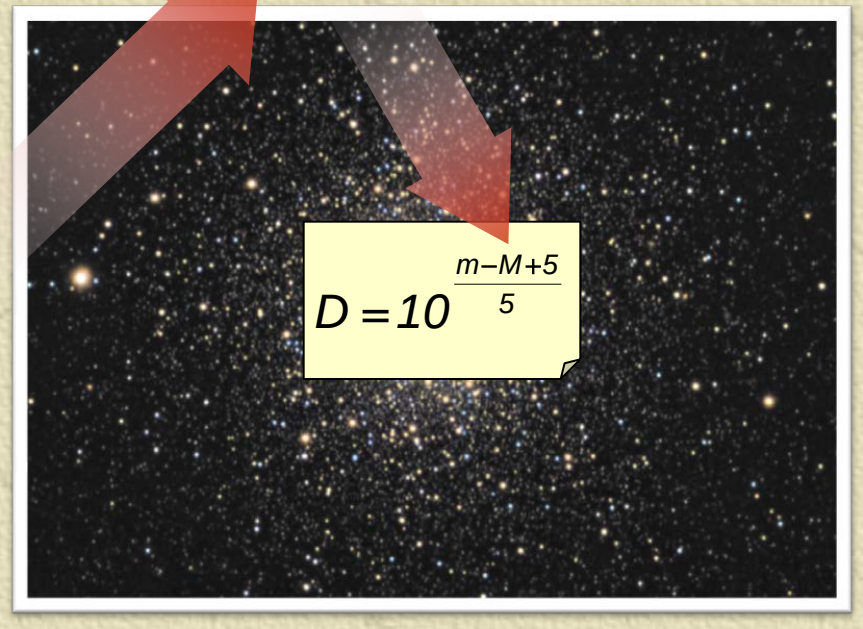
14/01/2017

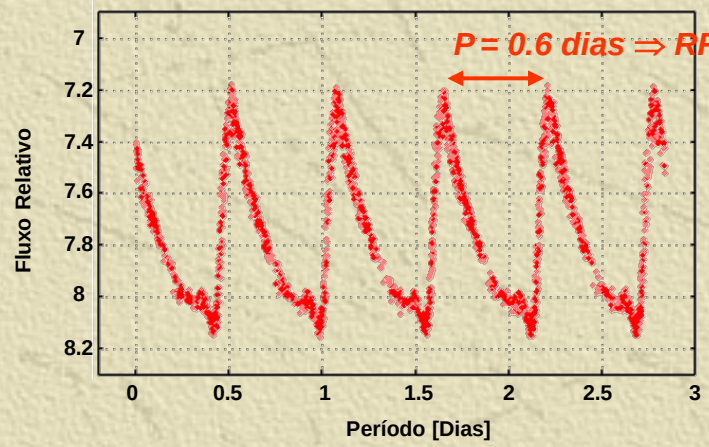
As Variáveis RR-Lyrae



Estrelas pouco massiva e associadas a Pop II. Curva de luz tem aspecto característico e períodos inferiores a um dia. A magnitude absoluta média é sempre:

$$M = 0{,}6$$





Limites: 1 Mpc (Telescópio Hubble)

Cefeidas nas Nuvens de Magalhães

A relação Período-Luminosidade das Cefeidas, determianda por Henrietta Leavitt (1908) permitiu medir distâncias Galácticas e Extragalácticas.

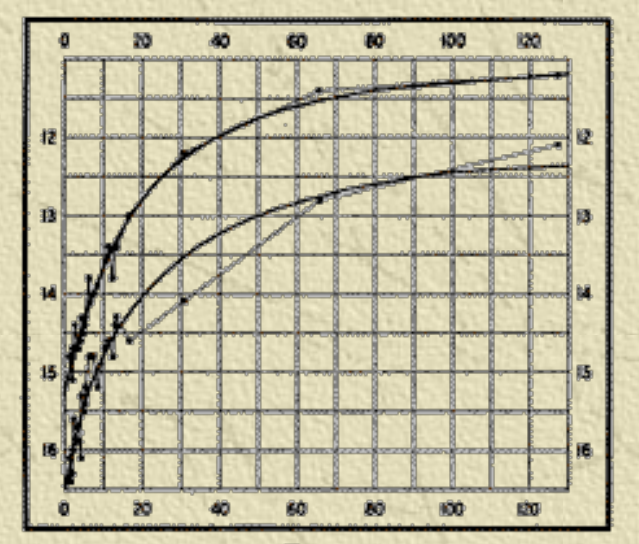


Fig. 1.

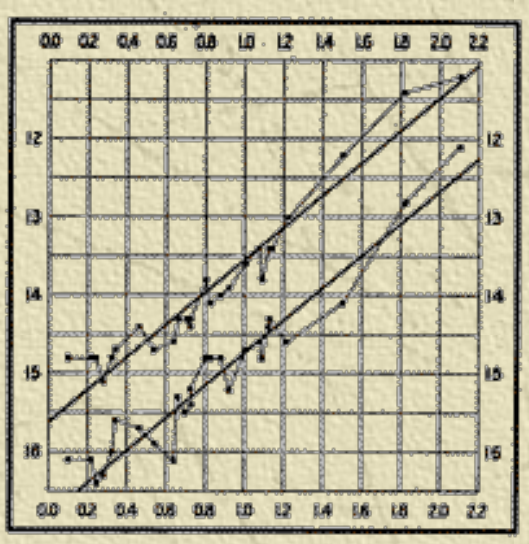
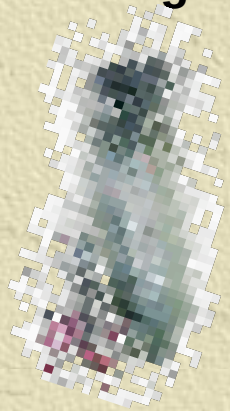
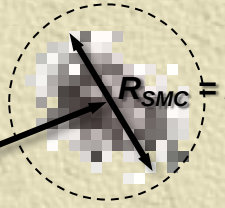


Fig. 2.





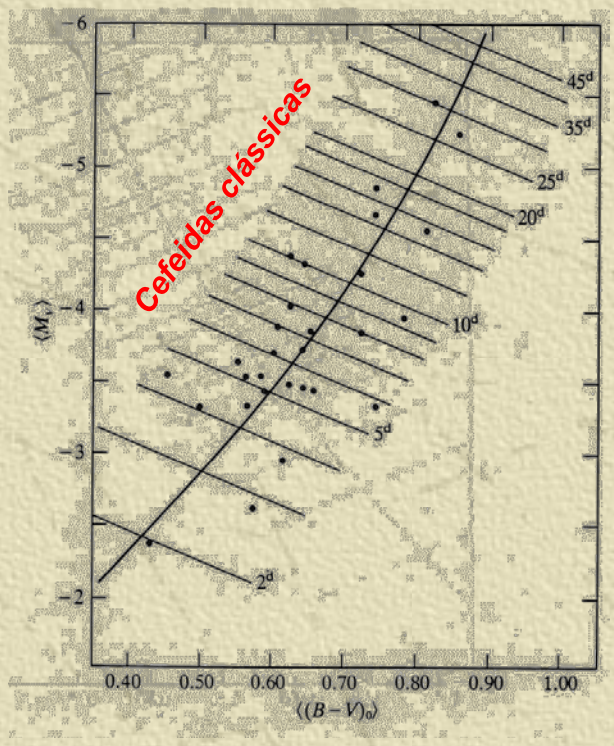
D_{sol} = 60,4 kpc

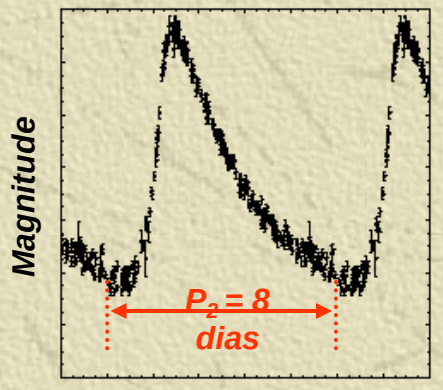
Cefeidas classicas: plano galáctico

WW Virginis: Aglomerdos globulares e afastadas do plano galáctico (distintas pela metalicidade)

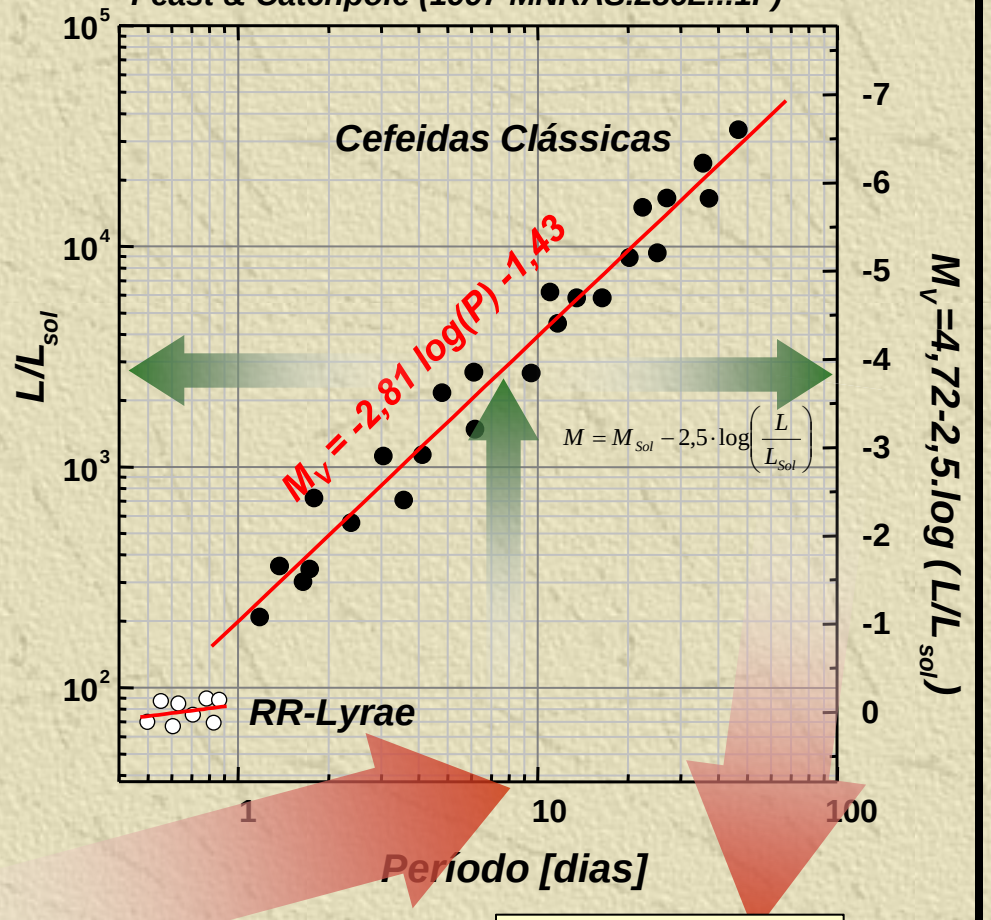
Henrietta Leavitt e Periodo Luminosidade de Cefeidas

A relação Período-Luminosidade das Cefeidas, determianda por Henrietta Leavitt (1908) permitiu medir distâncias Galácticas e Extragalácticas.





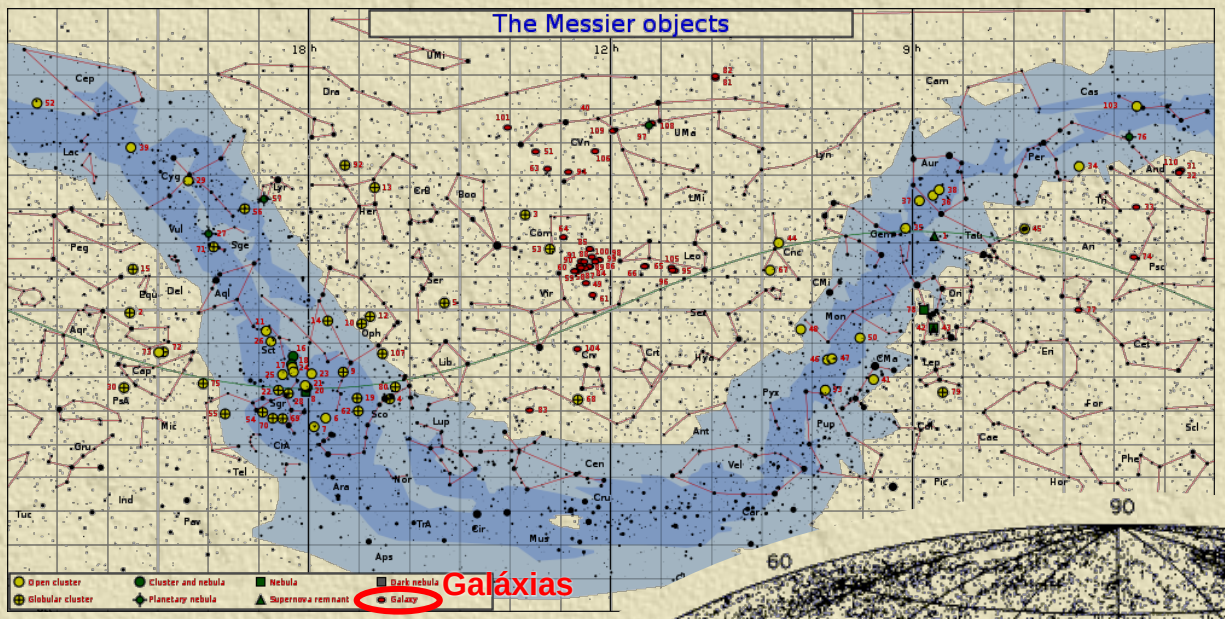
Feast & Catchpole (1997 MNRAS.286L...1F)



$$D = 10^{\frac{m-M+5}{5}}$$

"Nebulosas Espirais" "evitam" o Plano da Galáxia

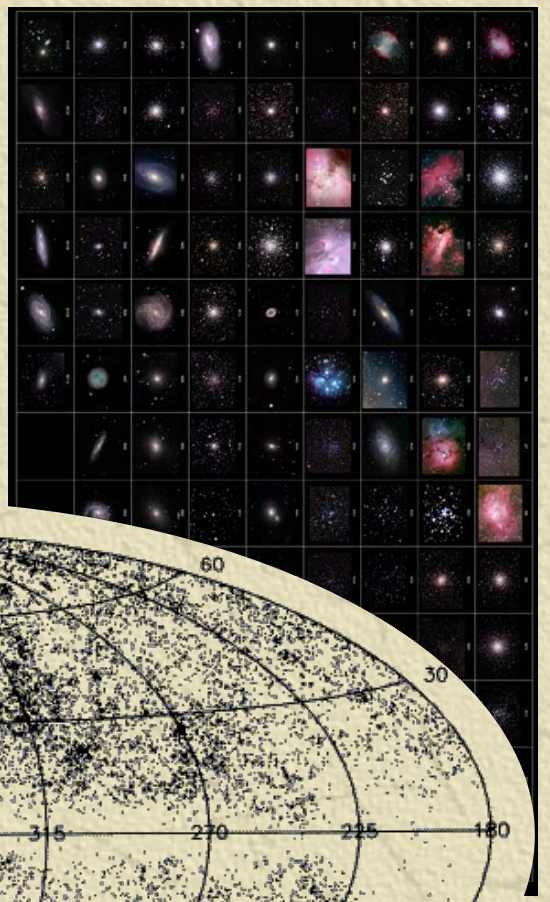
Distribuição de 14650 galáxias dos catálogos UGC, ESO e MCG.

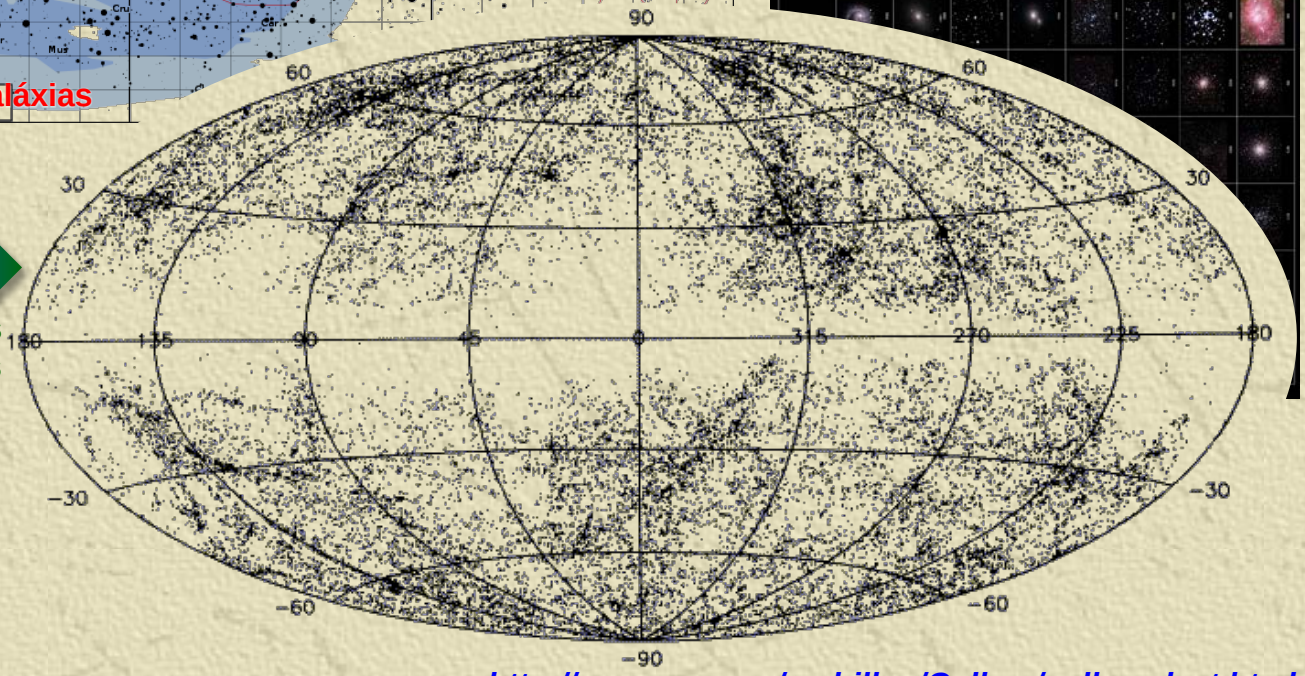


Galáxias

Coordenadas equatoriais

Coordenadas galácticas





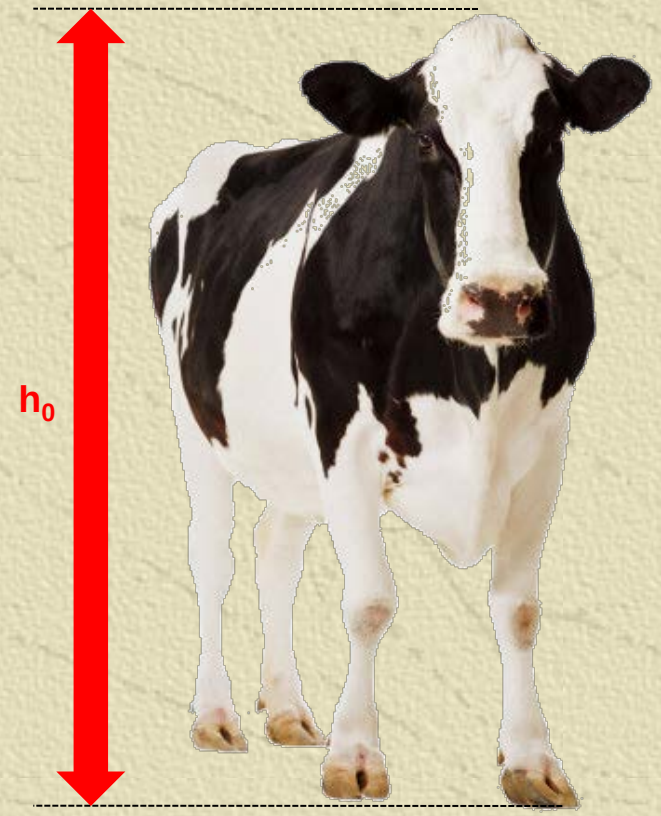
http://www.eso.org/~mhilker/Gallery/gallery_lect.html

Características Comuns de um Objeto e Distâncias

Analogia de como reconhecer características comuns entre objetos e utiliza-las em função da distância

Faço o mesmo procedimento com diversas vacas a que eu tenho acesso (próximas)

... considero desvios



Conhecendo uma vaca de próximo

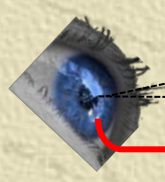
h = média (h_0, h_1, h_2, h_3, ..., h_n)

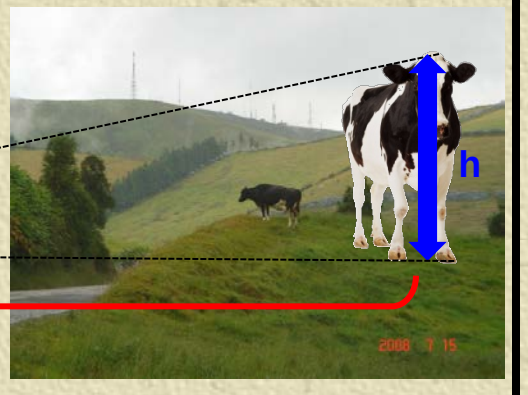
$\pm$

σ_h = desvios (h_0, h_1, h_2, h_3, ..., h_n)

Isolando distância:

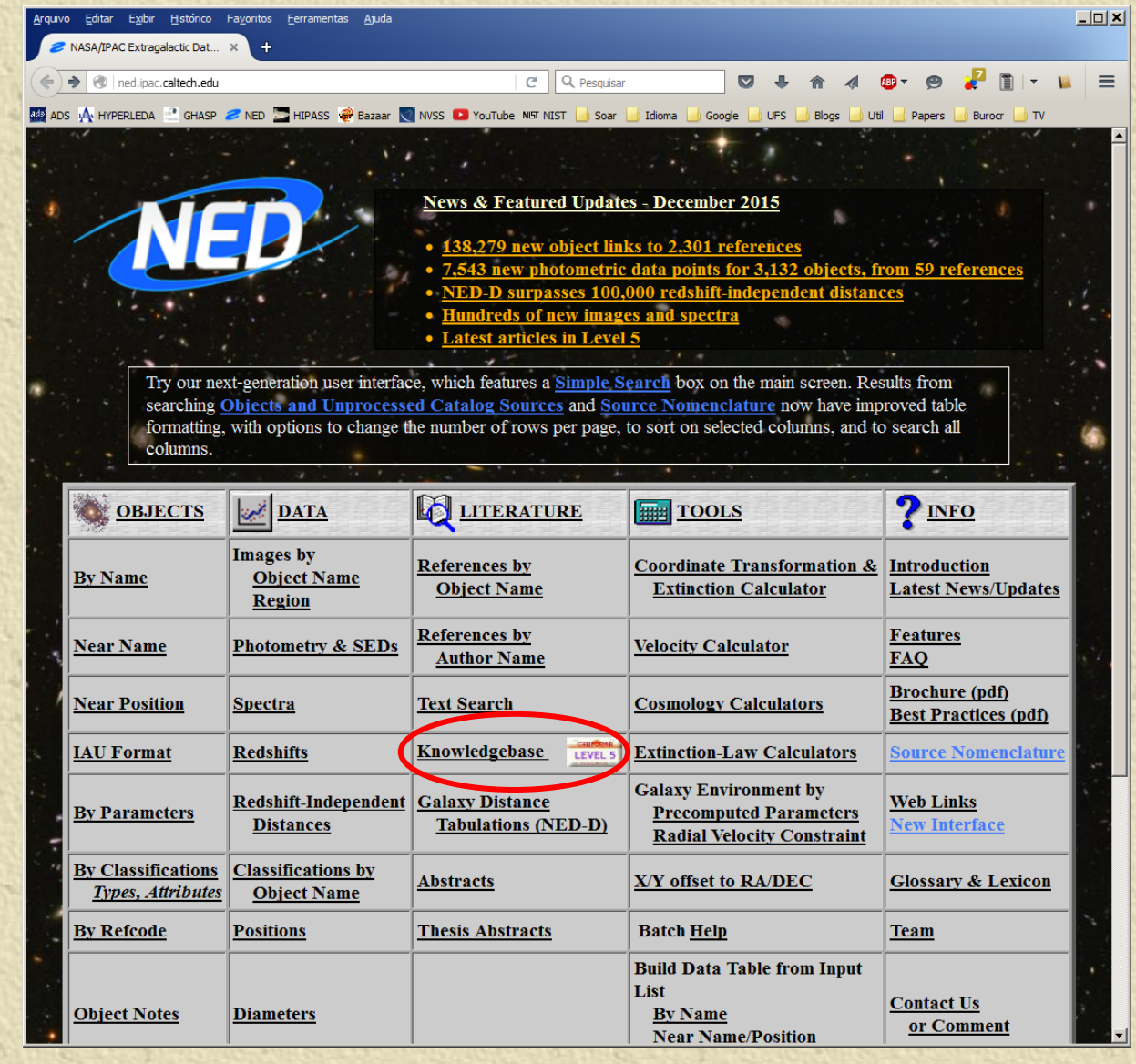
$$D = \frac{h}{\tan(\alpha)}$$





Usando o NED

NED = NASA/IPAC Extragalactic Database. http://ned.ipac.caltech.edu.



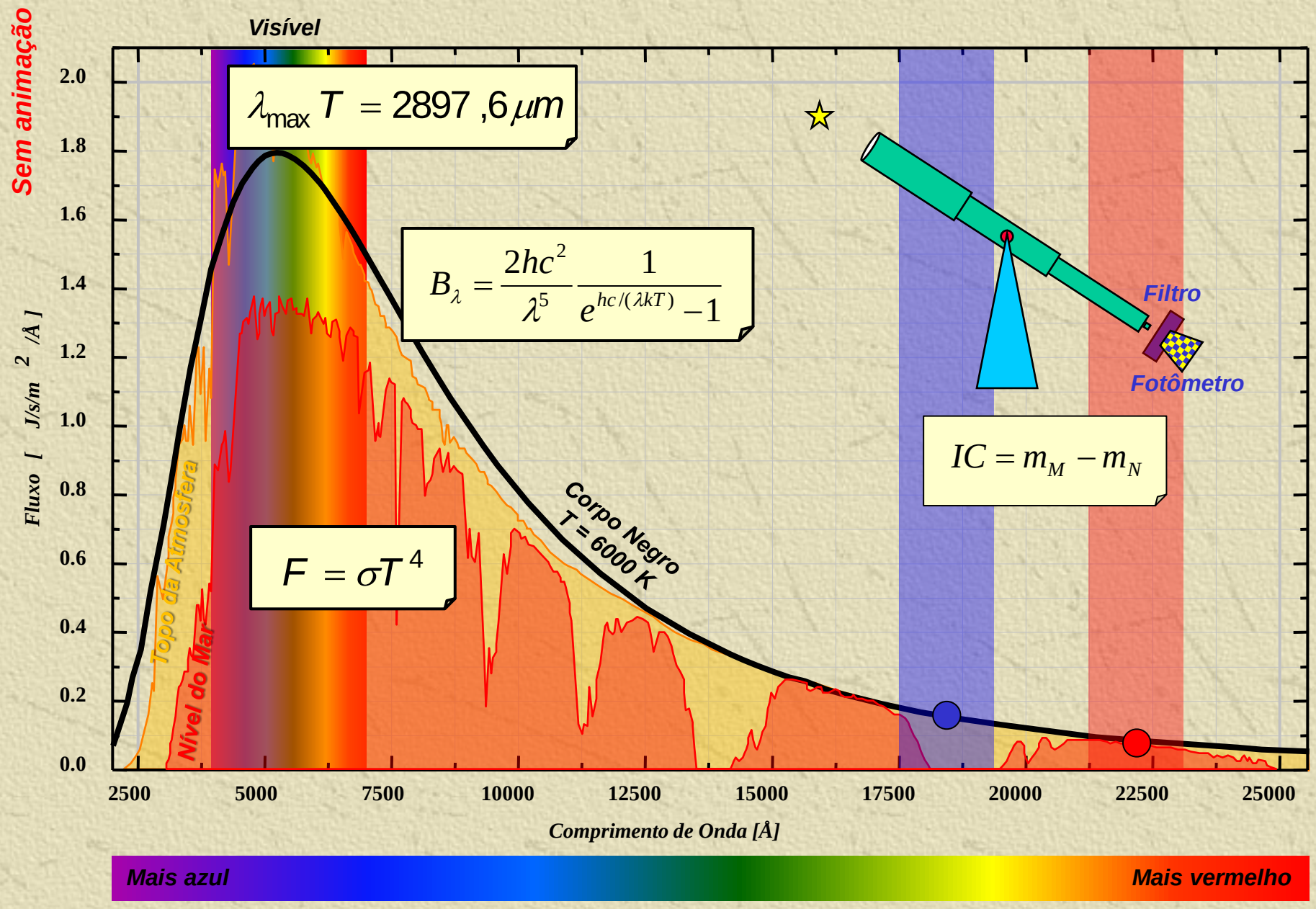
Artigos que Também Serão Usados como Referência

- **Extragalactic Globular Clusters and Galaxy Formation, Brodie & Strade, 2006.**
- **Absolute Magnitude Calibrations of Population I and II Cepheids and Other Pulsating Variables in the Instability Strip of the Hertzsprung-Russell Diagram, Sandage &Tammann, 2006**
- **Stellar Population Diagnostics of Elliptical Galaxy Formation, Renzini 2006**
- **Diffuse Atomic and Molecular Clouds, Snow & McCall, 2006**
- **High-velocity White Dwarfs and Galactic Structure, Reid, 2005**
- **The Classification of Galaxies: Early History and Ongoing Developments, Sandage, 2005**
- **Galactic Winds, Veilleux et al., 2005**
- **The New Galaxy: Signatures of Its Formation, Freeman & Blawthorn, 2002**

Artigos que Também Serão Usados como Referência

- **Rotation Curves of Spiral Galaxis, Sofue & Rubin, 2001**
- **X-Ray Properties of Groups of Galaxies, Mulchaey, 2001 (Bia, Ruy)**
- **Organic Molecules in the Interstellar Medium, Comets and Meteorites: A Voyage from Dark Coulds to the Early Earth, Ehrenfreund & Charnley, 2000 (Rory, Margarida, Benedito)**
- **The Hubble Deep Fields, Ferguson et al., 2000**
- **The HR Diagram and the Galactic Distance Scale After Hipparcos, Reid, 1999.**

Sol e Outras Estrelas emitindo como Corpo Negro



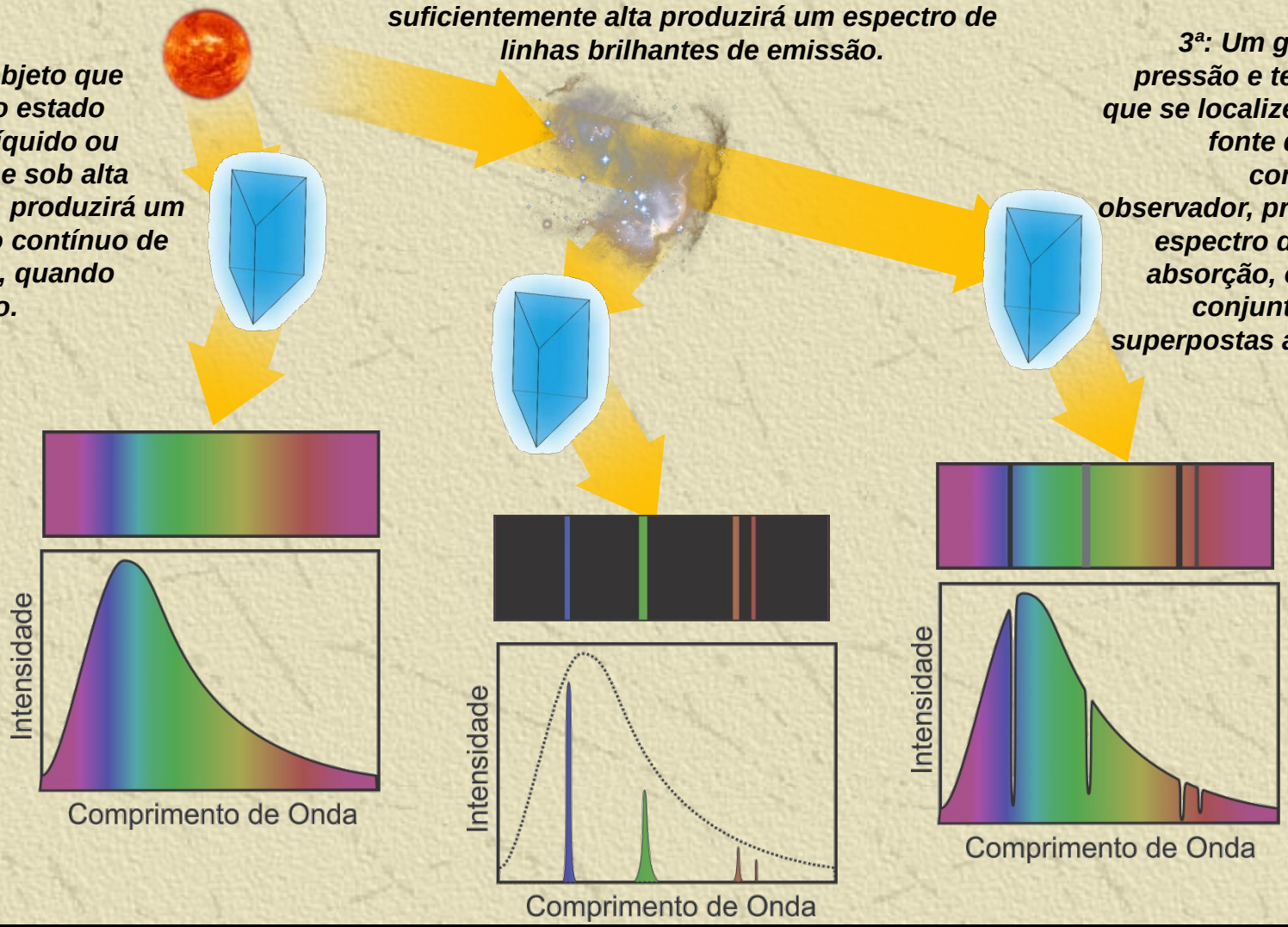
Leis de Kirchhoff

Kirchoff e Bunsen conectaram a ideia das linhas de emissão observadas na química com as linhas espectrais em objetos astronômicos por 3 leis.

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

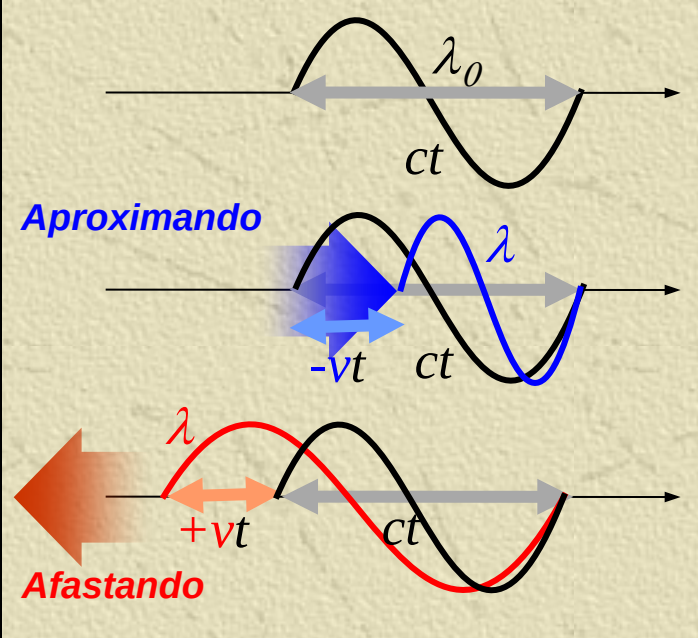
2ª: Um gás a baixa pressão e a uma temperatura suficientemente alta produzirá um espectro de linhas brilhantes de emissão.

3ª: 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 superpostas ao espectro contínuo.



O Efeito Doppler-Fizeau para Determinação de Velocidades

Uma fonte que se desloca no sentido da onda que emite a comprime enquanto que se deslocando no sentido oposto a distende.



$$\lambda = c \cdot t$$

$$\lambda = (c \pm v) \cdot t$$

$$\lambda = c\left(1 \pm \frac{v}{c}\right) \cdot t$$

$$\lambda = c\left(1 \pm \frac{v}{c}\right) \cdot \frac{1}{\nu_0}$$

$$\lambda = \lambda_0\left(1 \pm \frac{v}{c}\right)$$

$$\frac{\lambda \mp \lambda_0}{\lambda_0} = \frac{v}{c}$$

v < 0, fonte se aproxima

v > 0, fonte se afasta

Definindo: $z = \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0}$

$$v = c \cdot \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0}$$

Para o caso não relativístico

Doppler (previu efeito para qualquer onda)

Fizeau (aplicação Astronômica)

Espectroscopia de Objetos Nebulosos

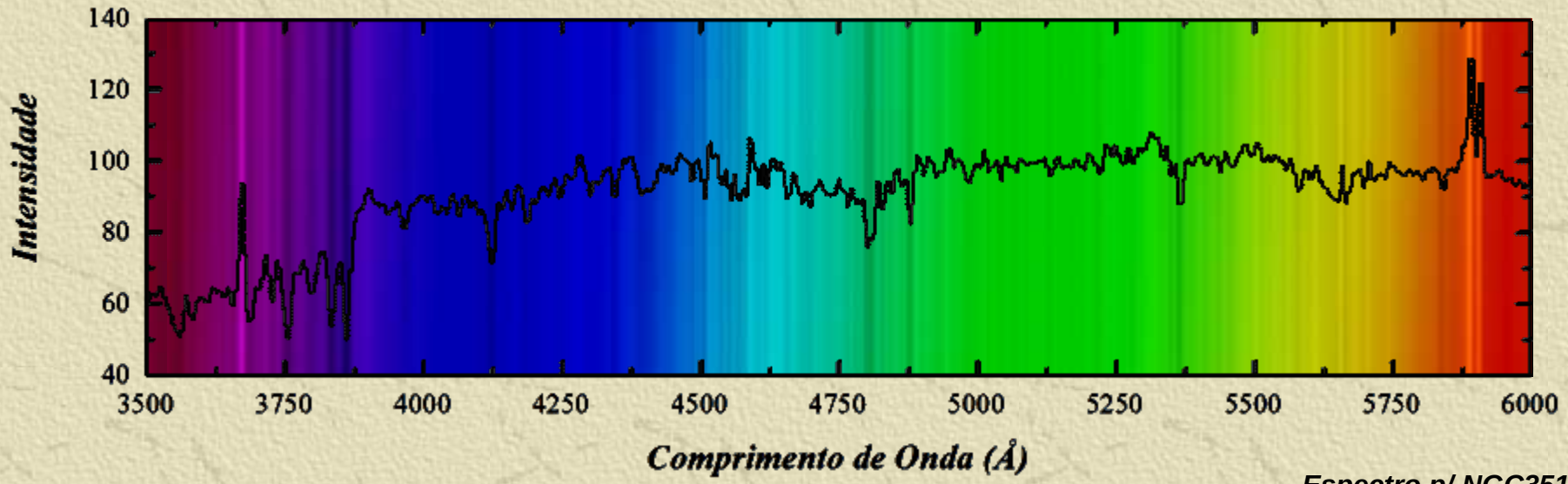
Entre 1912 e 1917 Slipher obteve os primeiros espectros de espirais (80 horas!). Registrou as primeiras determinação do desvio espectral. Descobriu a rotação das galáxias espirais.

Em 1868:
70 nebulosas:
1/3 linhas de emissão (como M42)
2/3 espectro estelar (como M31)

Slipher (1914)

RADIAL VELOCITIES OF TWENTY-FIVE SPIRAL NEBULÆ.

Nebula.	Vel.	Nebula.	Vel.
N.G.C. 221	− 300 km.	N.G.C. 4526	+ 580 km.
224	− 300	4565	+1100
598	− 260	4594	+1100
1023	+ 300	4649	+1090
1068	+1100	4736	+ 290
2683	+ 400	4826	+ 150
3031	− 30	5005	+ 900
3115	+ 600	5055	+ 450
3379	+ 780	5194	+ 270
3521	+ 730	5236	+ 500
3623	+ 800	5866	+ 650
3627	+ 650	7331	+ 500
4258	+ 500		



Espectro p/ NGC3512

Coordenadas Esféricas

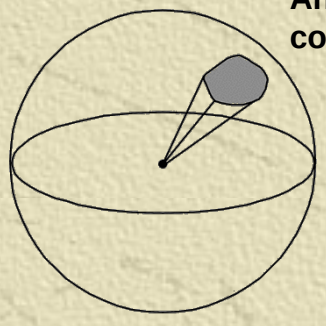
As coordenadas de um ponto *P* em coordenadas esféricas e sua relação em coordenadas cartesianas é *P(r,θ,ϕ)*:

$$r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \qquad (r \geq 0)$$

$$\theta = \cos^{-1}\left(\frac{z}{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}}\right) \qquad (0° \leq r \leq 180°)$$

$$\phi = \tan^{-1}\left(\frac{y}{x}\right)$$

$$\begin{cases} x = r \sin\theta \cos\phi \\ y = r \sin\theta \sin\phi \\ z = r \cos\theta \end{cases}$$



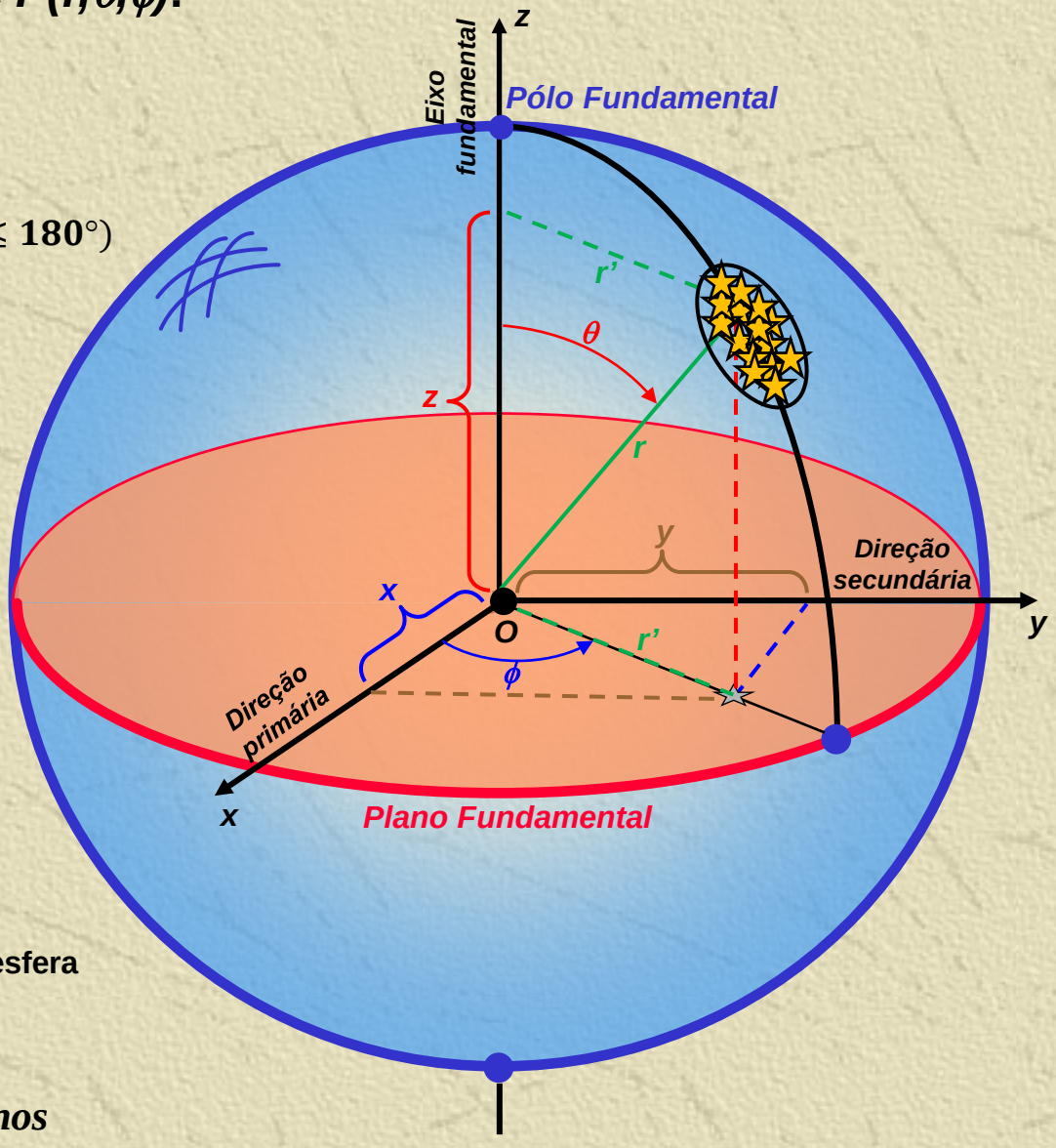
Ângulo para circunferência completa:

$$\theta = l/r \Rightarrow 2\pi \; rad$$

Ângulo sólido para esfera inteira:

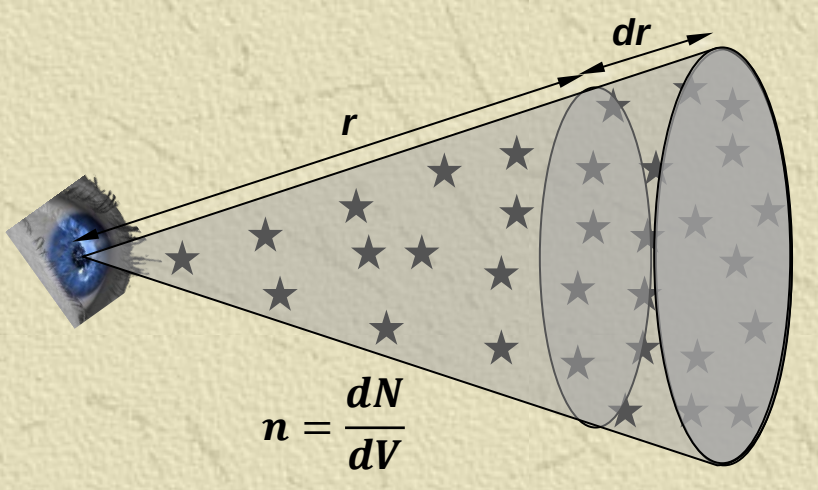
$$\Omega = A/r^2$$

$$\Rightarrow 4\pi \; esteroradianos$$



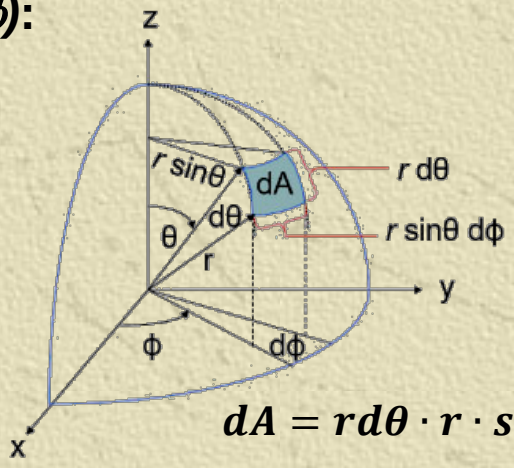
Contagem de Estrelas

As coordenadas de um ponto *P* em coordenadas esféricas e sua relação em coordenadas cartesianas é *P(r,θ,ϕ)*:



$$n = \frac{dN}{dV}$$

$$[n] = pc^3 mag^{-1}$$



$$N = \int_V n \cdot dV$$

$$dA = rd\theta \cdot r \cdot sen\theta \cdot d\phi$$

$$dV = rd\theta \cdot rsen\theta \cdot d\phi \cdot dr$$

$$d\Omega = \frac{dA}{r^2} = sen\theta \cdot d\theta \cdot d\phi$$

$$N = \int_{r'} \int_V n(r', \theta', \phi') \cdot r^2 \cdot d\Omega \cdot dr$$

Assumindo *n* constante (homogeneidade) e independente da direção (isotropia):

$$N = \frac{\Omega n r'^3}{3}$$

$$f' = \frac{L}{4\pi r'^2}$$

$$N_L(f > f') = \frac{n_L \Omega}{3} \left(\frac{L}{4\pi}\right)^{\frac{3}{2}} f^{-\frac{3}{2}}$$

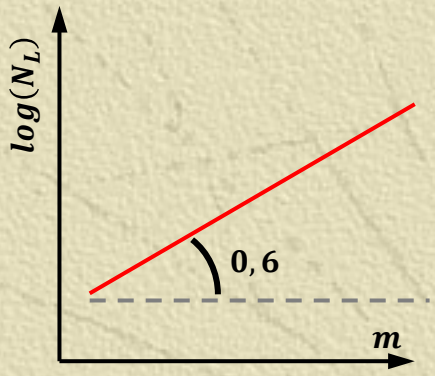
Contagem de Estrelas em Forma Integral

Obtendo o logaritmo das expressões:

$$log(N_L) = const_1 - \frac{3}{2} log(f)$$

sendo $m = \underbrace{-2,5}_{-\frac{5}{2}} \cdot log(f) + C_m$

$$log(N_L) = const_2 + 0,6m$$



Lembrando que: $m - M = 5log(r) - 5$; $N = \frac{\Omega n r'^3}{3}$

$$log(r) = (m - M + 5)/5 \; ; \; log(N_L) = log(n_L) + log\left(\frac{\Omega}{3}\right) + 3log(r)$$

$$log(N_L) = log(n_L) + log\left(\frac{\Omega}{3}\right) - 0,6M + 0,6m + 3$$

Somando estrelas de diferentes luminosidades:

$$N = N_{L_1} + N_{L_2} + \cdots = \frac{\Omega}{3}\left(n_{L_1}\frac{L_1}{4\pi} + n_{L_2}\frac{L_2}{4\pi} + \cdots\right)^{\frac{3}{2}} f^{-\frac{3}{2}}$$

$$log(N_L) = const_3 + 0,6m$$

⇒ **o formato de *N* independe da distribuição de luminosidade das estrelas sendo contadas**

Contagem de Estrelas em Forma Diferencial

Em forma diferencial define-se o número de estrelas por unidade de magnitude:

$$A(m) = \frac{dN}{dm}$$

A(m): número de objetos por unidade de magnitude

pela regra dos logaritmos: $log(N) = \frac{ln(N)}{ln(10)}$, em que chamaremos $\mu = ln(10)$

$log(N_L) = const_3 + 0,6m$

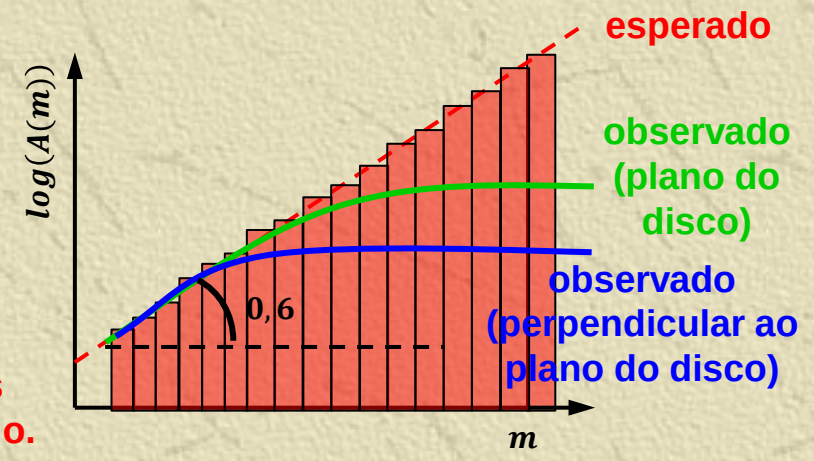
Usando a expressão integral: $ln(N) = const_4 + 0,6\mu \cdot m$

cuja derivada é: $\frac{d}{dN} ln(N) = \frac{1}{N}$, e pela regra da cadeia: $\frac{d}{dm} ln(N) = \frac{1}{N}\frac{dN}{dm}$

Assim: $\frac{dN}{dm} = 0,6\mu \cdot N = A(m)$. Extraindo o logaritmo de ambos os lados:

$$log\big(A(m)\big) = log(0,6\mu) + log(N)$$

$$log\big(A(m)\big) = const_5 + 0,6m$$

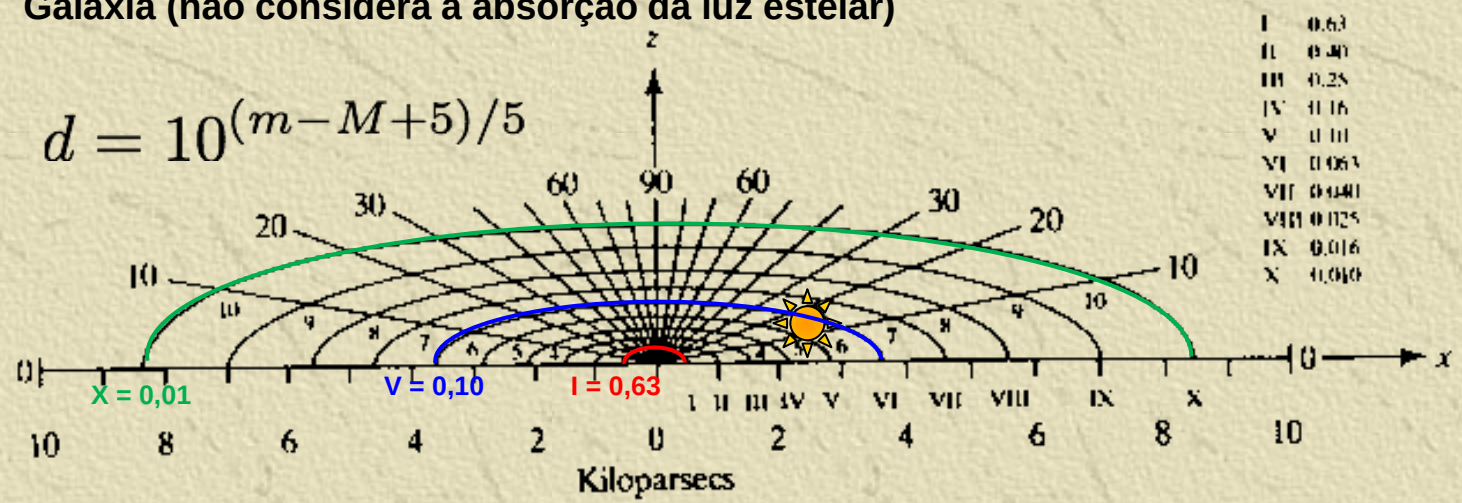


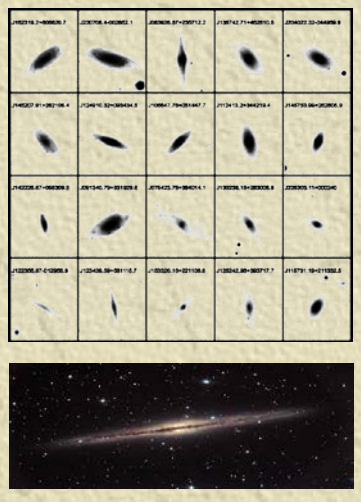
⇒ os desvios dos limites esperados "traçam" em primeira ordem o tamanho da estrutura, enquanto os limites observados delimitam a completude do catálogo.

Mapa 3d de Kapteyn

Kapteyn mapeou o brilho das estrelas no céu e reconstruiu sua distribuição 3D com a hipótese de que quanto + fraco + longe. Resultado concordava com Hershell: Um universo achatado e (quase) HELIOCÊNTRICO!!.

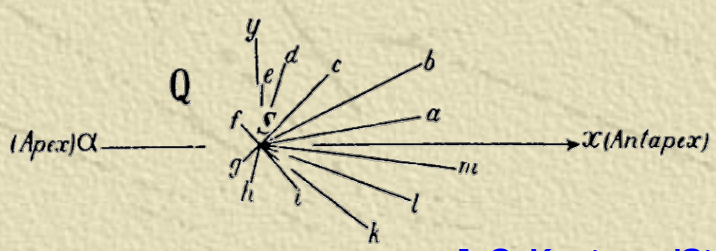
Usa a fotografia para fazer contagens de estrelas e medidas de paralaxe para estimar o tamanho da Galáxia (não considera a absorção da luz estelar)





O universo de Kapteyn (1922): tipo uma lente, com ~10 kpc de diâmetro, 2 kpc de espessura

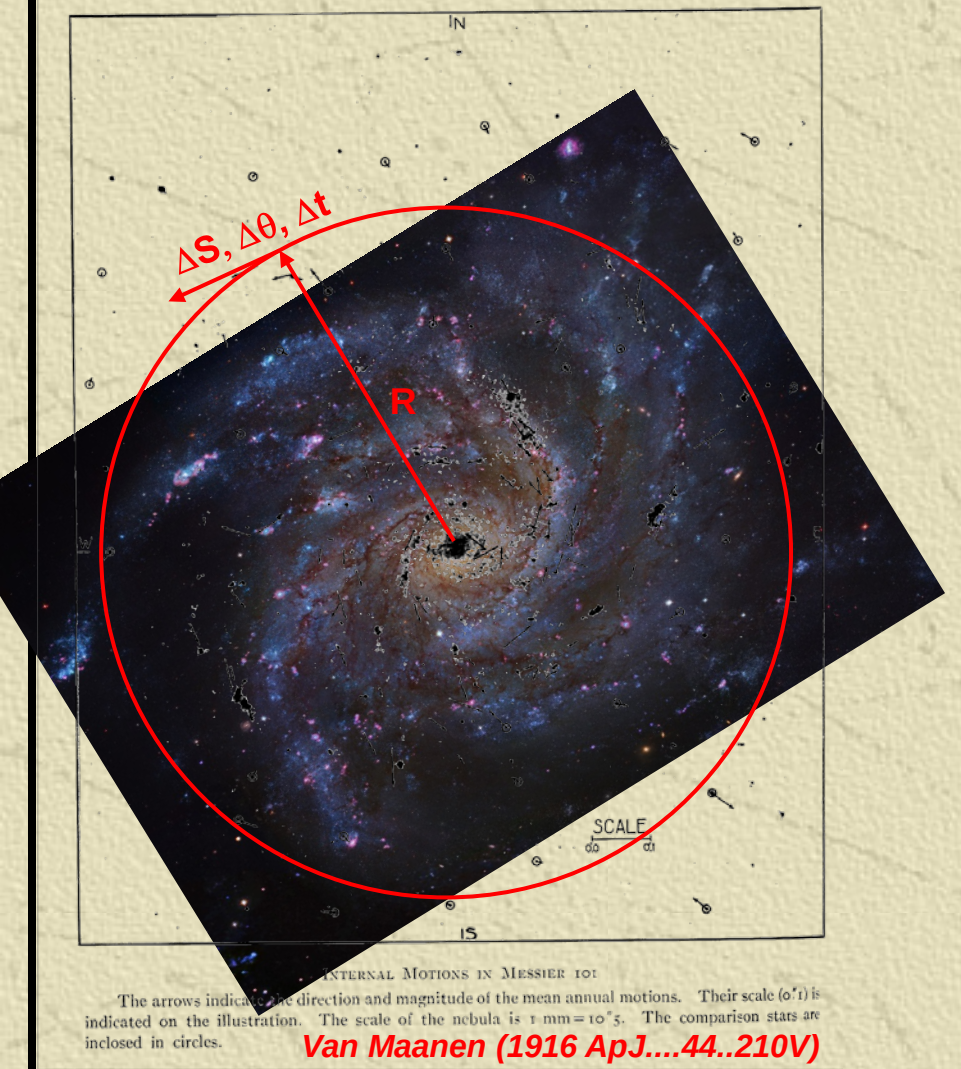
Descobre a primeira evidência da rotação galáctica: medindo a paralaxe verifica que o movimento das estrelas próximas é mais ou menos ordenado.



J. C. Kapteyn, 'Star-streaming', *Report of the British Associationfor the Advancement of Science,* section A, 1905: 257-65, p. 258.

Observações e Interpretações Erradas de Van Maanen

Mede a rotação de M101 via movimentos próprios (!!). Para isso compara medidas astrométricas. Conclui que M101 (e as demais nebulosas espirais) eram parte da Galáxia.



INTERNAL MOTIONS IN MESSIER 101

The arrows indicate the direction and magnitude of the mean annual motions. Their scale (0".1) is indicated on the illustration. The scale of the nebula is 1 mm = 10".5. The comparison stars are inclosed in circles.

Van Maanen (1916 ApJ....44..210V)

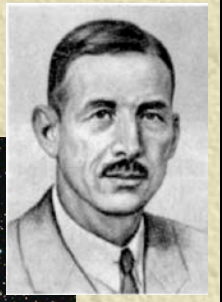
$$\left.\begin{aligned} \Delta S &= D \cdot \Delta\theta \\ v &= \frac{\Delta S}{\Delta t} \end{aligned}\right\} \quad v = \frac{D \cdot \Delta\theta}{\Delta t}$$

Se distância D fosse maior que as distâncias previstas por Kapteyn velocidade de rotação de objetos seria superior à da luz!!!

Van Maanen (1916)

Erro: Medidas erradas ao se comparar placas fotográficas de 10-20 anos antes de suas próprias observações. Tomou como referência estrelas muito próximas das bordas.

Classificação de Trumpler (1930)



	I	II	III	IV
r	NGC 6791	NGC 7789	NGC 6940	NGC 1817
m	NGC 436	NGC 7790	NGC 129	DoDz 9
p	NGC 7788	NGC 1807	NGC 7686	Stock 12

Efeito na Medida dos Diâmetros de Aglomerados Abertos

- **Robert Trumpler (1930) :**

Distância por tamanho angular. Deveria ser igual à distância pela fotometria

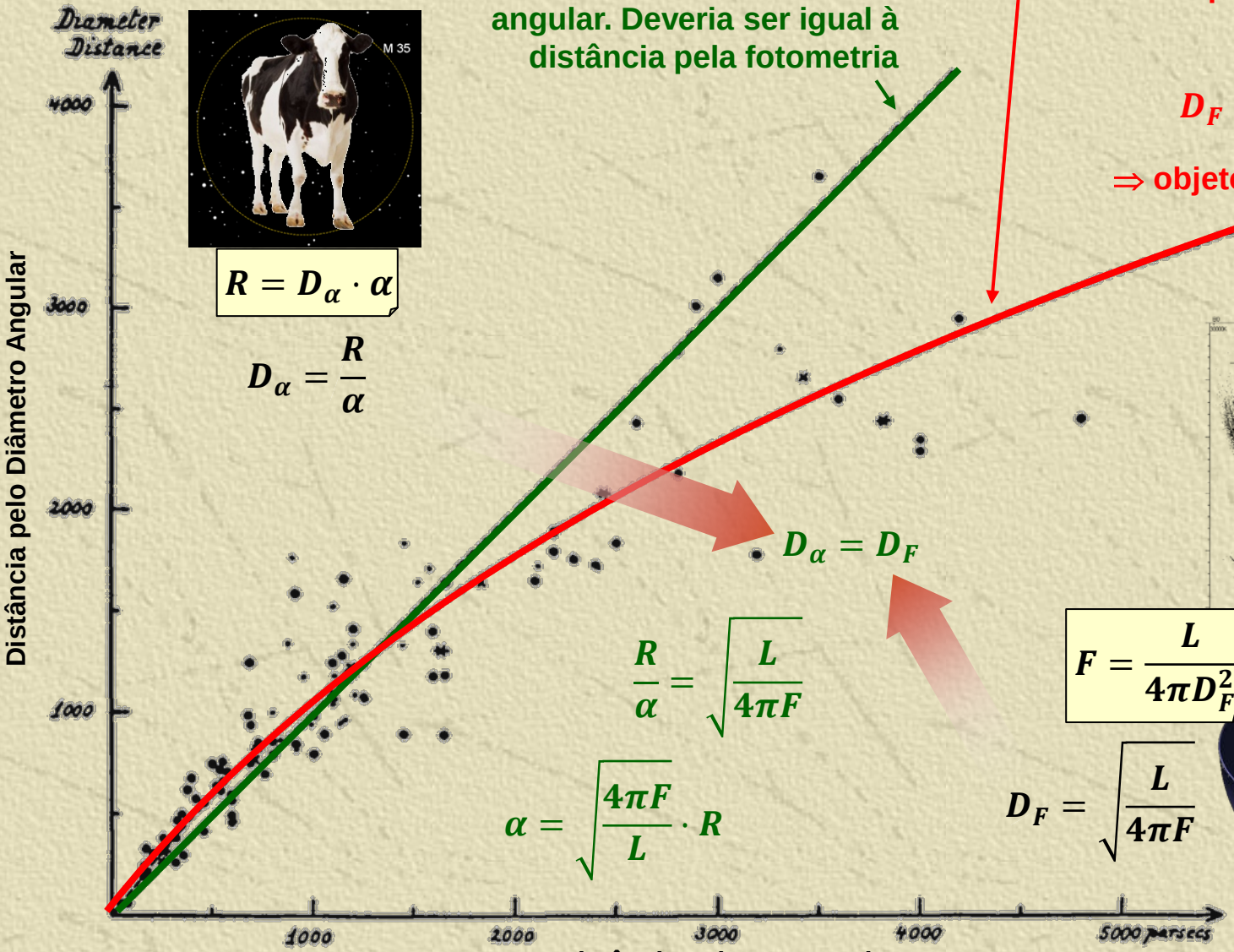
Distância obtida pela fotometria maior do que a distância por tamanho angular

$$D_F > \frac{R}{\alpha} = D_\alpha$$

$\Rightarrow$ objetos mais distantes eram maiores

$$R = D_\alpha \cdot \alpha$$

$$D_\alpha = \frac{R}{\alpha}$$



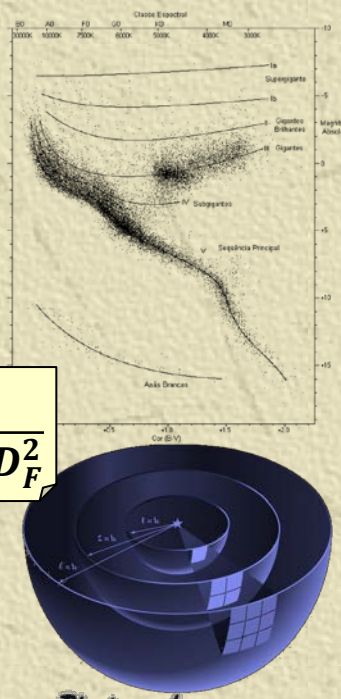
$$D_\alpha = D_F$$

$$\frac{R}{\alpha} = \sqrt{\frac{L}{4\pi F}}$$

$$F = \frac{L}{4\pi D_F^2}$$

$$\alpha = \sqrt{\frac{4\pi F}{L}} \cdot R$$

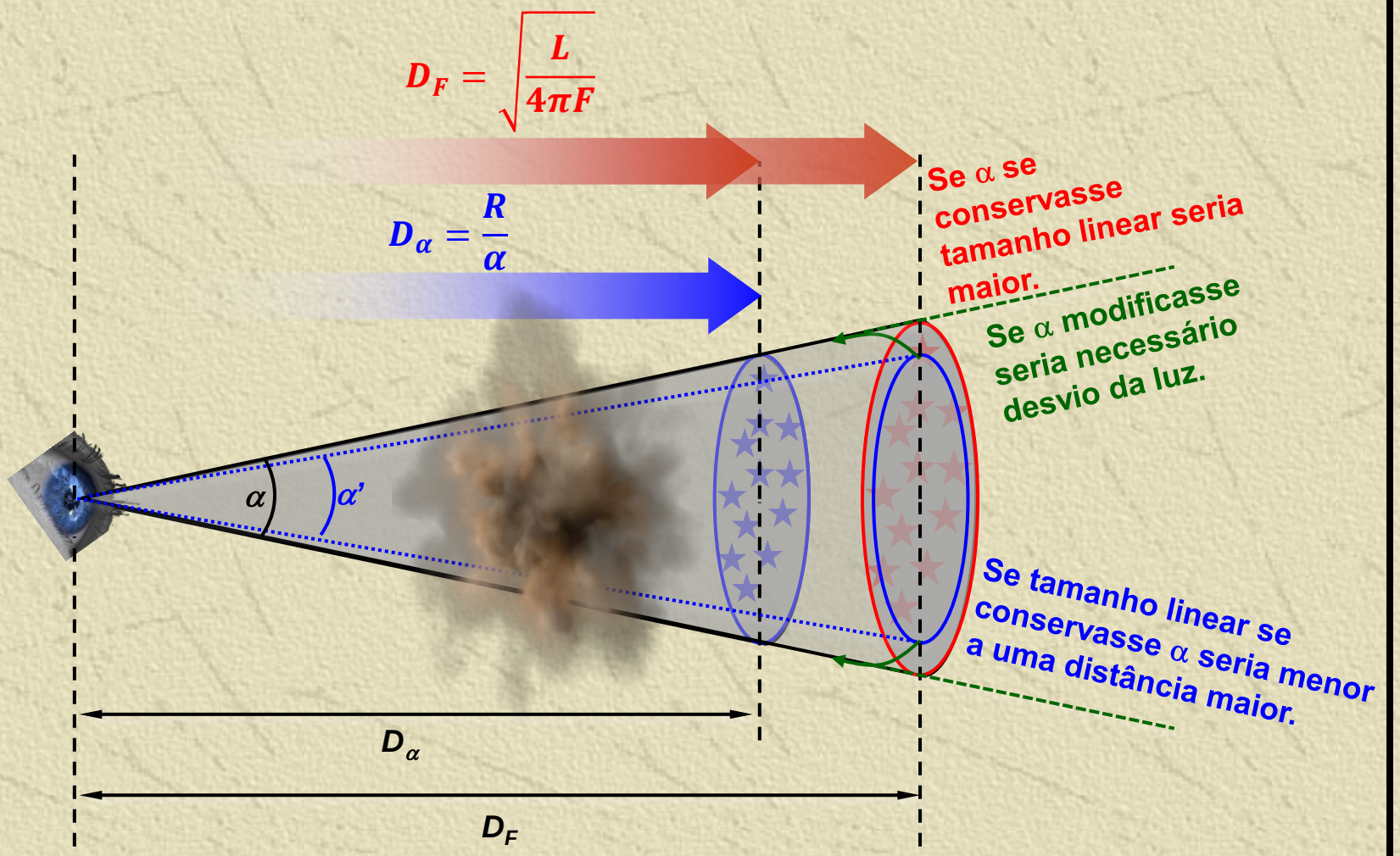
$$D_F = \sqrt{\frac{L}{4\pi F}}$$



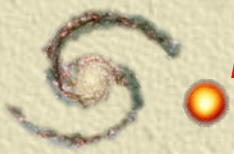
Trumpler, Publications of the Astronomical Society of the Pacific, 42, 214 (1930)

Extinção e Resolução do Paradoxo dos Aglomerados

Confiando na distância geométrica percebe-se que algo poderia estar afetando o fluxo medido das estrelas.



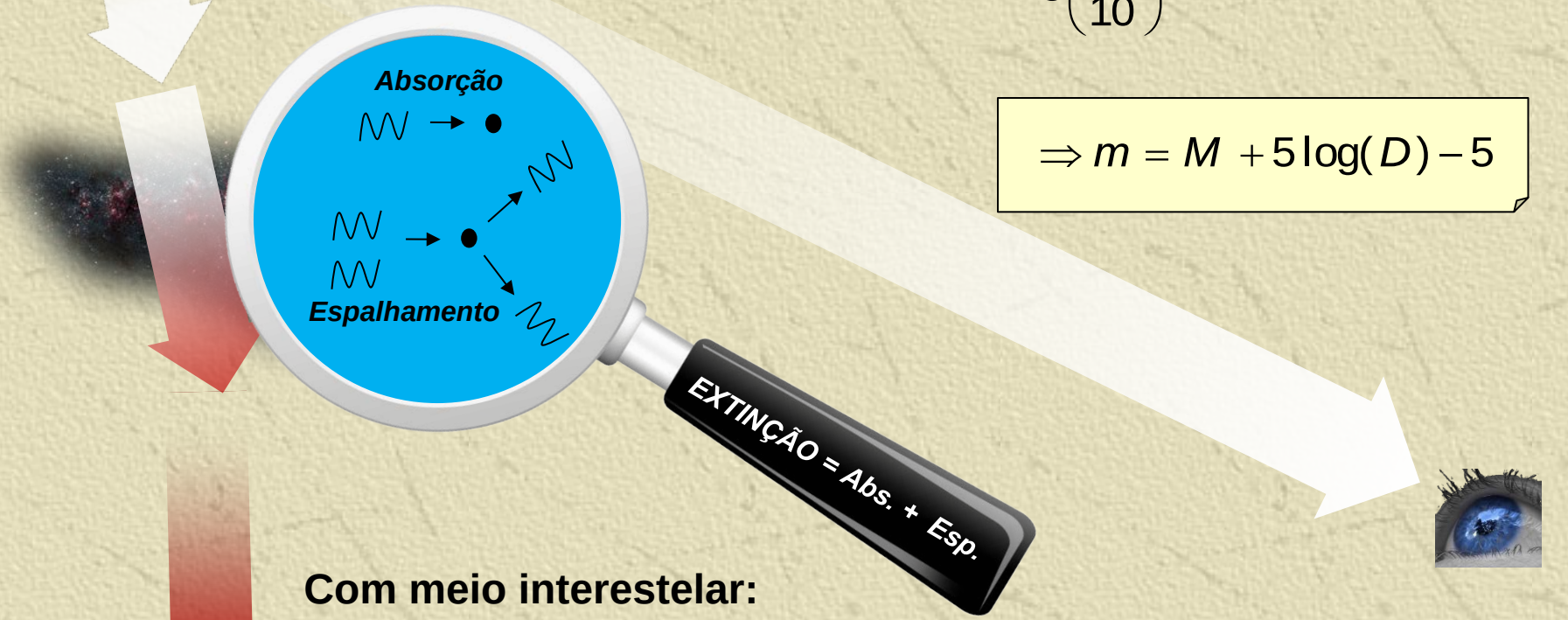
Extinção Interestelar em Termos Matemáticos



Fontes

Sem meio interestelar:

$$m - M = 5 \cdot \log\left(\frac{D}{10}\right)$$



$$\Rightarrow m = M + 5\log(D) - 5$$

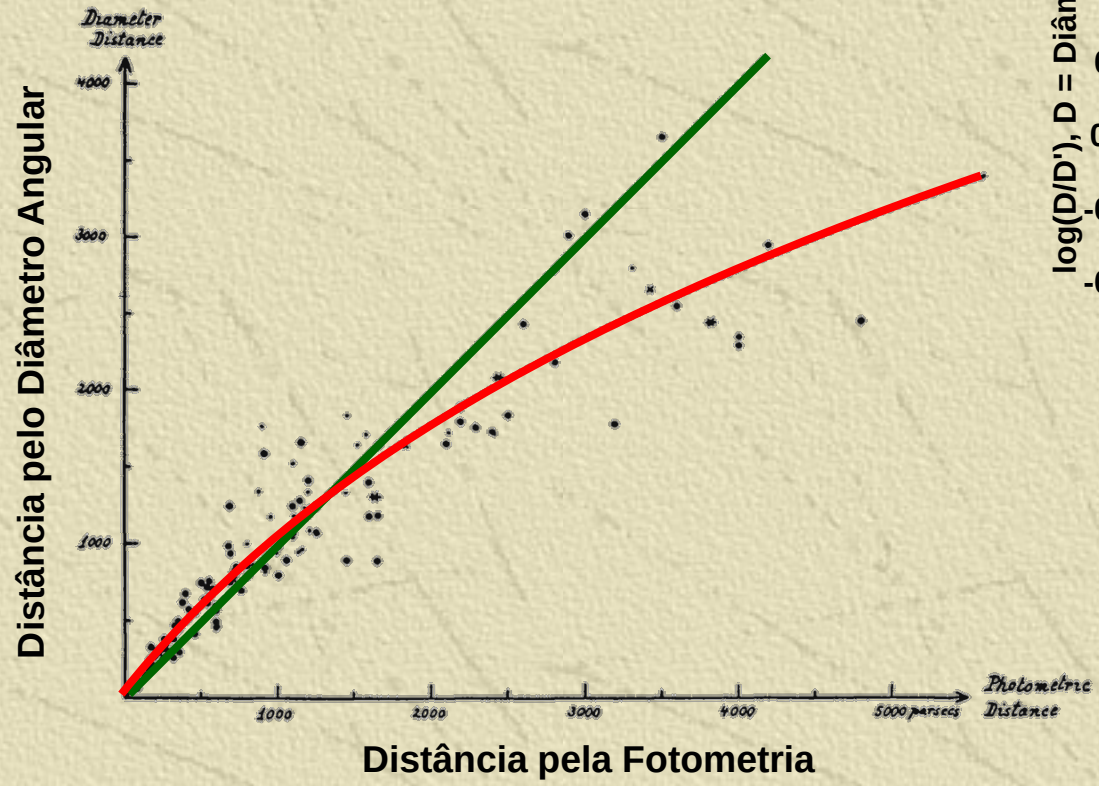
Com meio interestelar:

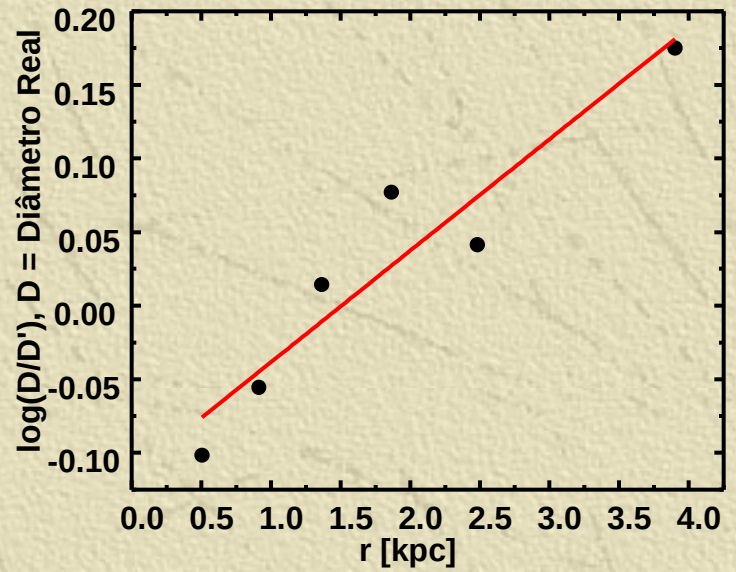
$$m = M + 5\log(D) - 5 + A$$

Extinção Interestelar (depende das bandas observadas)

Estimando a Extinção Por Meio dos Aglomerados

Pelas observações de Trumpler era possível estimar a extinção.





$$A_\lambda = a \cdot r$$

Trumpler obteve a = 0,79 mag/kpc.

Hoje sabemos que esse valor é aproximadamente 2 magnitudes/kpc, por ser dependente da profundidade óptica (que depende da distância) o valor depende da direção e observação.

Extinção Galáctica

Também conhecida como *extinção de "foreground"*. É uma consequência da luz não recebida em uma dada direção do céu seja pelo espalhamento, seja pela absorção.

No plano galáctico a extinção na banda visual é cerca de 1.8 mag/kpc.

(l,b) $E_{(B-V)} = f(l,b,d,\lambda) = g(l,b,d).h(\lambda)$

b

l

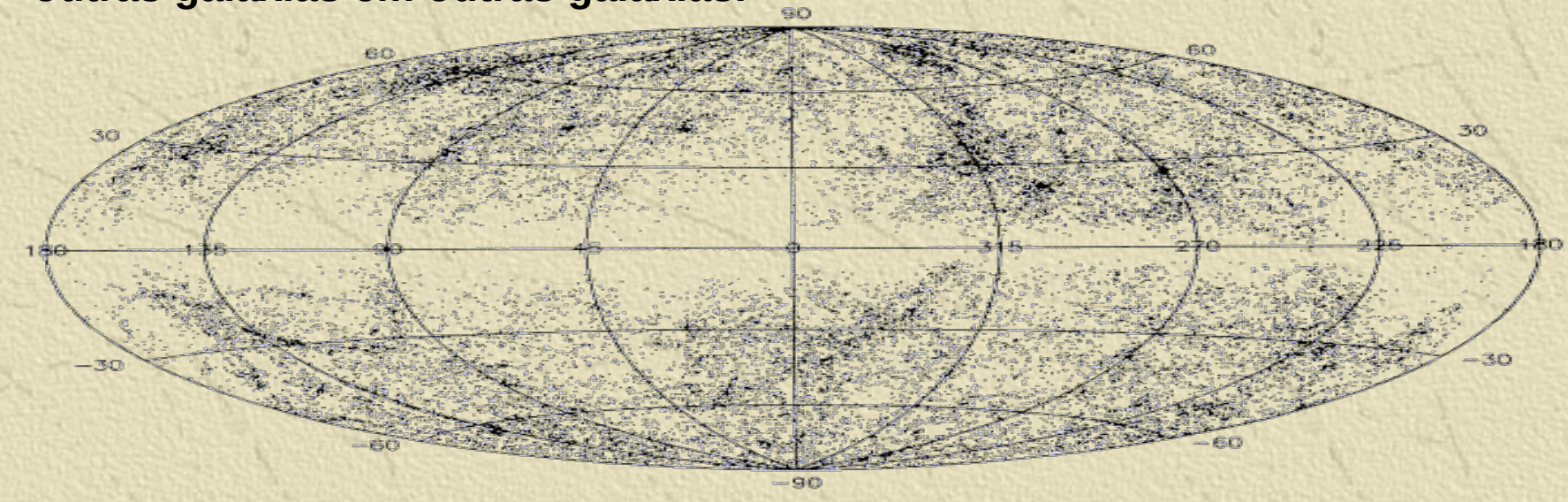
Amôres & Lépine (2005) ou Schlegel, Finkbeiner & Davis (1998) ou Burstein & Heiles (1982). (Para filtros Específicos)

Fitzpatrick & Massa (1990, 1999). (Para cada comprimento de Onda)

No centro galáctico pode ter extinção de 30 mag = passagem de 1 foton em 10^{12} no óptico

Extinção Galáctica em Analogia com Outras Galáxias

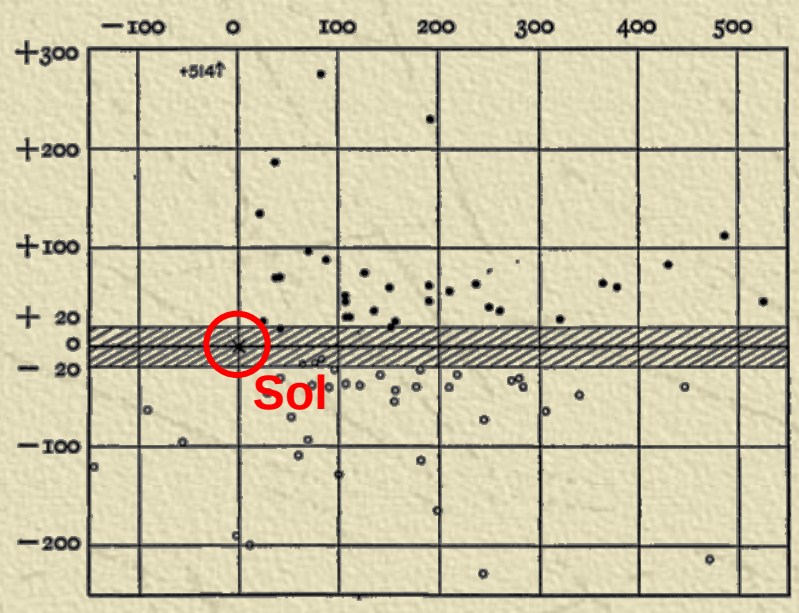
Zona de "evitabilidade" passa a ser compreendida como o efeito da extinção da nossa própria galáxia, permitindo paralelos dos efeitos em outras galáxias em outras galáxias.

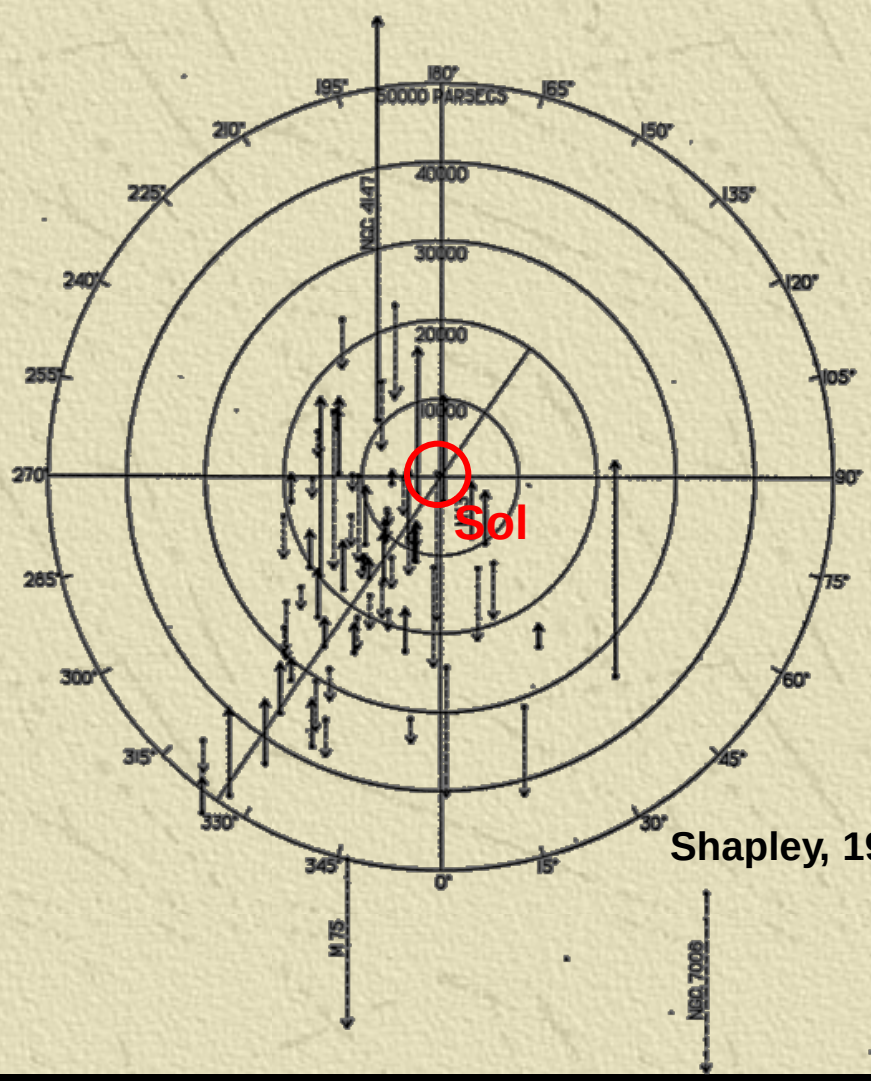


A Contribuição de Shapley

Shapley mapeou a distribuição 3D de aglomerados globulares no céu. Ele conhecia a distância a esses objetos (usando a relação P-L de Cefeidas...) Resultado: Uma distribuição isotrópica, centrada a ~10 kpc do sol!

Shapley, 1917

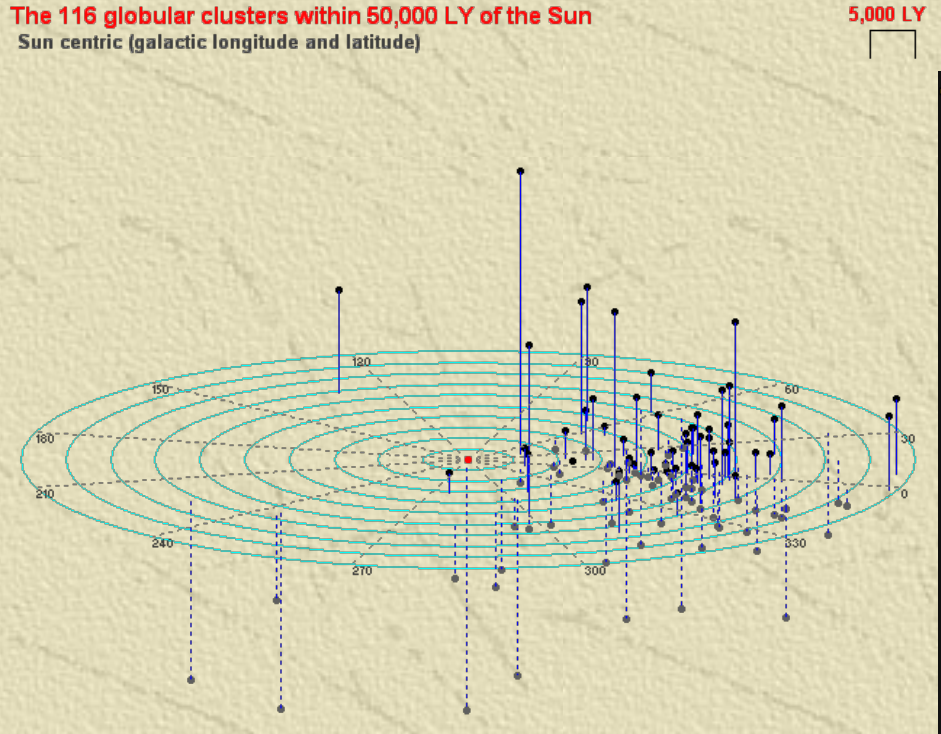


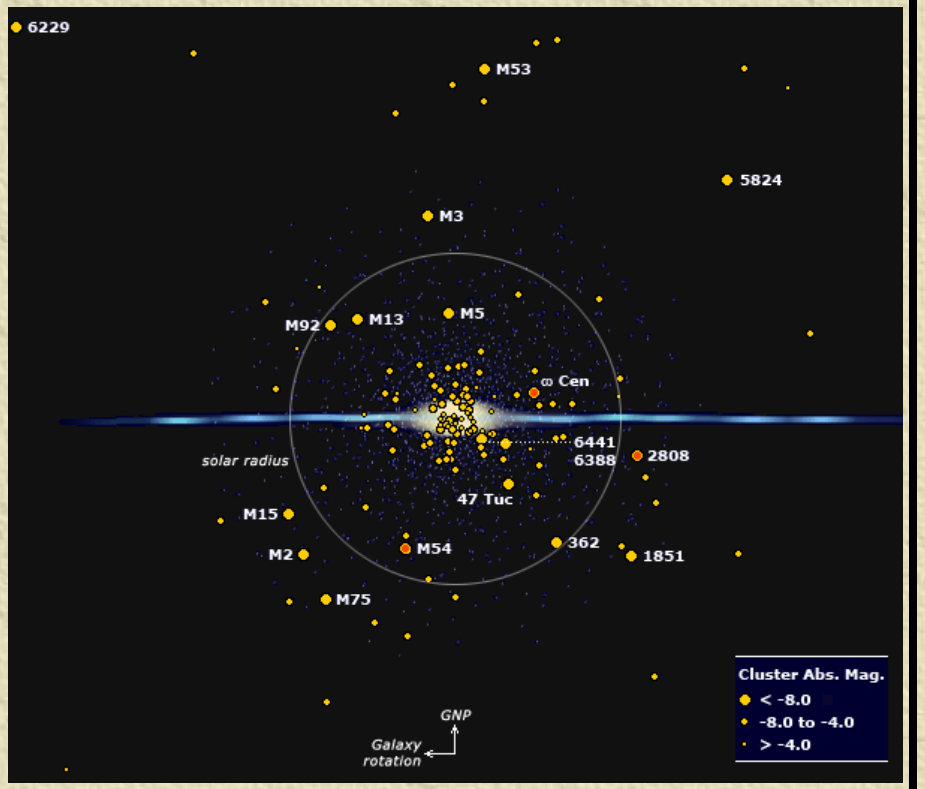


Shapley, 1919

Distribuição de Aglomerados Globulares na Galáxia

Verificou que sua distribuição no céu é assimétrica. Conclui que, se eles estiverem distribuídos isotropicamente em torno da Galáxia, o Sol não poderia estar no centro. Assim a Galáxia passaria a ser 5x maior que a de Kaptyn e seu centro 10kpc do do Sol. Ausência de Aglomerados Globulares no plano da Galáxia seria efeito de extinção (zona de evitação)



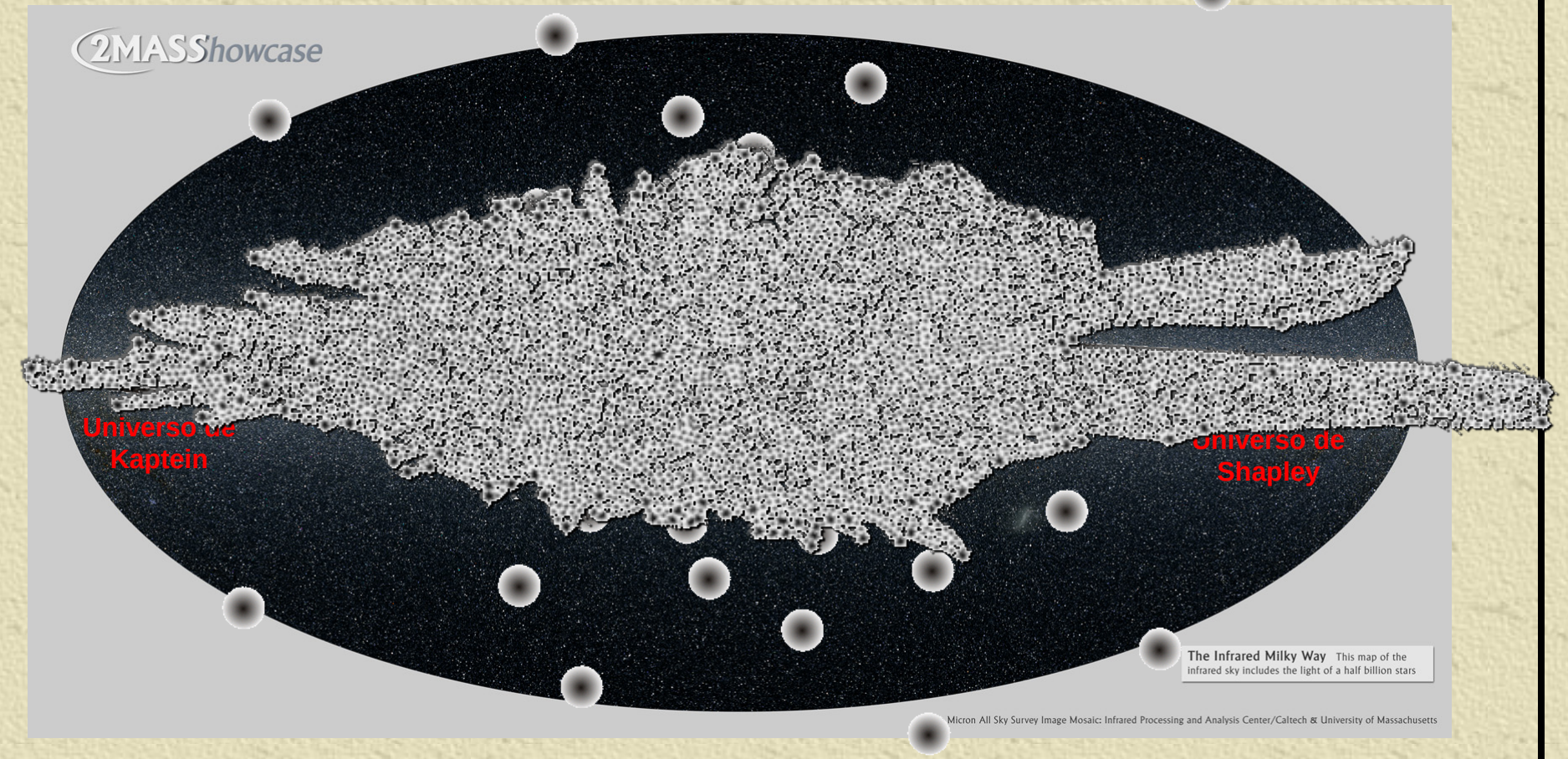


Data from William E. Harris, McMaster University
http://www.physics.mcmaster.ca/Globular.html

3D Diagram by Larry McNish

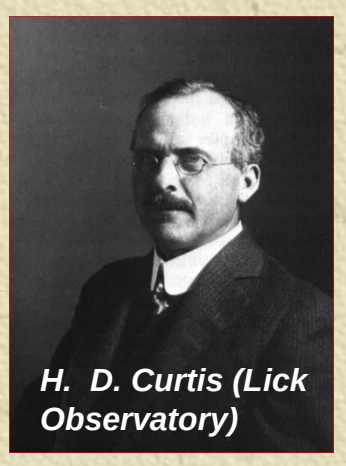
Universo de Shapley

Com medidas de distâncias de aglomerados globulares foi possível verificar que o Sol não estava no centro da Galáxia.

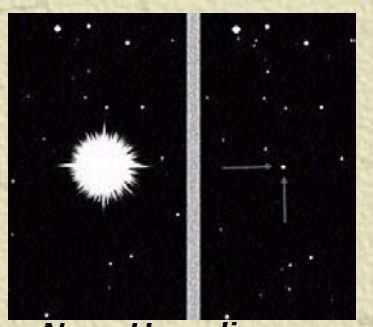


A Contribuição de Curtis

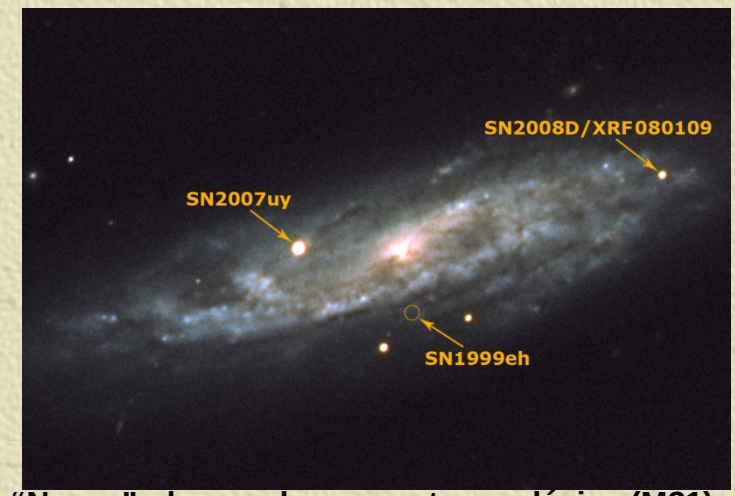
Observa novas em galáxias espirais. Conclui que elas estão umas 100 vezes mais longe que as observadas na Galáxia. Na verdade eram supernovas.



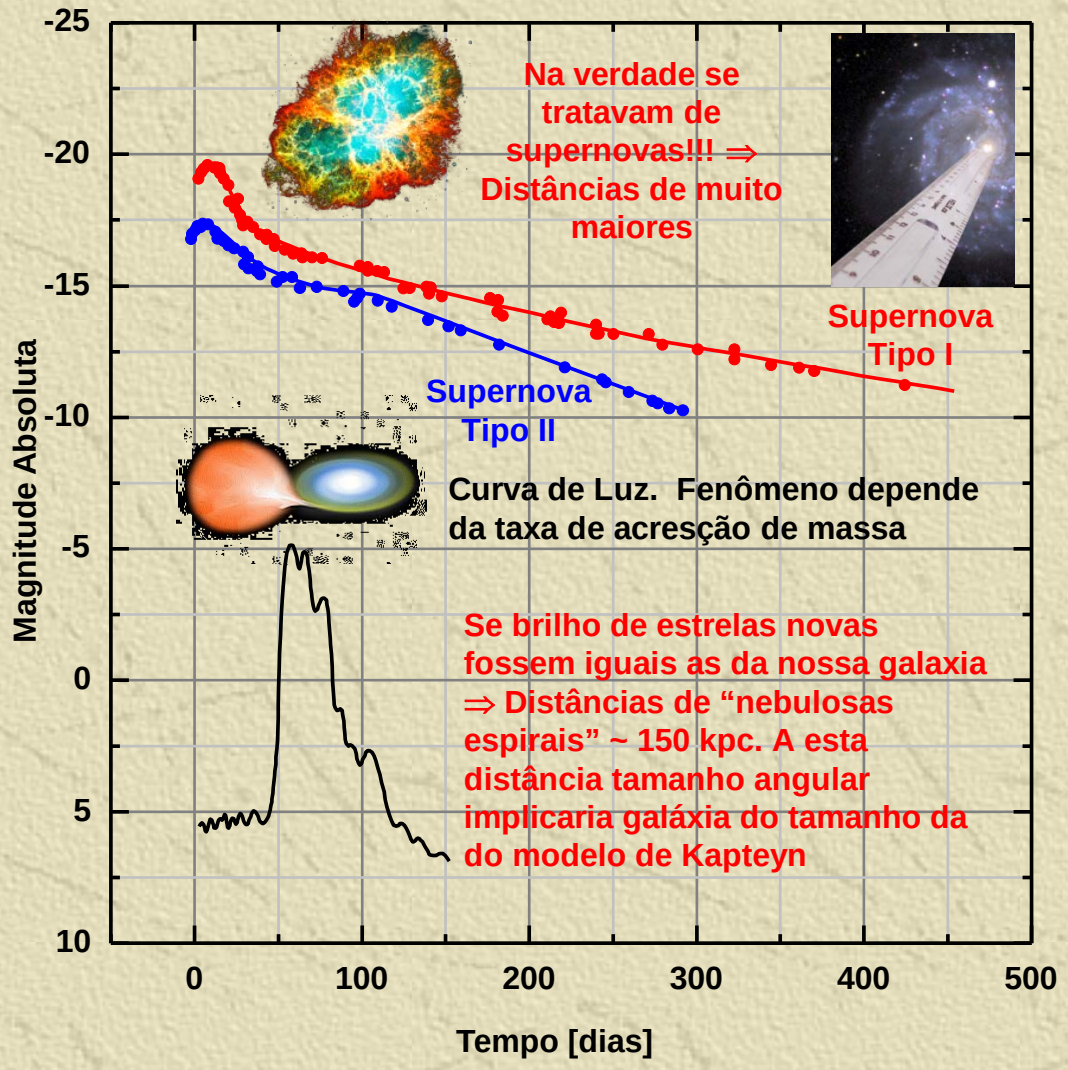
H. D. Curtis (Lick Observatory)



Nova Herculis na nossa galáxia



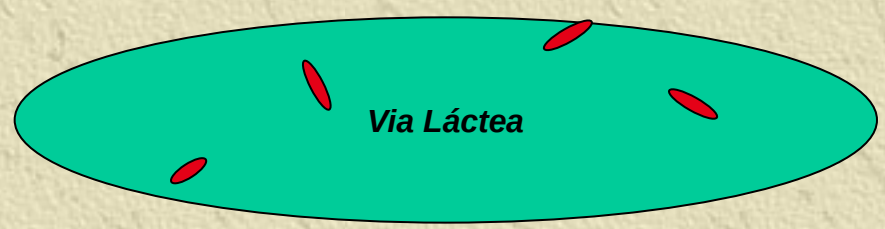
“Novas” observadas em outras galáxias (M31).

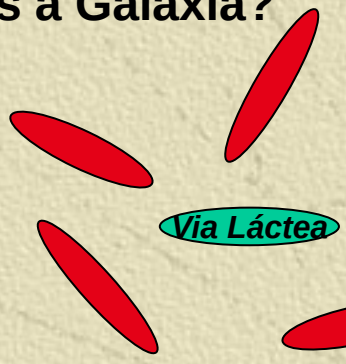


O Grande Debate entre Shapley-Curtis (1920)

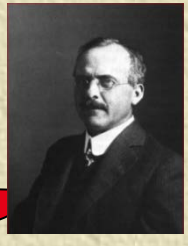
Eram as “nebulosas espirais” internas ou externas à Galáxia?

Shapley





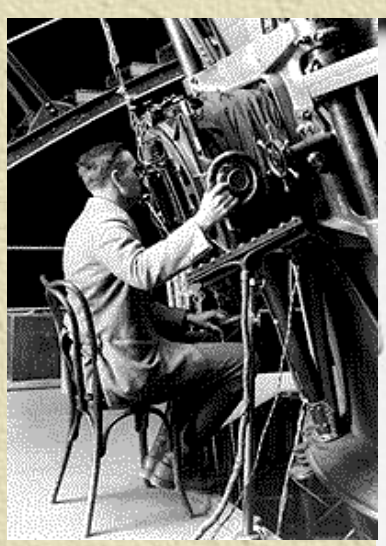
Curtis



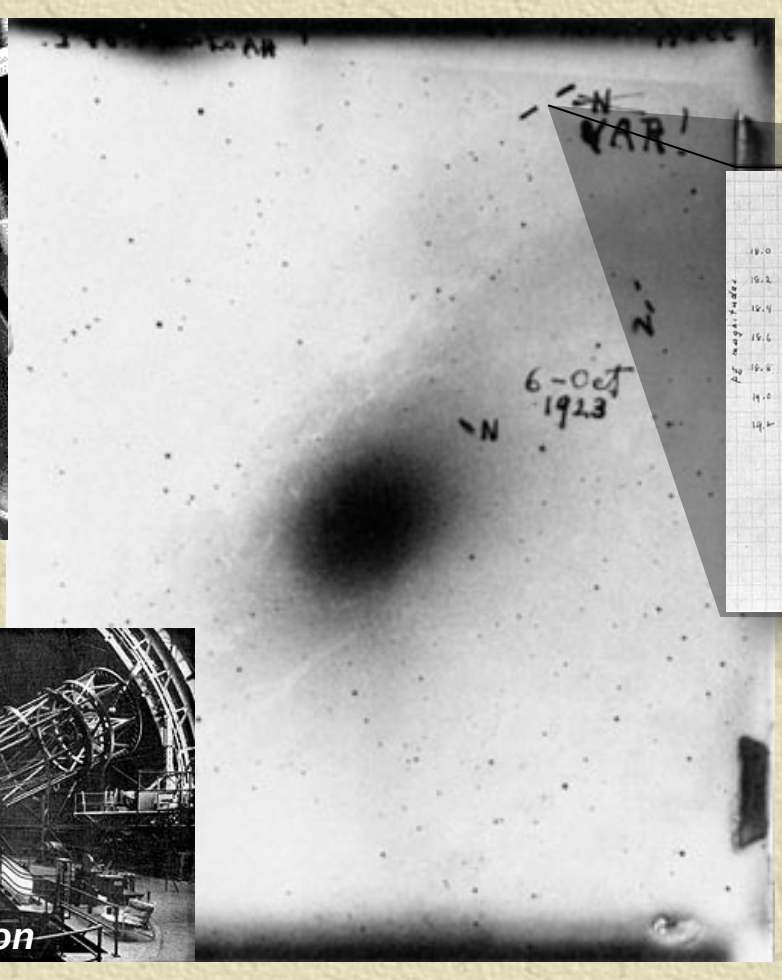
Objeto	Shapley	Curtis
Galáxia	Shapley (~100kpc por Aglomerados Globulares).	Kapteyn (~10kpc por contagem de estrelas)
Nebulosas espirais	Dentro da galáxia. 1-) Se M31 fosse tão grande que Via Lactea, seu tamanho angular (3º x 1º) implicaria em brilho de estrelas Novas muito maior que em nossa Galáxia. 2-) Via-Lactea teria menor bilho superficial e seria mais vermelha que outras nebulosas espirais; 3-) rotação de van Maneen (0.02”/ano por movimento próprio) $\Rightarrow$ v > c, ou no mínimo $v_{externa} >> v_{externa\ Via\ Láctea}$	Fora da galáxia. 1-) Estrelas novas em nebulosas espirais $\Rightarrow$ distancias ~150 kpc para ter bilho observado em nossa Galáxia. A essa distância M31 teria tamanho do modelo de Kapteyn. 2-) Velocidades radiais observadas por Slipher $\Rightarrow$ nebulosas não gravitacionalmente ligadas ao modelo de Kapteyn. 3-) Considerando a mesma velocidade na direção transversal, seria possível medir movimentos próprios. 4-) Nossa galáxia com mesma faixa escura observada em galáxias edge-on, o que explicaria a zona de evitabilidade de “nebulosas” espirais.

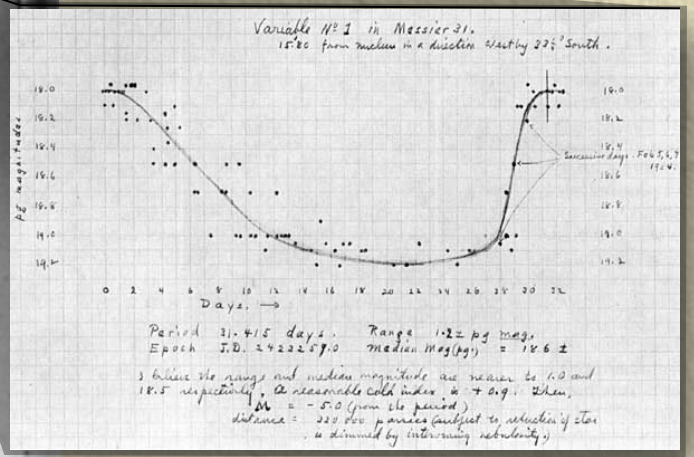
Hubble Descobre Cefeidas em M31

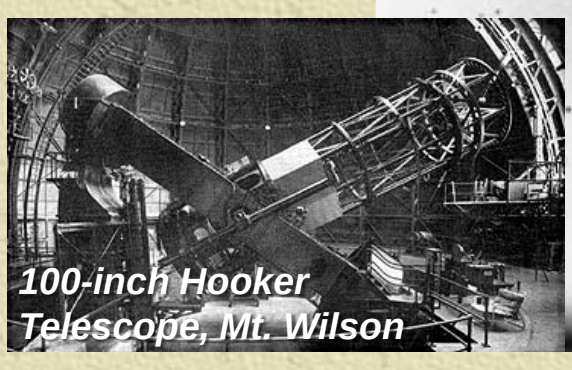
Em 1923 Hubble detectou cefeidas em M31 e calculou distancias muito superiores ao tamanho ao estimados para nossa galáxia. Depois fez trabalhos equivalentes para M33 e NGC6822. Surge a Astronomia Extragaláctica.



Edwin Hubble (1923)







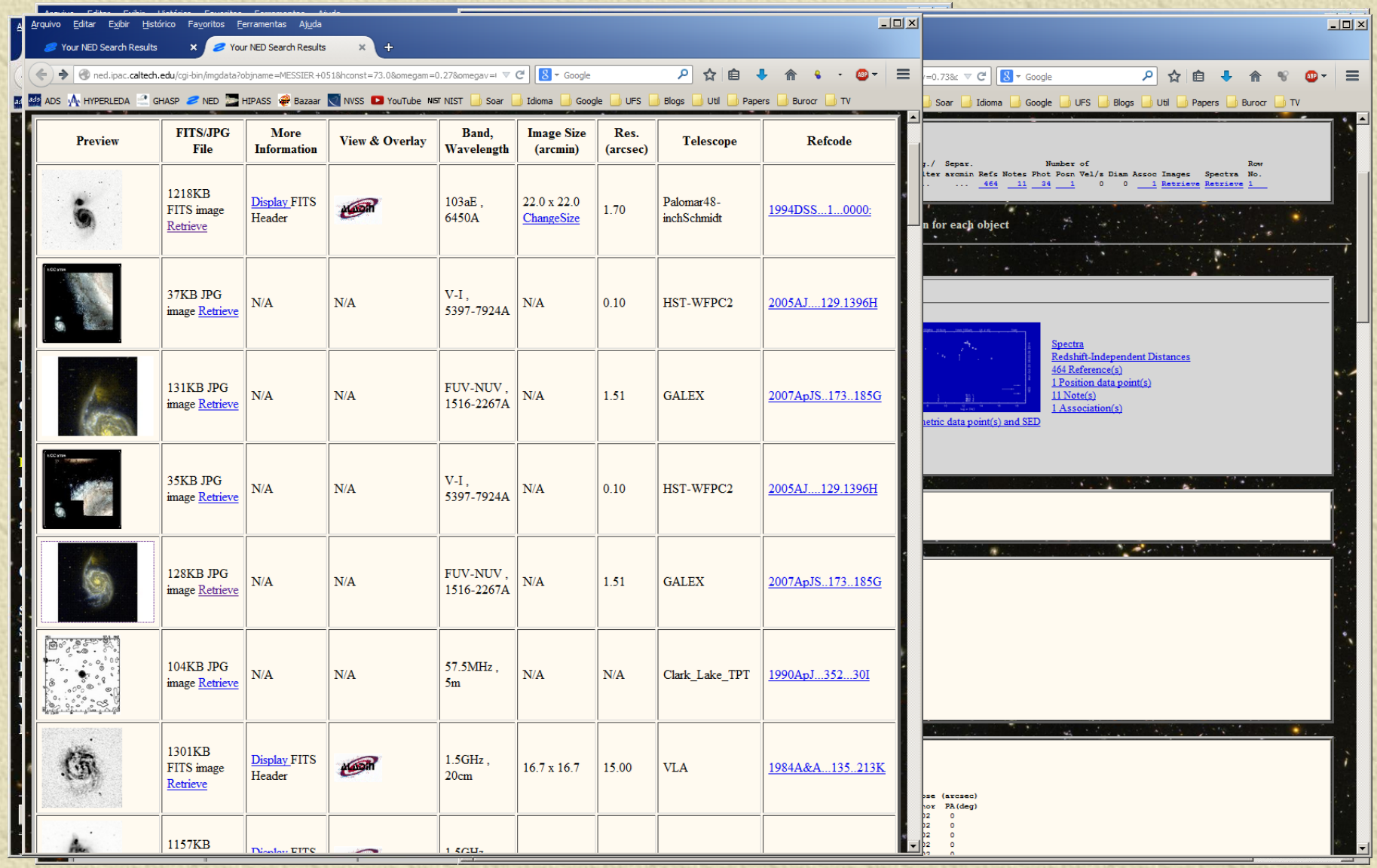
D_{M31} = 300.000 pc

>

$D_{via\ Láctea}$ = 15.000 pc

Usando o NED

NED = NASA/IPAC Extragalactic Database. http://ned.ipac.caltech.edu.



Preview	FITS/JPG File	More Information	View & Overlay	Band, Wavelength	Image Size (arcmin)	Res. (arcsec)	Telescope	Refcode
	1218KB FITS image Retrieve	Display FITS Header		103aE , 6450A	22.0 x 22.0 ChangeSize	1.70	Palomar48-inchSchmidt	1994DSS...1...0000:
	37KB JPG image Retrieve	N/A	N/A	V-I , 5397-7924A	N/A	0.10	HST-WFPC2	2005AJ....129.1396H
	131KB JPG image Retrieve	N/A	N/A	FUV-NUV , 1516-2267A	N/A	1.51	GALEX	2007ApJS..173..185G
	35KB JPG image Retrieve	N/A	N/A	V-I , 5397-7924A	N/A	0.10	HST-WFPC2	2005AJ....129.1396H
	128KB JPG image Retrieve	N/A	N/A	FUV-NUV , 1516-2267A	N/A	1.51	GALEX	2007ApJS..173..185G
	104KB JPG image Retrieve	N/A	N/A	57.5MHz , 5m	N/A	N/A	Clark_Lake_TPT	1990ApJ...352...30I
	1301KB FITS image Retrieve	Display FITS Header		1.5GHz , 20cm	16.7 x 16.7	15.00	VLA	1984A&A...135..213K
	1157KB	Display FITS		1.5GHz				

Nomes das Galáxias Segundo a IAU

Recomendações da União Astronômica Internacional:

1. General recommendations

All source listings should always contain positional information and/or a second designation next to a principal designation in order to avoid ambiguities that can arise with a single designation.

2. Case of existing designations

- When existing designations are used in listings, they **should never be altered** (e.g., neither truncated, nor rounded, nor shortened).
- In a publication, the bibliographical reference for the designation should be given.

3. Creation of new designations

The *designation* of an astronomical source should consist of the following parts :

Acronym ^ Sequence ^ (Specifier)

Note that the ^ is used here to denote a blank. It is used for emphasis in showing where spaces occur in a designation. (Users are expected to use an actual blank and not this character.) Parentheses are required if a specifier is included. Acronym and sequence are essential, specifier is optional; the number of blanks may be larger in machine-readable files to right justify numerical or tabular data.

Galáxia = nossa galáxia

galáxia = outras galáxias

- **Algumas galáxias têm nome próprio: Via Láctea, Andrômeda, Rodamoinho, ...**
- **Outras têm nomes associados a catálogos: Andrômeda = M 31 = NGC 0224 = Holm 017A ...**
- **Outras têm nomes associados à sua posição: 0818+7111 é uma galáxia satélite de M 81 que fica em RA(1950)=08:18 e DEC(1950)=+71:11**

Exemplos: Assumindo "^" ser um espaço.

NGC^205
PKS^1817-43
CO^J0326.0+3041.0
H2O^G123.4+57.6^ (VLSR=-185)
3C^196

Exercícios

- **1. Um objeto tem coordenadas RA=18:11:33 e DEC=-27:38:20. Qual é o valor dessas coordenadas em graus?**
- **2. Use o NED para obter, para a galáxia M32, a) suas coordenadas equatoriais em graus (J2000); b) suas coordenadas galácticas; c) sua velocidade radial.**
- **3. Quais são as coordenadas equatoriais do Polo Galáctico Sul? Em que constelação ele fica ?**
- **4. Use a ferramenta Explorer, do site SkyView do SDSS, para obter uma imagem de um dos satélites de M81 denominado Holmberg IX (use o NED para obter as coordenadas desse objeto).**