

Indicadores de distancia extragalácticos e lei de Hubble

Capítulo 3

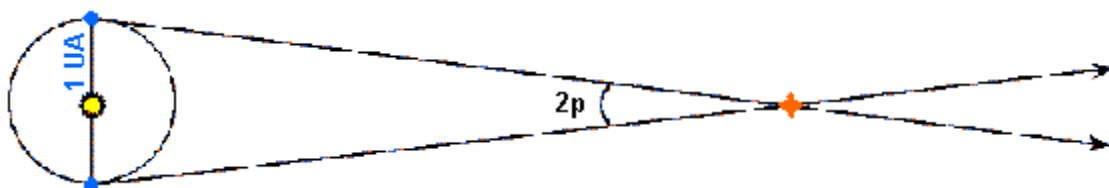
3.1.1 Indicadores de Distancia:

A determinação de distancia as galáxias é um problema que ainda esta em aberto e de sua solução dependem parâmetros importantes como a calibração da constante de Hubble e, portanto das constantes cosmológicas. A escala de distancia extragaláctica estabelece uma serie de etapas cada um deles factíveis de ter erros que podem influenciar diretamente nas outras. Características tais como: brilho, velocidade, período de variabilidade etc, de uma classe de objetos astronômicos que sejam facilmente medidas com pequeno desvio estatístico, são selecionados como indicadores de distancia. Os indicadores de distancia podem ser primários ou secundários, os últimos precisam dos primeiros para ser calibrados.

3.1.2 Indicadores de distancia primários.

Paralaxe trigonométrica.

O método mais antigo de determinação de distancia e' o método das paralaxes trigonométricas. As estrelas próximas sofrem um deslocamento angular (θ) respeito das estrelas mais distantes quando são observadas com um intervalo de tempo de um ano, como ilustra a figura 2.1. Definimos como unidade de distancia de 1 parsec a estrela cujo deslocamento angular no céu corresponde a 1 segundo de arco.



Um cálculo simples demonstra que a paralaxe trigonométrica pode ser utilizada para estrelas distantes até 500 parsecs que correspondem ao limite de resolução das observações de paralaxe do satélite Hipparcos, que é de 0.002 “

Paralaxe Cinemática

As estrelas dos aglomerados abertos próximos, participam do movimento de rotação diferencial do plano Galáctico, estas estrelas, movem-se na mesma direção e seus movimentos convergem em um ponto chamado de Apex. Medindo a velocidade das estrelas do aglomerado em dois períodos diferentes pode-se determinar sua distância mediante a relação entre a componente tangencial da velocidade circular da estrela e o movimento próprio.

$$\text{tg} \alpha = \mu d / V_t$$

μ = movimento próprio da estrela; V_t componente tangencial da velocidade circular da estrela

$\text{tg} \alpha$ = ângulo formado pela posição aparente da estrela no céu durante duas observações sucessivas. Desta forma foi determinada a distância às Hyades em 46 parsecs.

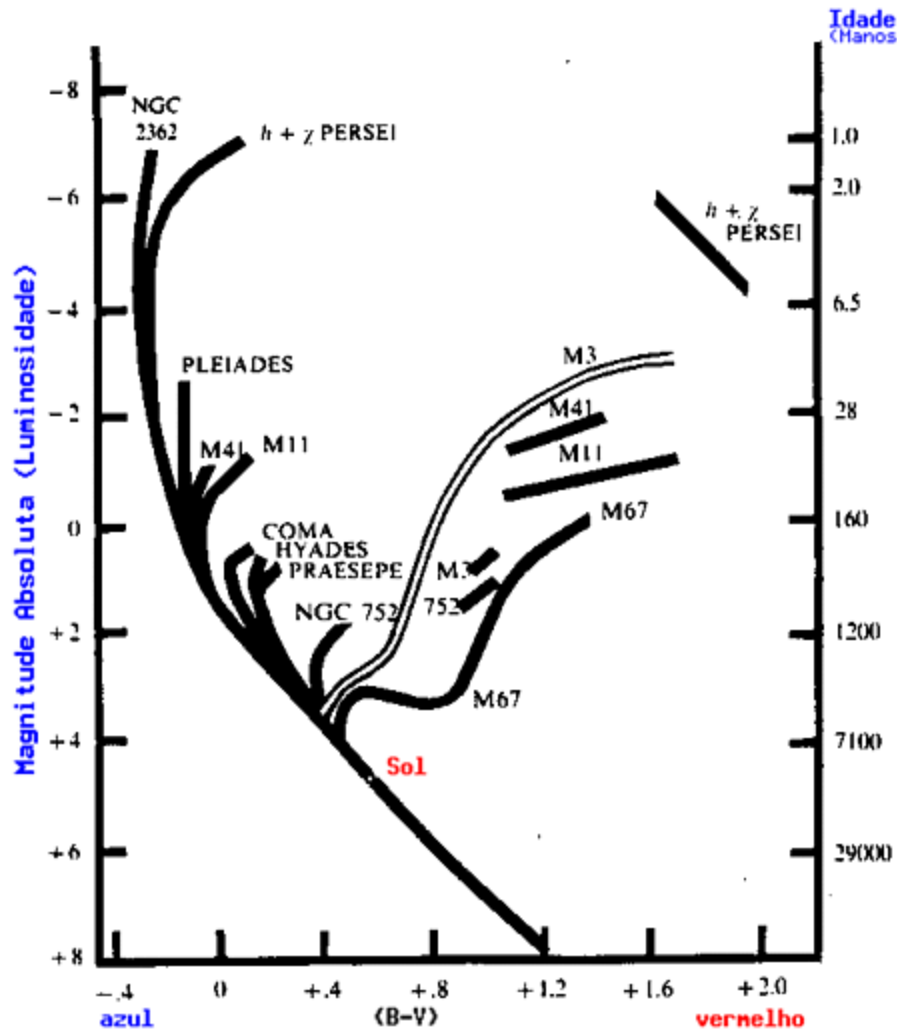
Método do ajuste da seqüência principal do diagrama HR

Utilizando as Hyades como base, adotamos a hipótese de que todas as estrelas da seqüência principal, de todos os aglomerados galácticos da galáxia tem a mesma magnitude absoluta M_v que as estrelas das Hyades portanto a distância de um aglomerado pode ser determinada como:

$$V - M_v = -5 + 5 \log d(\text{parsec})$$

Atualmente podemos estender este método a todos os aglomerados abertos das galáxias próximas, para os quais é possível resolver as estrelas e observar seu diagrama

Color-magnitude .



Métodos fotométricos

Variáveis Cefeidas

Este método utiliza propriedades fotométricas de estrelas cuja magnitude absoluta está correlacionada com o período de variação de luz. Este é o caso de estrelas Cefeidas para as quais foi determinado uma relação entre o período de variabilidade de luz e sua magnitude absoluta:

$$M = a + b \log P$$

$$M_v = -3.425 \log P + 2.52(B-V) - 2.459$$

$$M_b = -3.425 \log P + 3.52(B-V) - 2.459$$

A determinação de distância de Andrômeda e de várias galáxias do Grupo local foram realizadas mediante observações de estrelas Cefeidas. Hubble em 1930 utilizando observações de estrelas Cefeidas para determinar a distância de galáxias próximas

demonstrou a expansão do Universo , as galáxias afastam-se umas das outras com velocidade radial proporcional a sua distancia

$$V_r = H d$$

Outras estrelas variáveis, podem ser utilizadas como indicadores de distancia fotométricos :

RR Lyrae - Estas estrelas de população II observada nos aglomerados globulares são utilizadas como indicadores de distancia porem tem a relação período – luminosidade tem uma dispersão grande, portanto o erro na determinação de distancia utilizando estas estrelas é maior que aquele determinado com as Cefeidas

Novas Existe correlação entre a magnitude absoluta das Novas e a forma do enfraquecimento da luz da estrela após o máximo de luz. Estas estrelas atingem uma magnitude absoluta $M_v = -8.0$, portanto observando estas estrelas podemos determinar a distancia para aproximadamente 12 galáxias próximas.

Gigantes Vermelhas

As estrelas Gigantes vermelhas tem $M_v = -3.3$ e podem ser detectadas atualmente com grandes telescópios ate distancias nas quais são observadas com $V = +22$

Supernovas

Ver artigos ()

3.1.3 Indicadores de Distancia Secundários

Estos indicadores são chamados de secundários ou terciários porque são calibrados respeito aos outros indicadores. Em esta categoria estão os diâmetros das regiões HII em galáxias espirais, diagramas HR de aglomerados abertas e globulares.

3.1.4 Métodos Recentes

Relação Tully-Fischer

O estudo da curva de rotação das galáxias espirais realizados com observações de rádio em 21 cm, de uma amostra cuja distância é conhecida, mostrou que existe uma relação entre a largura da linha de 21 cm emitida pelo Hidrogênio neutro da galáxia e sua luminosidade intrínseca . Esta relação empírica é chamada relação de Tully-Fischer e pode ser expressa como:

$$L = k \Delta V^\alpha \quad k = \text{cte de proporcionalidade e } \alpha \sim 4$$

Este método foi estendido ao infravermelho para minimizar o efeito de extinção interestelar. Observações realizadas para 11 aglomerados de galáxias da uma excelente correlação como a ilustrada na figura 3.X

Relação Faber-Jackson

Esta relação estabelece a proporcionalidade entre a luminosidade da galáxia e a dispersão de velocidade das estrelas da região central das galáxias elípticas. A dispersão de velocidade deve ser medida a 1.6 kpc do centro da galáxia.

$$L = k' \Delta\sigma^\beta \quad k' = \text{constante} \quad 3 < \beta < 4$$

Estes dois últimos métodos permitem determinar a magnitude absoluta de qualquer galáxia uma vez medida a rotação ΔV ou dispersão de velocidades $\Delta\sigma$. Medida a magnitude aparente m da galáxia podemos determinar a distância

Mediante a relação:

$$m - M = -5 + 5 \log d + A_\lambda \quad A_\lambda \text{ (extinção interestelar)}$$

Lei de Hubble

Com observações realizadas com o telescópio de Mount Wilson em 1930 Hubble demonstrou que a velocidade de recessão das galáxias medida pelo deslocamento Doppler das linhas espectrais das galáxias, esta correlacionada com a distância da galáxia:

$$V = (\lambda - \lambda_0)c / \lambda_0 \quad V = H_0 d$$

H_0 é a constante de Hubble que é independente da direção no céu. Esta lei sugere que existe uma expansão isotrópica do Universo.

Esta relação é muito valiosa porque permite determinar a distância a partir de um simples espectro de uma galáxia, porém o problema reside na determinação de $H_0 =$

$H_0 = h \cdot 100 \text{ km/s Mpc}$ o parâmetro $0.5 < h < 1$

Relação Sunayev-Zeldovich

Observações com satélites detectaram emissão de raios X em aglomerados de galáxias proveniente de um gás intergaláctico muito quente ($T = 10^8 \text{ K}$). Os elétrons deste plasma de densidade N_e podem difundir fótons de baixa energia (efeito Thompson) a seção

eficaz da interação é: $\sigma = (8\pi/3)(e^2/m_e c^2)^2$

A espessura ótica que gera este gás dentro do aglomerado: $\tau = \int \sigma N_e dl$

$$N_e = 10^{-3} \text{ cm}^{-3}, \quad l = 1 \text{ Mpc} \quad \tau = 10^{-(2-3)}$$

Portanto uma fração de fótons de uma radio fonte localizada atrás do aglomerado e que passam através do mesmo, sofrem o efeito da difusão pelos elétrons do gás quente do aglomerado.

Esta possível fonte pode ser a radiação de fundo de 3K na direção do aglomerado. O espectro de corpo negro de 3 K vai ser modificado em um ΔT esta variação e o efeito Sunayev-Zeldovich:

$$\Delta T/T = - \int 2kT_e/m_e c^2 dt \quad (h\nu \ll kT_e)$$

resultado mostrado na figura 3.X

A combinação das características da emissão em raios X do aglomerado com a medida de $\Delta T/T$ permite determinar a distancia ao aglomerado:

A luminosidade X de uma esfera de gás de raio R, de densidade Ne e temperatura Te e dada pela formula $L_x = Ne^2 Te^{1/2} R^3$ $\Delta T/T = - (4kT_e/m_e c^2) \sigma Ne R$

O fluxo observado $F_x = L_x / D^2 = Ne^2 Te^{1/2} O^3$ O (diâmetro angular da fonte) = R/D

$$F_x = (\Delta T/T)^2 / O/T^{3/2} D$$

Medidas de $\Delta T/T$, F_x e T_e permitem determinar distancia e realizar uma determinação indireta da constante de Hubble H_0 . e comparar com valores determinados a partir da velocidade de recessão do aglomerado.

FIM