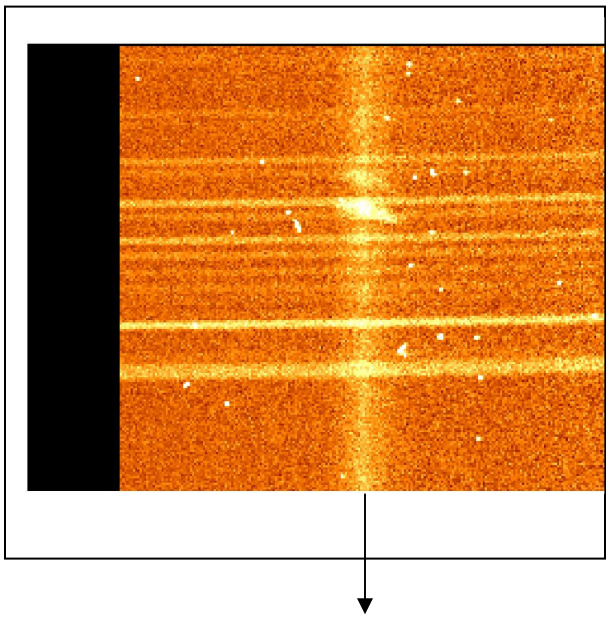
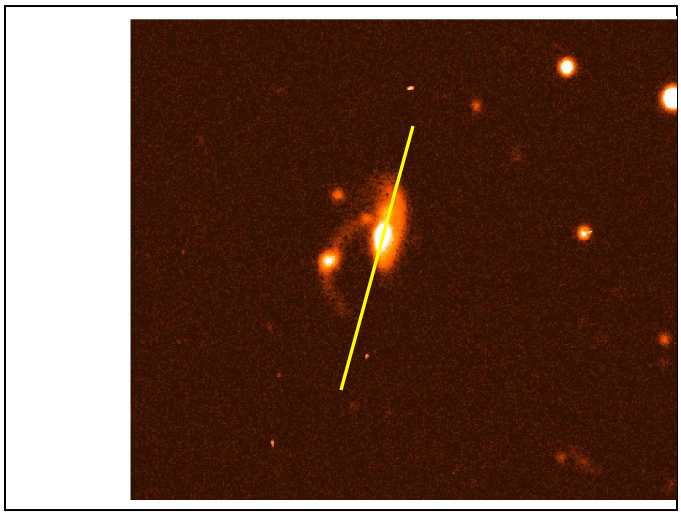
Cinemática e determinação de Massa das galáxias

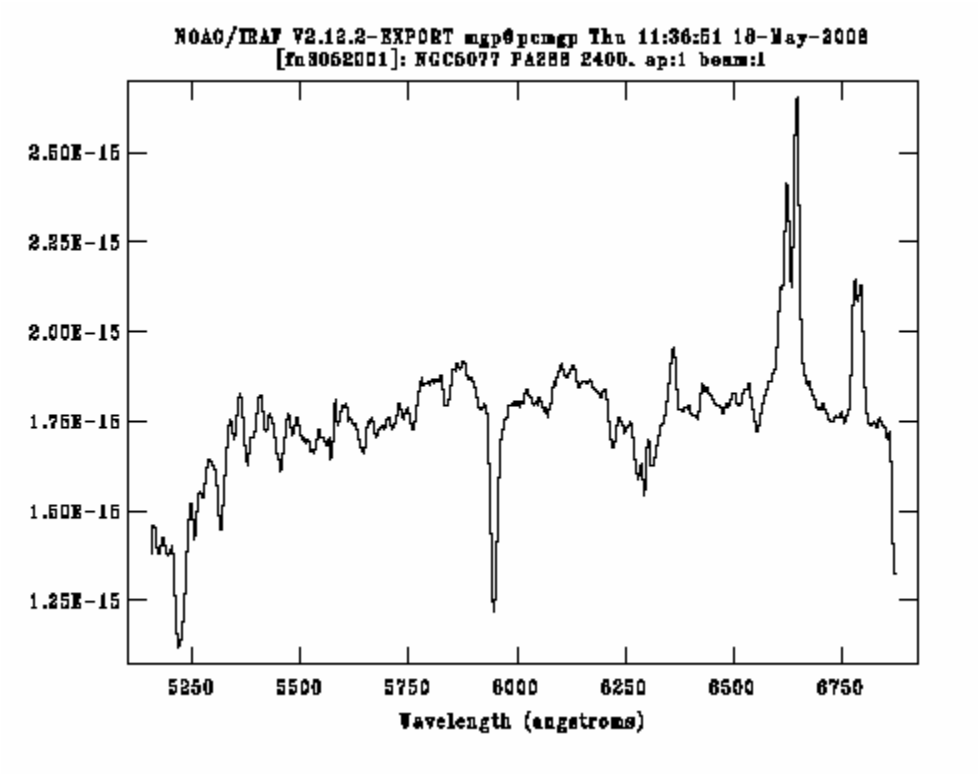
O espectro observado nas galáxias revela os sistemas que formam as galáxias, as linhas de absorção revelam que a galáxia esta formada principalmente por estrelas, e as linhas de emissão por regiões de Hidrogênio Ionizado (RHII) localizadas principalmente nos braços espirais.
O efeito Doppler das linhas de emissão e absorção da galáxia fornece informação sobre a velocidade radial e a rotação da galáxia.
Entre 1920 e 1930 foi descoberto que as galáxias tem rotação (H. W. Babcock 1939) . Este resultado foi obtido a partir da inclinação das linhas de emissão e absorção do espectro obtido ao longo do eixo maior da galáxia. A figura abaixo ilustra no painel esquerdo o espectro bidimensional da galáxia **AM121** e no painel direito **a posição da fenda do** espectrógrafo sobre a imagem da galáxia.

Espectro bidimensional
do Par AM121



AM121





Extração do espectro unidimensional $F_\lambda \times \lambda$

Em galáxias espirais, nas quais o movimento circular das estrelas no disco é dominante sobre o movimento desordenado das estrelas do bojo, pode ser determinada a curva de rotação, v(R), que é um gráfico da velocidade de rotação em função da distância galactocêntrica. As

velocidades de rotação em cada ponto são obtidas medindo o deslocamento Doppler das linhas espectrais

V radial = ($\Delta\lambda/\lambda o$) x C **C=velocidade da Luz**

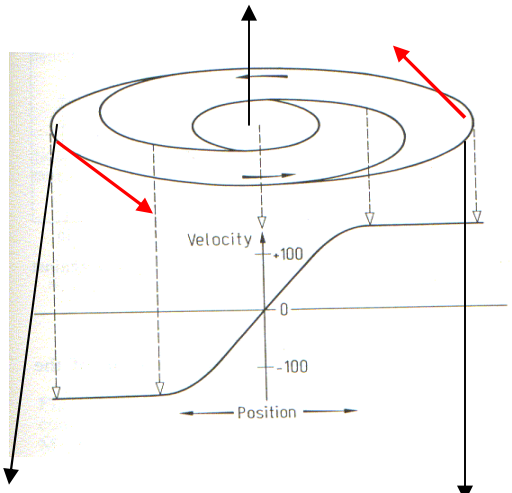


Fig. 28.26. The schematic rotation curve of a spiral galaxy shows a steep ascent in the inner part and a flat line of constant velocity in the outer part.

V(1) =((λ- $\Delta\lambda_1$) / λo)x C **V(2) = ((λ + $\Delta\lambda_1$) / λo) x C**

A Velocidade de rotação em r :

V_{rot} = (V(1) - V(2)) / 2

A curva de rotação é a gráfica da velocidade de rotação V_{rot}(R) em função da distancia galactocentrica (R).

A forma da curva de rotação esta relacionada com o tipo morfológico das galáxias, e a velocidade circular das estrelas e do gás não diminui nas

regiões mais externas da galáxia. Isto é interpretado como o resultado da existência nas galáxias de matéria obscura.

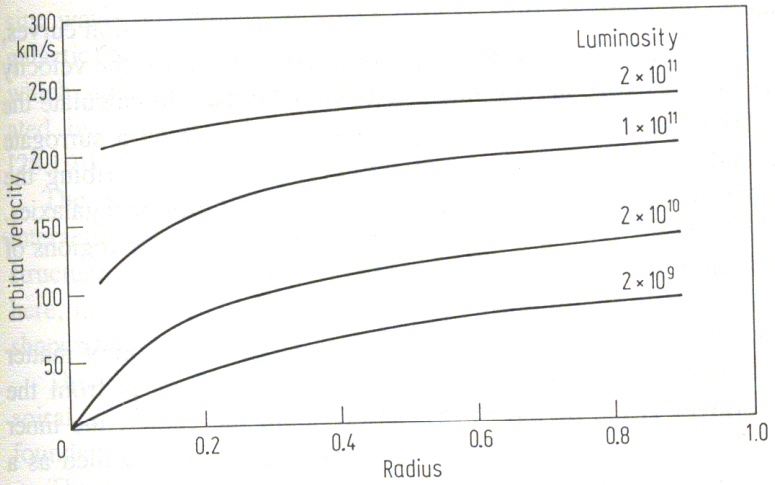


Fig. 28.30. Schematic rotation curves of Sc galaxies of different luminosities; radii normalized so that the edge of optical disk = 1. After Rubin [28.16].

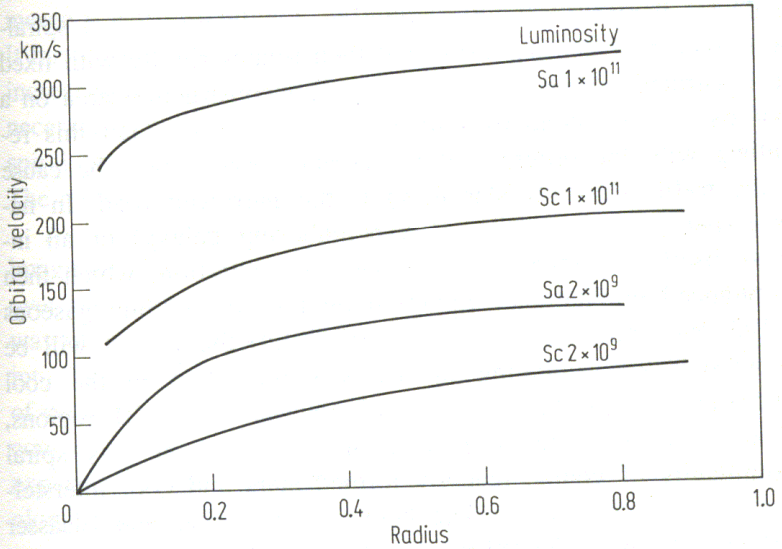


Fig. 28.31. Comparison of Sa and Sc galaxies. At equal luminosities, the Sa systems show higher rotational velocities. After Rubin [28.16].

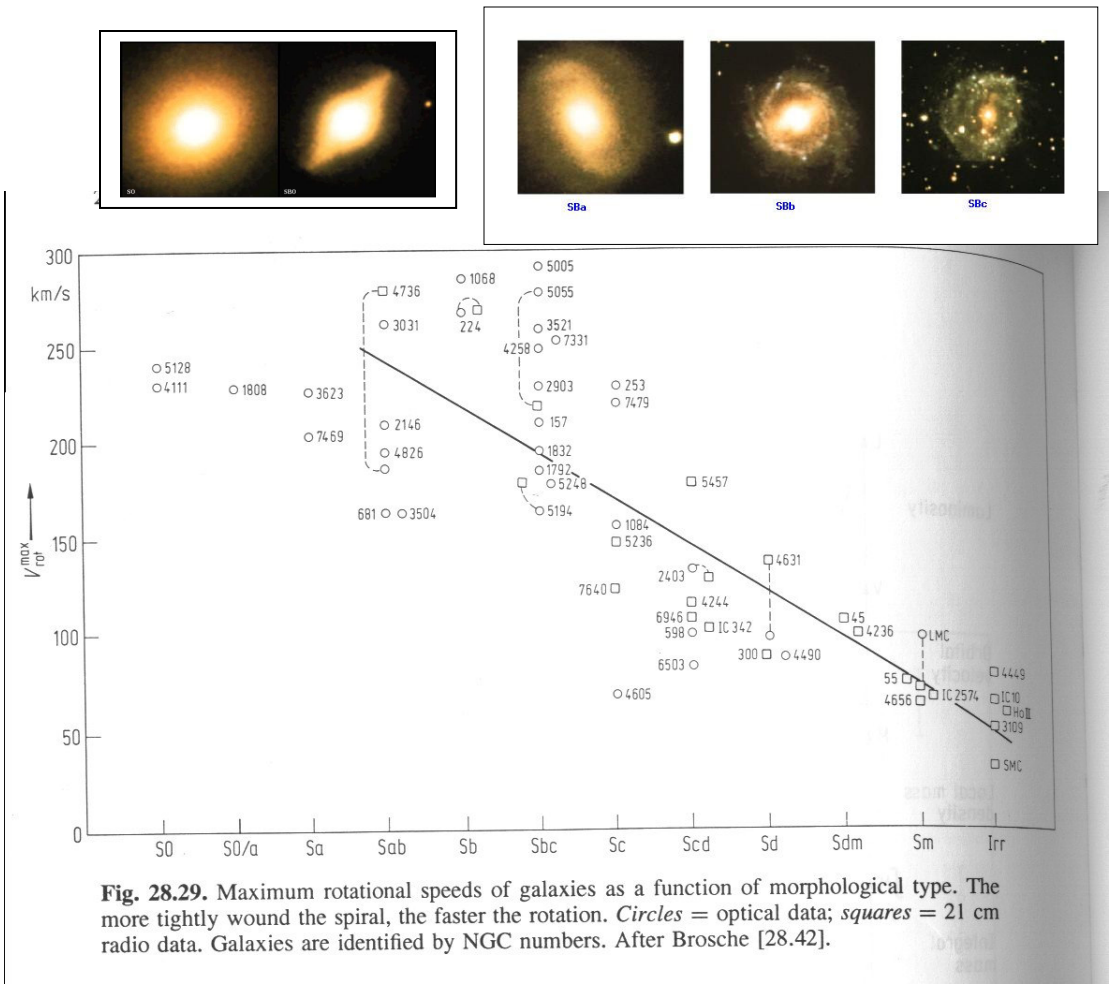


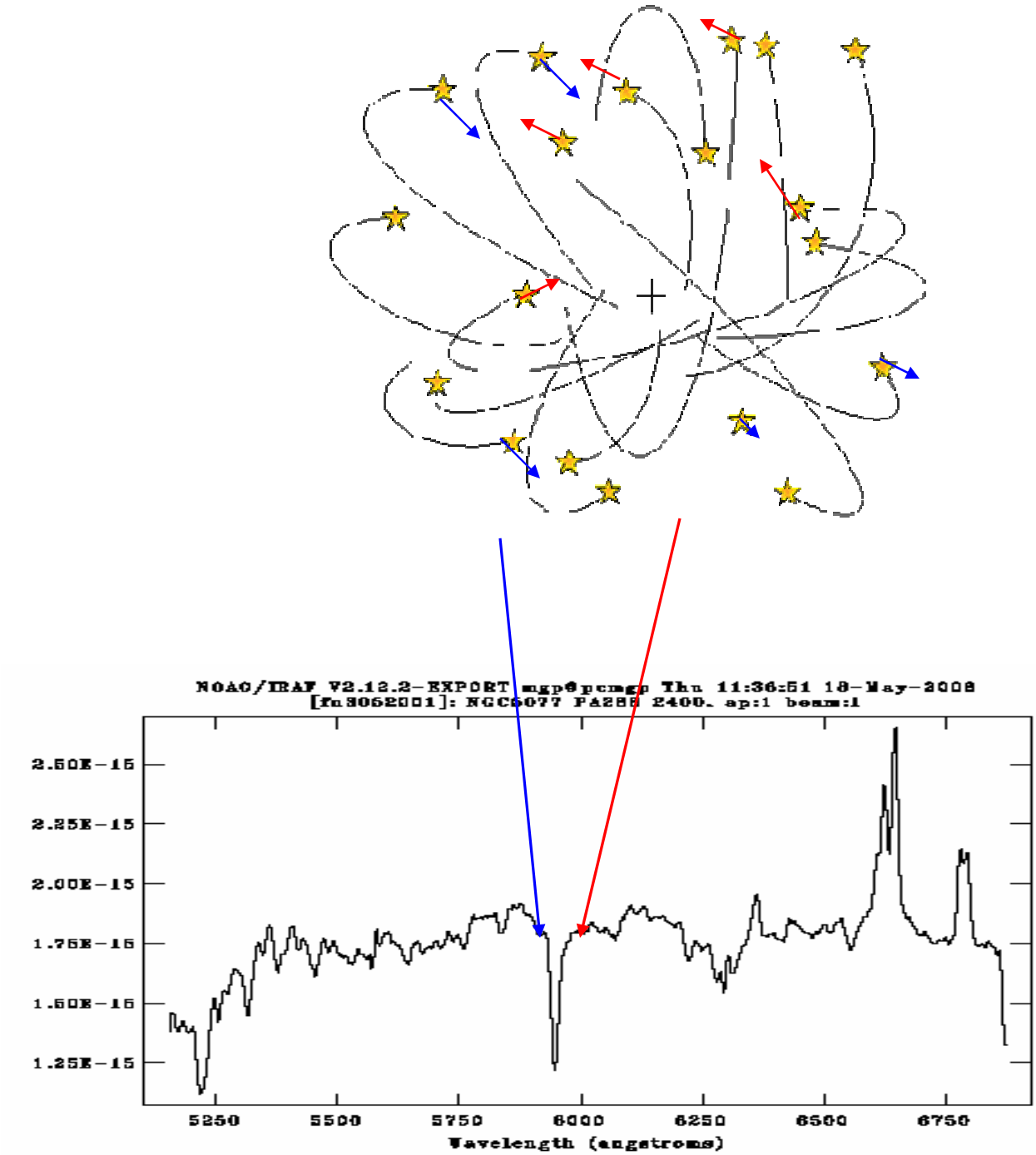
Fig. 28.29. Maximum rotational speeds of galaxies as a function of morphological type. The more tightly wound the spiral, the faster the rotation. *Circles* = optical data; *squares* = 21 cm radio data. Galaxies are identified by NGC numbers. After Brosche [28.42].

A velocidade rotacional máxima esta relacionada com o tipo morfológico das galáxias

50 km/seg < V rot < 260 km/seg

Galáxias Elípticas

As órbitas das estrelas nas galáxias elípticas não tem direção preferencial estão orientadas aleatoriamente o que produz uma alargamento nas linhas de absorção das galáxias . Podemos determinar a dispersão de velocidade das estrelas


NOAO/IRAF V2.12.2-EXPORT mgp@pcmgp Thu 11:36:51 18-May-2008
[fn3062001]: NGC6077 PA288 2400. ap:1 beam:1
2.50E-15
2.25E-15
2.00E-15
1.75E-15
1.50E-15
1.25E-15
5250
5500
5750
6000
6250
6500
6750
Wavelength (angstroms)

Determinação da Massa das galáxias

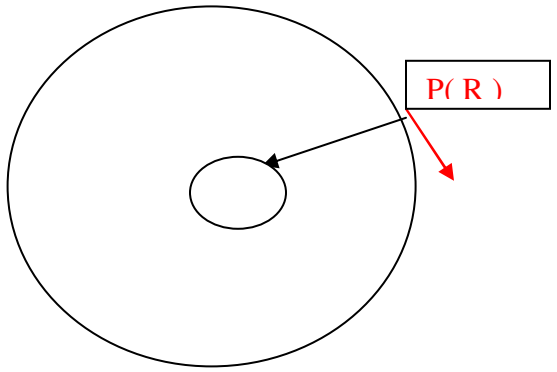
Assim como a massa de uma estrela é a sua característica física mais importante, também nas galáxias a massa tem um papel crucial, não apenas em sua evolução como sistemas individuais, mas na evolução do próprio universo. Por exemplo, da quantidade de massa das galáxias depende a densidade do universo, que determina se o universo vai se expandir para sempre ou se um dia irá se contrair.

Massa das galáxias Espirais

O período orbital das estrelas e do gás pode ser utilizado para determinar a distribuição de massa das galáxias espirais. Assumindo para a galáxia o modelo de disco fino obtemos um limite inferior para a massa e o modelo esférico da o limite superior.

$$M(R) = \int \rho(R)\, dV \quad (1)$$

ρ =densidade V =volumem



Determinamos M(R) do balance entre a forca gravitacional que a distribuição de massa central produz no elemento P, distante R do centro, e a forca rotacional .

$Vc^2 / R = d\Phi / dr$ (2)

Φ= potencial gravitacional Vc= velocidade circular do de P

Assumindo distribuição de densidade $\rho(R)$

$\Phi(r) = -G \int \rho (r) dV / (R-r)$ e da equação (2)

$Vc^2 / R = - G \, d/ dR (\int \rho (r) dV / (R-r))$

Considerando que a distancia R seja muito maior que o raio r da distribuição de massa central R>> r

$$Vc^2 = - G \; R \int \rho (r) \; dV / [R-r]^3 \; [R-r]/[R-r]$$

$$Vc^2 = - G \; R \int \rho (r) \; dV \; R^{-3} \; [1-r/R]^{-3} \; R[1-r/R]$$

$$Vc^2 = - G \; R^{-1} \int \rho (r) \; [1-r/R]^{-2} \; dV \qquad R>>>r$$

$$Vc^2 = - G \; R^{-1} \int \rho (r) \; dV \quad \text{de (1)}$$

$$Vc^2 = - G \; R^{-1} \; M (R) \Longrightarrow M(R)= Vc^2 (R)R \; G^{-1}$$

O intervalo em massa solares observado nas galáxias espirais

$$10^{9} < M/Msol < 10^{12}$$

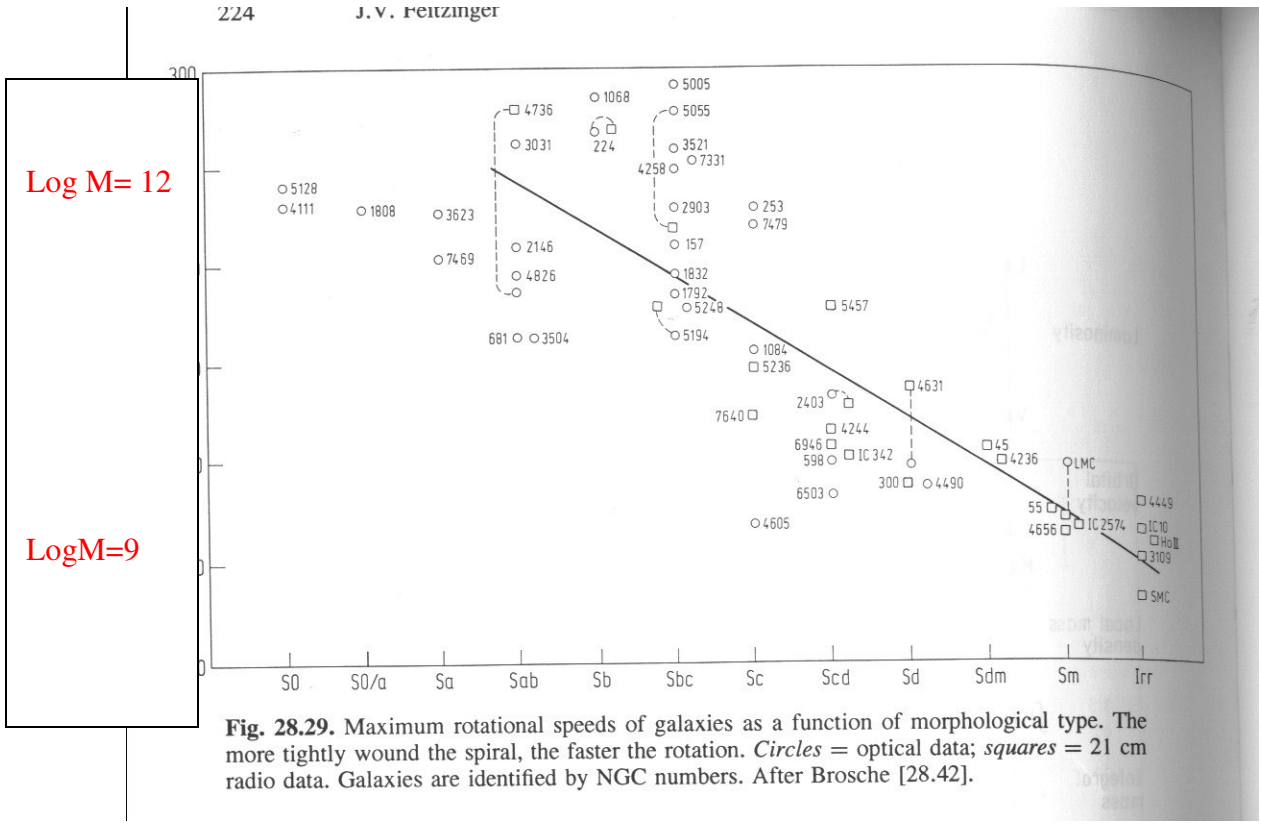


Fig. 28.29. Maximum rotational speeds of galaxies as a function of morphological type. The more tightly wound the spiral, the faster the rotation. *Circles* = optical data; *squares* = 21 cm radio data. Galaxies are identified by NGC numbers. After Brosche [28.42].

Massa das Galáxias Elípticas

As massas das galáxias elípticas podem ser determinadas a partir do Teorema do Virial, segundo o qual num sistema estacionário (cujas propriedades não variam no tempo), a soma da energia potencial gravitacional das partículas (U)e o dobro de sua energia cinética (Ec) , é nula, ou seja:

$$2\,Ec + U = 0$$

$$Ec = \tfrac{1}{2}\, M < \sigma >^{2} \qquad U = -\, G \int (M (R)/ r)\, dM$$

O potencial gravitacional das galáxias elípticas, estimado assumindo que a distribuição de densidade e similar a distribuição de luminosidade dada pela lei de de Vauculeurs

$$I(R) = Ie\ 10^{-3.33[(r/re^{1/4}-1)]} \qquad re = \text{raio efetivo}$$

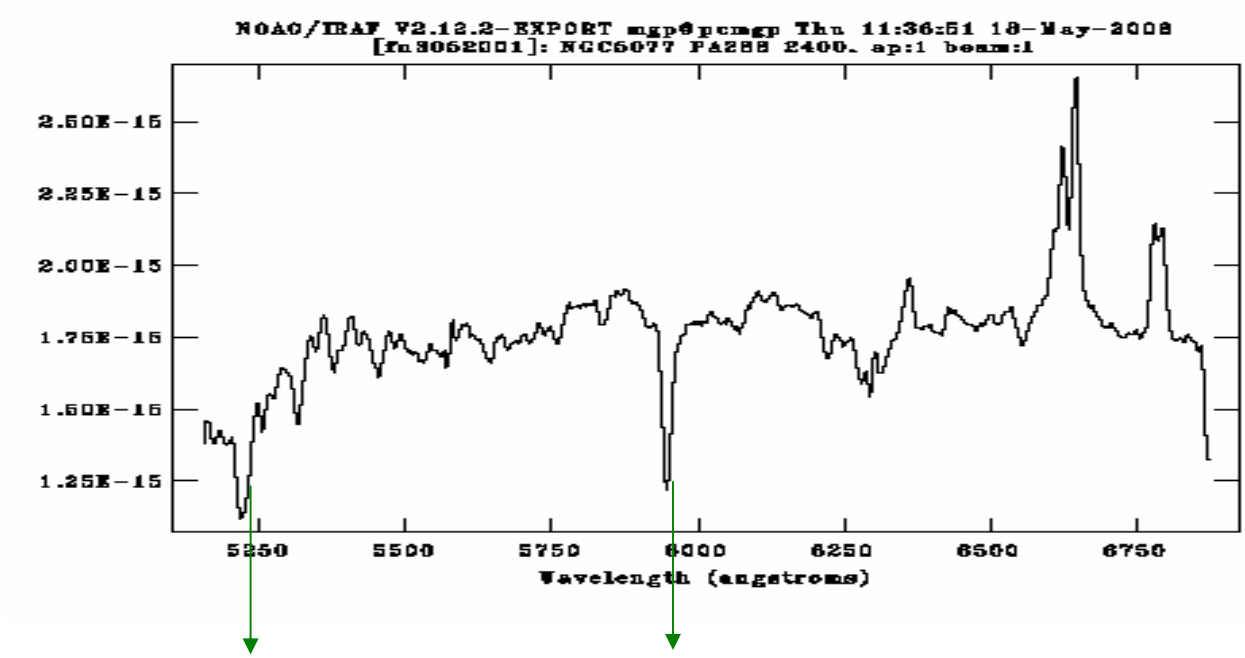
$$U = -0.33\ GM^2 / re$$

$$2 \times 1/2\ M\ \langle \sigma \rangle^2 = 0.33\ GM^2 / re$$

$$M = \langle \sigma \rangle^2\ re / 0.33\ G$$

O intervalo em massa observado nas galáxias Elípticas

$$3 \times 10^6 < M/Mo < 3 \times 10^{12}$$



O movimento das estrelas na galáxia, se reflete no alargamento das linhas espectrais de absorção. Ajustando um perfil Gaussiano a linha, determinamos a largura a media altura $\Delta\lambda$ e a dispersão de velocidade media das estrelas : $\Delta V = \Delta\lambda / \lambda o\ C$