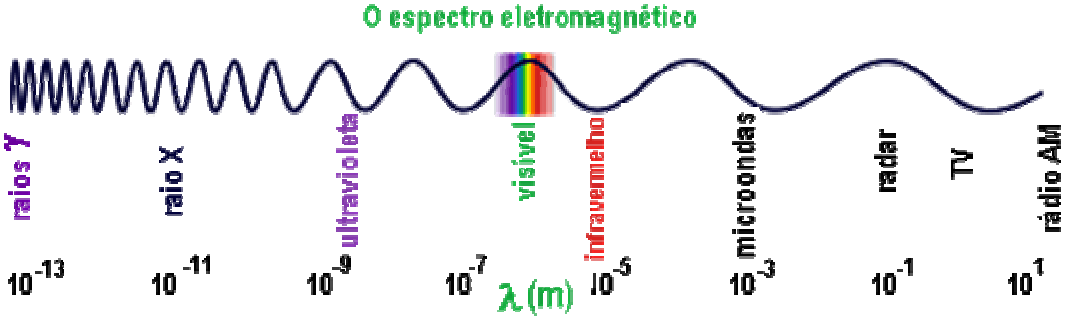
Luz integrada das Galáxias, magnitudes e cores

2.1 Radiação de corpo negro

As galáxias emitem radiação ao longo do espectro desde altas freqüências (raios gama) até baixas freqüências (ondas de radio).



As Imagens da galáxia elíptica NGC5128, identificada como Centaurus A mostram que a galáxia alem de ser poderosa fonte de radio é muito luminosa em raios X,

NGC5128(Centaurus A)

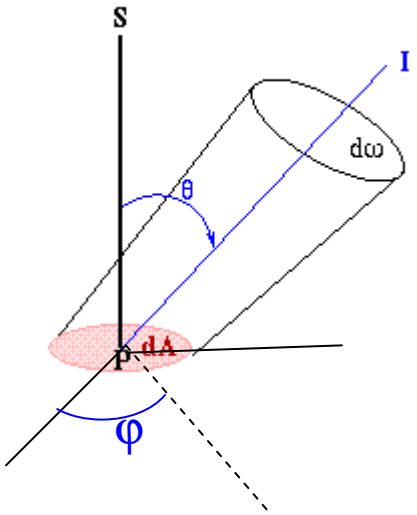
raios X ótico near-IR, radio

A luz que emitem as galáxias provém fundamentalmente das estrelas, as quais emitem aproximadamente como corpo negro ou seja são perfeitos absorvedores e emissores de energia.
A intensidade de radiação das estrelas pode ser representada pela função de Planck .

$I_\nu = 2h\nu^3/c^2\ (1/e^{h\nu/kT} - 1)$ erg cm^{-2} s^{-1} Hz^{-1} esteroradian^{-1}

A **Intensidade de radiação** $I\nu(\varphi\theta)$, pode ser definida como a quantidade de energia dE que atravessa a unidade de área dA, na unidade de tempo dt, por intervalo de freqüência $d\nu$ e dentro do ângulo sólido $d\omega$.

$$dE = I_\nu\, d\nu \cos\theta\, dA\, d\omega$$



A intensidade da radiação por exemplo para o Sol é a mesma na superfície do Sol do que a uma distancia r do Sol. O brilho do Sol tal como observamos esta mas relacionado com o fluxo de radiação F_ν que é a energia total da radiação que passa pela superfície dA

$$F_\nu\, dA = \int_0^{\theta=\pi} \int_0^{\phi=2\pi} I\nu(\varphi\theta) \cos\theta\, dA \sin\theta\, d\theta\, d\varphi \quad (1)$$

As estrelas exceto o Sol são objetos pontuais portanto o que observamos é o fluxo integrado na superfície da estrela F_ν, a distancia r :

$f_\nu = F_\nu / r^2$

Para encontrar o fluxo total de energia da estrela integramos a equação (1) adotando para $I\nu(\varphi\theta)$ a função de Planck e integrando para todas as freqüências, encontramos F

$$F = \int_0^\infty F_\nu \, d\nu = \sigma T^4 \ (\mathrm{erg\ cm^{-2}\ s^{-1}}) \qquad \sigma = 5.66 * 10^{-8}\ \mathrm{m^{-2}\ K^{-4}}$$

T é a temperatura superficial da estrela em Kelvins, σ= cte de Steffan- Boltzaman . O fluxo é definido como a energia que atravessa uma superfície por unidade de tempo.
O comprimento de onda do máximo da emissão do corpo negro é inversamente proporcional à temperatura T. Lei de Wien

$$\lambda_{max} = b/T$$

T é a temperatura superficial da estrela em Kelvins, b =0.0028978 K m . O fluxo é definido como a energia que atravessa uma superfície e por unidade de tempo. A luminosidade da estrela é o fluxo F vezes esta área.

$$L = F \ x \ \pi R^2 = \sigma T^4 \ 2 \pi R^2 \ \mathrm{erg/seg}$$

Magnitude

Para quantificar o brilho das estrelas foi estabelecida uma escala de magnitudes logarítmica proposta por Hipparcus.
Por convenção a magnitude m e o fluxo F estão relacionados como:

$$m_\lambda = -2.5 \log f_\lambda + cte$$

Índice de cor é a diferença entre duas magnitudes $m_{\lambda 1}$ e $m_{\lambda 2}$

$$m_{\lambda 1} - m_{\lambda 2} = -2.5\log f_{\lambda 1}/f_{\lambda 2}$$

2.1 Luz integrada da galáxia

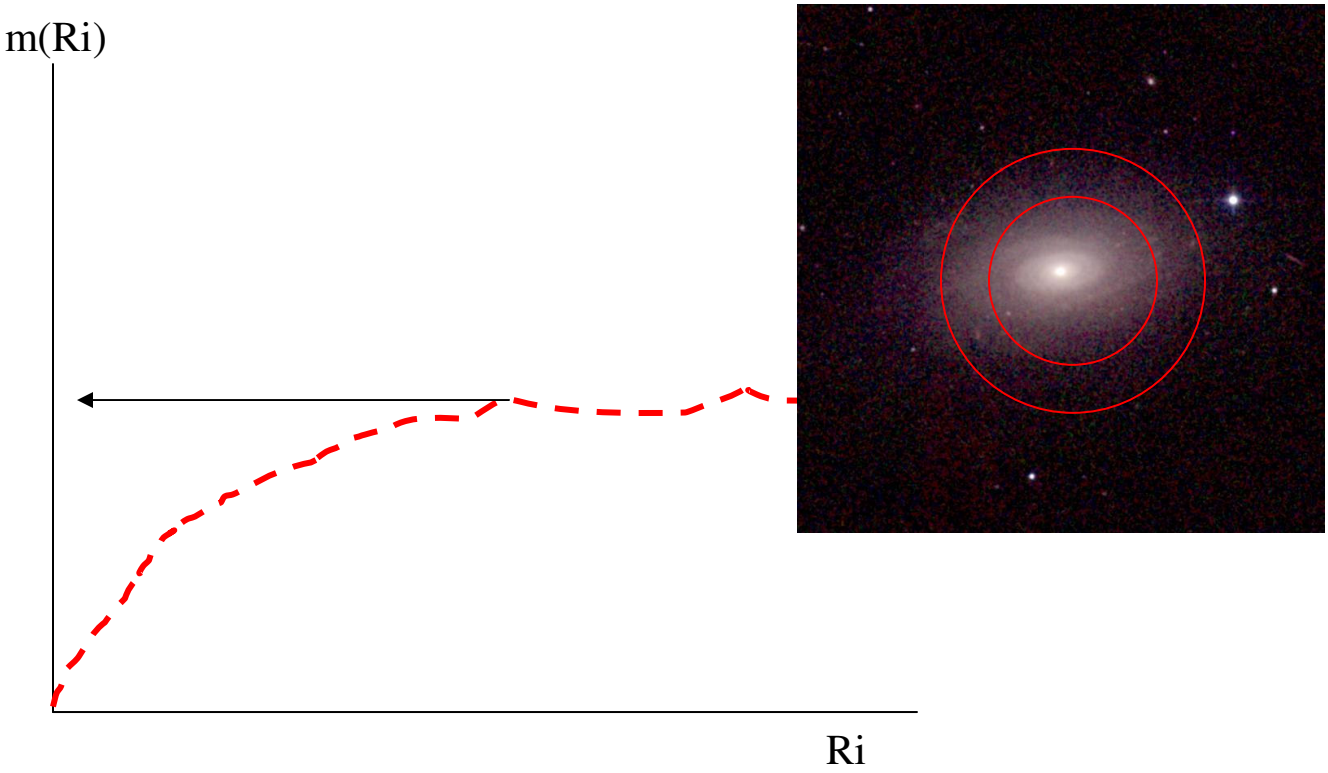
As galáxias são objetos extensos e a diferença das estrelas que são objetos aproximadamente pontuais é possível medir a intensidade especifica da radiação, quantidade de energia que atravessa a unidade de área dE/arcsec^2.
O fluxo total F_t de radiação que emite uma galáxia, bem como a magnitude integrada m_t, fornecem informação sobre o número e tipo de estrelas, gás, plasma e poeira que compõem a galáxia. Permite determinar a contribuição de cada componente em relação à luminosidade total, nas diferentes regiões do espectro eletromagnético.
O fluxo total de energia, também chamado brilho da galáxia, pode ser medido de duas formas: no método da curva de crescimento, o fluxo integrado total é medindo nas imagens da galáxia dentro áreas sucessivamente maiores a partir do centro; o segundo método consiste em integrar o brilho emitido por cada elemento de superfície da galáxia.

Método da curva de crescimento

A magnitude integrada m(Ri) da galáxia e igual ao fluxo F(Ri) interior a área circular de raio Ri: $m(Ri)_\lambda = -2.5 \log F_\lambda(Ri) + C_\lambda$ onde C_λ é a constante de calibração fotométrica e seu valor depende do sistema fotométrico usado.

O valor da magnitude integrada total é obtido construindo a curva de crescimento no diagrama m(Ri) versus o raio da área medida. (ver figura). A magnitude m(Ri) torna-se mais brilhante à medida que o raio cresce, convergindo a um valor m_t, pela zeta na figura.

Adotamos este valor como o correspondente a magnitude integrada da galáxia ate o raio mais externo que podemos medir.



Para determinar a luz integrada da galáxia devemos usar um diafragma que inclua as extensões mais fracas da galáxia. Entretanto a detecção destas regiões depende do conjunto telescópio, sistema ótico, da sensibilidade do detector, tempo de exposição, brilho do céu, impossibilitando a determinação do limite físico da galáxia.

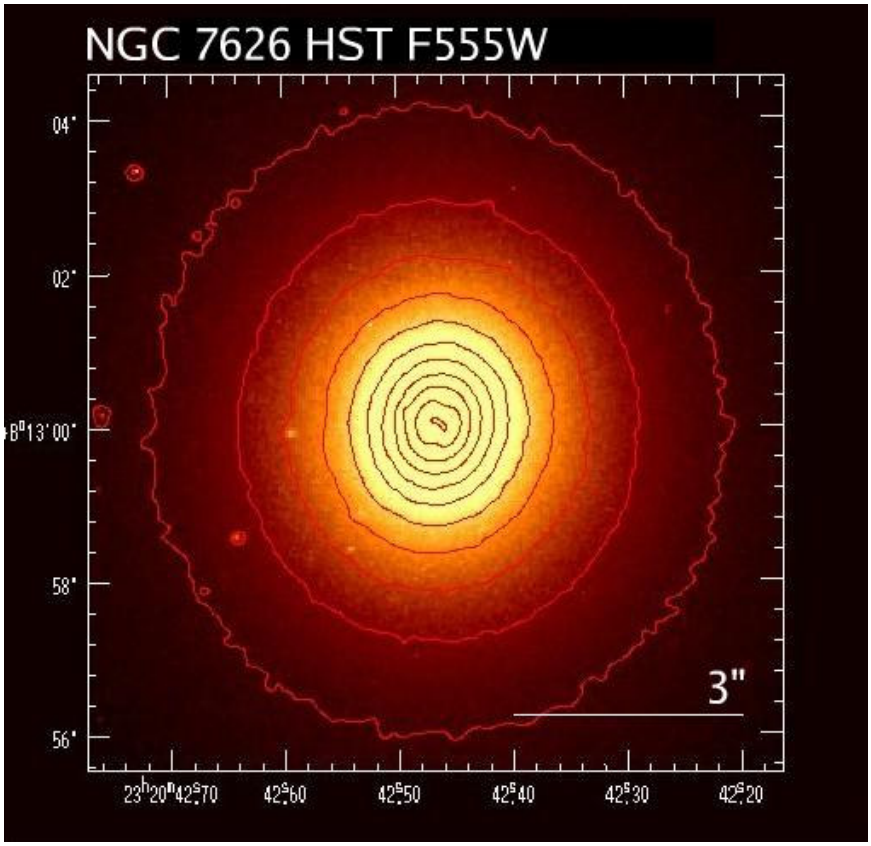
Método das isofotas

Como foi dito acima a intensidade especifica da radiação $I(r,\theta)$ pode ser medida nos objetos extensos e portanto permite

determinar a magnitude por unidade de área, chamada magnitude superficial, dada por

$$\mathbf{m_\mu (r,\theta)} = -2.5 \log (I(r,\theta)) + C$$

A medida da magnitude superficial permite construir as **Isofotas da galáxia que** são as curvas de igual valor de magnitude superficial $\mathbf{m_\mu}$ coo ilustra a figura.



O brilho superficial integrado ate um raio r da galáxia é dado por .

$$B(R) = \iint I(\theta,r)\, r\, dr\, d\theta$$

O brilho superficial nas galáxias com simetria esférica como as galáxias elípticas, lenticulares e o bojo das galáxias espirais não depende do ângulo azimutal θ, portanto pode ser calculado pela seguinte integral

$$B(R) = 4\pi \int I(r)\, r\, dr$$

A magnitude aparente integrada da galáxia medida até uma certa distancia R do centro é dada pela seguinte equação

$$\mathbf{m(R)} = -2.5 \log B(R) + C$$

A magnitude integrada total $\mathbf{m_t}$ é obtida integrando-se em r de 0 até infinito e no ângulo azimutal θ de 0 até 360 ^{o}. A magnitude integrada aparente total mt para as galáxias é dada pela seguinte equação

$$\mathbf{m_t} = -2.5 \log \left[\int_0^{\infty}\int_0^{2\pi} I(r)\, r\, dr\, d\theta\right] + C = -2.5 \log Bt + C$$

2.3 Perfil de luminosidade das galáxias

O Perfil de luminosidade das galáxias é a curva que representa a variação do brilho $I(r,\theta)$ ou a magnitude $m_{\mu}(r,\theta)$ em função do raio da galáxia. Podemos obter perfis de luminosidade ao longo dos eixos maior e menor da galáxia. As diversas componentes que formam a galáxia podem ser identificadas nos perfis de luminosidade. Para obter a magnitude integrada $\mathbf{m_t}$ integramos o perfil de luminosidade médio. Este perfil resulta de fazer a media azimutal dos perfis de luminosidade.

Os perfis tem que ser previamente corrigidos pelo efeito da inclinação da galáxia

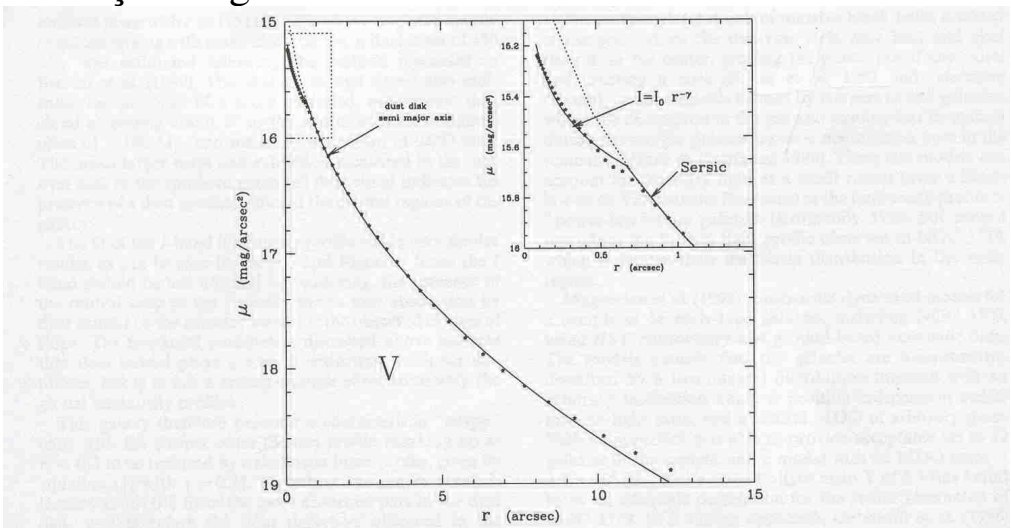


FIG. 4.—Luminosity profile decomposition for the *HST V* image. The insert to the right shows an expanded view of the central 1″.5, where the "cuspy" law dominates.

.

Perfil de luminosidade de uma galáxia NGC3379

2.4 Perfis de luminosidade de galáxias Elípticas

As galáxias elípticas aparentemente, são os sistemas mais simples, o brilho é concentrado na região central e decresce rapidamente para fora da galáxia. Foram propostas a partir de observações a seguintes leis de distribuição de brilho para este tipo de galáxias.

a) Distribuição de luminosidade proposta por Hubble (1930) dada pela equação

$$I(r) = I_0 [(r/a) + 1]^{-2}$$

I_0 a intensidade no centro da galáxia, "a" parâmetro de ajuste, chamado de raio do caroço.

Posteriormente de Vaucoulers formulou a seguinte lei conhecida como lei de $r^{1/4}$

$$I(r) = I_e \, 10^{-3.33[(r/re)1/4 - 1]}$$

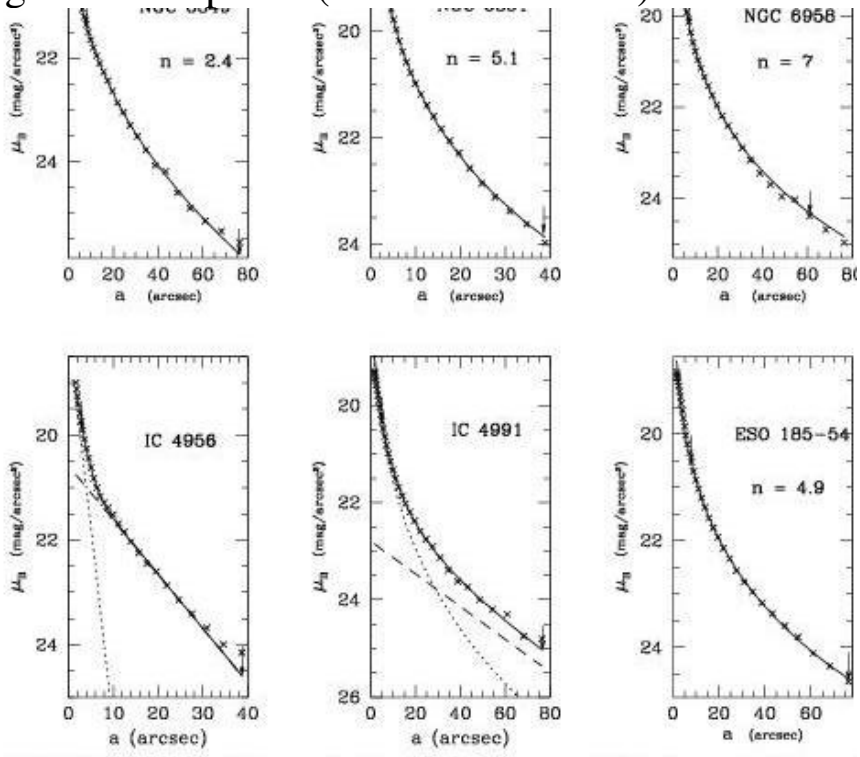
Ie é o brilho correspondente à isofota de raio r_e que engloba a metade da luz integrada da galáxia 1/2Bt.

As leis de Hubble e de de Voucouleurs deferem no centro e nas bordas da distribuição de luz das galáxias elípticas.

Uma lei mais geral que contém a lei de de Vaucouleurs foi enunciada por Sérsic (1968) e sugere que a luminosidade cai com $r^{1/n}$. A fotometria superficial realizada com observações na cor B de 48 galáxias E, revelam que o índice n pode variar entre $2<n<6$ (Caon et al 1993). A lei de Sersic $I(r) = dex^{\{-bn\,(r/rn)1/n\}}$ (5)

Quando n=4 na lei de Sérsic temos a lei de de Vaoucouleurs.

A figura (XXX) mostra o ajuste da lei de Sérsic aos Perfis De galáxias Elípticas (Saraiva et al 2000)



O Centro das Elípticas

As observações do telescópio espacial **Hubble** revelou que na região central das galáxias elípticas a distribuição de brilho cambia de gradiente, apresentando uma distribuição mais plana que nas partes externas onde a luminosidade ajusta a lei de $r^{1/n}$.

Esta região e chamada de “caroço ” e seu brilho e ajustado por :
$I=Io\ r^{-g}$ Io= brilho central (6) (Faber et al .....)

A figura (XXX) ilustra o perfil de luminosidade médio da galáxia NGC 3379 (Pastoriza et al) onde podemos ver claramente este efeito.

Vários modelos foram propostos para explicar a formação dos “caroço ” nas galaxias E, entre elas a formação de um buraco negro que crece adiabaticamente no centro da galáxia (Yung (1980), van den Marel (1999). Outra alternativa e a captura de um Buraco Negro massivo durante uma colisão com outra galáxia, a órbita do buraco decai para o centro capturando gás e ejetando estrelas do centro da galáxia, desta forma provocando uma erosão da luz central (Faber et al 1997).

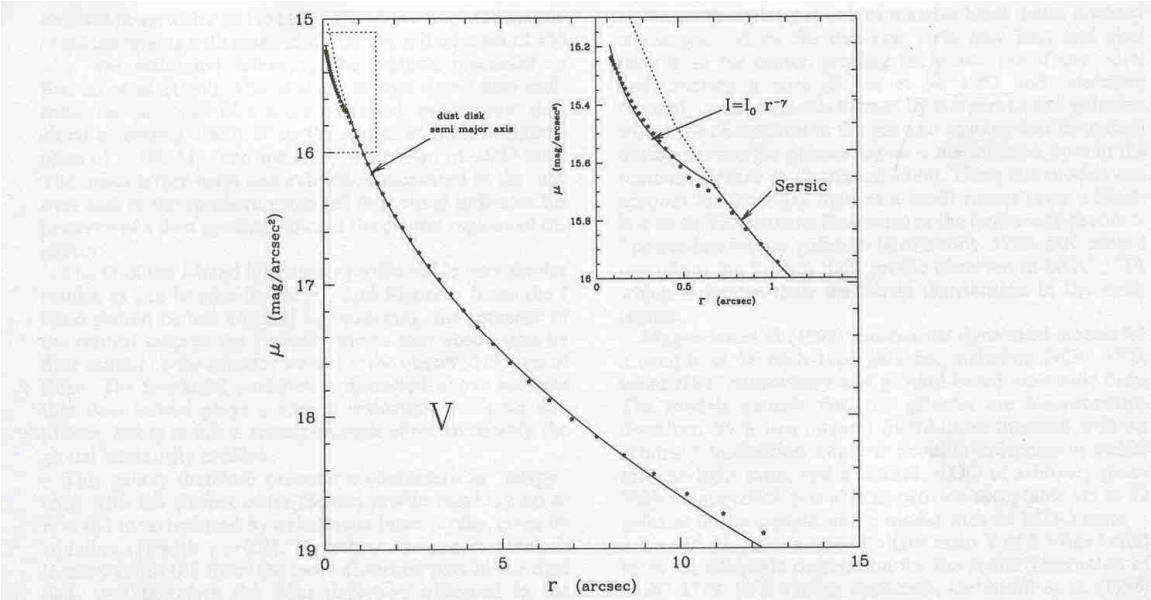
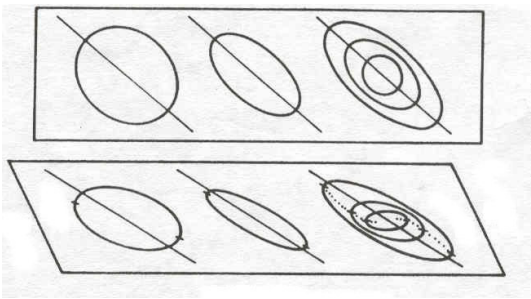


FIG. 4.—Luminosity profile decomposition for the *HST V* image. The insert to the right shows an expanded view of the central 1″.5, where the “cuspy” law dominates.

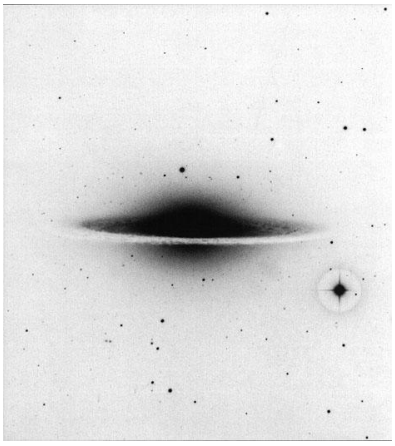
As isofotas das galáxias E revelam informações importantes da galáxia . Em geral as isofotas são elípticas com e=1-b / a , alem da elipticidade podemos medir nas isofotas o ângulo de posição do eixo maior das elipses. A rotação do eixo maior das elipses como mostra a figura , pode ser o efeito de projeção no céu de um esferóide triaxial , ou os rastros deixados por uma colisão ou interação da galáxia com outras.



As figuras mostram a variação dos parâmetros da isofotas da Região central de NGC 3379 : ângulo de posição do eixo maior das isofotas em relação a o Norte das imagens V e I (θ) , elipticidade das isofotas (ε) e o coeficiente de Fourier C4 que mede o grau "boxy" ou "disky".

Extinção interna

As galáxias observadas de lado são menos luminosas devido ao efeito de extinção da luz pelo meio interestelar do plano da própria Galáxia



Lei empírica encontrada para corrigir o efeito da extensão da luz pela inclinação da galáxia:

- A2= 0.70 sec (i)

i= inclinação= b/a,
a= semieixo maior, b=semieixo menor