

Alexei Machado Müller, Maria de Fátima Oliveira Saraiva e Kepler de Souza Oliveira Filho



Foto da galáxia de Andrômeda, M31.

## Introdução

Prezado aluno, em nossa terceira aula, da terceira área, vamos estudar as galáxias.

Bom estudo!



## Objetivos

Nesta aula trataremos da formação e da evolução estelar. Esperamos que ao final você esteja apto a:

- discutir a descoberta da existência de outras galáxias;
- identificar os três tipos básicos de galáxias, de acordo com sua morfologia, descrevendo resumidamente as propriedades de cada um;
- relacionar estrutura espiral com ondas de densidade;
- explicar como se calcula a massa de galáxias, e por que os astrônomos pensam que as galáxias têm matéria escura.

## O que são galáxias?

### A Descoberta das Galáxias

Por volta do século XVIII vários astrônomos já haviam observado, entre as estrelas, a presença de corpos extensos e difusos, aos quais denominaram "nebulosas". Hoje sabemos que diferentes tipos de objetos estavam agrupados sob esse termo, a maioria pertencendo à nossa própria Galáxia: nuvens de gás iluminadas por estrelas dentro delas, cascas de gás ejetadas por estrelas em estágio final de evolução estelar, aglomerados de estrelas. Mas algumas nebulosas - **as nebulosas espirais - eram galáxias individuais, como a nossa Via Láctea.**

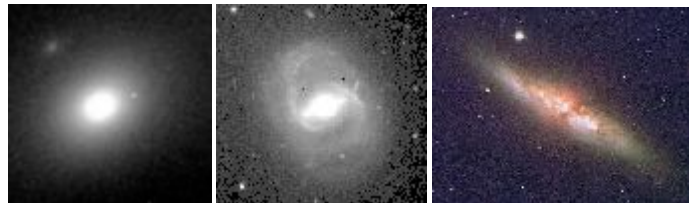


Figura 03.03.01: Foto de galáxias.

O filósofo alemão **Immanuel Kant** (1724-1804), influenciado pelo astrônomo **Thomas Wright** (1711-1786), foi o primeiro a propor, por volta de 1755, que algumas nebulosas poderiam ser sistemas estelares totalmente comparáveis à nossa Galáxia. Até 1908, cerca de 15.000 nebulosas haviam sido catalogadas e descritas. Algumas haviam sido corretamente identificadas como aglomerados estelares, e outras como nebulosas gasosas. A maioria, porém, permanecia com natureza inexplicada. O problema maior era que a distância a elas não era conhecida, portanto não era possível saber se elas pertenciam à nossa Galáxia ou não.

Somente em 1923 Edwin Powell Hubble proporcionou a evidência definitiva para considerar as "nebulosas espirais" como galáxias independentes, ao identificar uma variável Cefeida na "nebulosa" de Andrômeda (M31).



Figura 03.03.02: Edwin Powell Hubble (1889-1953).

### Descoberta das galáxias

Em 1923, Hubble encontra cefeidas em Andrômeda, determina as suas distâncias através da relação período-luminosidade e comprova que Andrômeda está fora dos limites da Via Láctea.



Figura 03.03.03: Andrômeda, M31.

A partir da relação conhecida entre período e luminosidade das Cefeidas da nossa Galáxia, e do brilho aparente das Cefeidas de Andrômeda, Hubble pode calcular a distância entre esta e a Via Láctea, obtendo um valor de 2,2 milhões de anos-luz. Isso situava Andrômeda bem além dos limites da nossa Galáxia, que tem 100 mil anos-luz de diâmetro. Ficou assim provado que Andrômeda era um sistema estelar independente.

### Classificação Morfológica de Galáxias

As galáxias diferem bastante entre si, mas a grande maioria têm formas mais ou menos regulares quando observadas em projeção contra o céu, e se enquadram em **duas classes gerais: espirais e elípticas**. Algumas galáxias não têm forma definida, e são chamadas irregulares. Atualmente se sabe que as galáxias nascem nas regiões de maior condensação da matéria escura. A distribuição dessas condensações é aleatória. Se há assimetria na distribuição das condensações em uma região do espaço, a força de maré produzida pela assimetria gera *momentum* angular na nuvem, e uma galáxia espiral se forma. Se a distribuição local é simétrica, não haverá *momentum* angular líquido, e uma galáxia elíptica se forma.

Um dos primeiros e mais simples esquemas de classificação de galáxias, que é usado até hoje, aparece no livro de 1936 de Edwin Hubble. O esquema de Hubble consiste de três sequências principais de classificação: **elípticas, espirais e espirais barradas**. Nesse esquema, as galáxias **irregulares** formam uma quarta classe de objetos.



### Classificação morfológica

Elípticas, espirais e irregulares.

### Espirais

Todas as espirais têm duas componentes morfológicas:

- disco composto de estrelas, gás e poeira, em que se encontra a estrutura espiral;
- esferoide de estrelas, com pouco gás e pouca poeira: núcleo, bojo e halo.

As espirais são classificadas de acordo com o tamanho do bojo e com o grau de enrolamento dos braços.

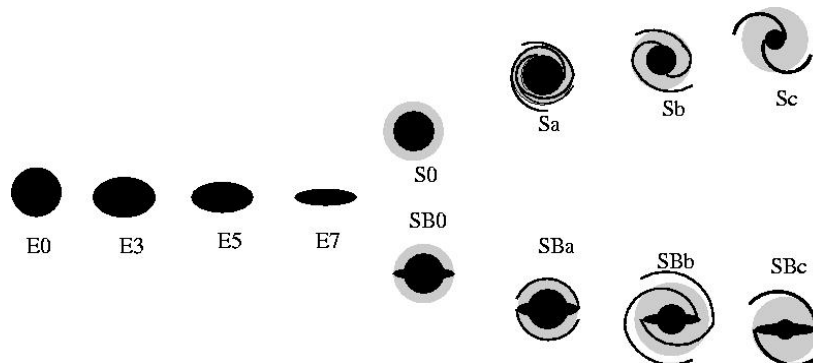


Figura 03.03.04: [Esquema de Hubble para a classificação de galáxias](#). Elípticas E, espirais S e espirais barradas SB.

### Espirais (S)

As galáxias espirais, quando vistas de frente, apresentam uma clara estrutura espiral. Andrômeda (M31) e a nossa própria Galáxia são espirais típicas. Elas possuem um **núcleo, um disco, um halo, e braços espirais**. As galáxias espirais apresentam diferenças entre si principalmente quanto ao tamanho do núcleo e ao grau de desenvolvimento dos braços espirais. Assim, elas são subdivididas nas categorias **Sa**, **Sb** e **Sc**, de acordo com o grau de desenvolvimento e enrolamento dos braços espirais e com o tamanho do núcleo comparado com o do disco.

Tabela 03.03.01: Classificação das estrelas espirais e suas características.

<b>Sa</b>	núcleo maior, braços pequenos e bem enrolados
<b>Sb</b>	núcleo e braços intermediários
<b>Sc</b>	núcleo menor, braços grandes e mais abertos

Por exemplo, uma galáxia Sa é uma espiral com núcleo grande e braços espirais pequenos, bem enrolados, de difícil resolução.

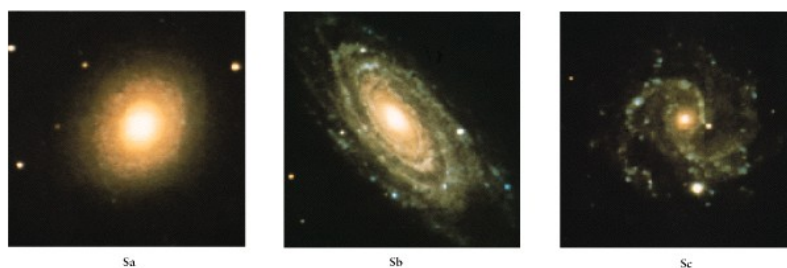


Figura 03.03.05: Fotos de galáxias obtidas por Jim Wray, no McDonald Observatory.

Existem algumas galáxias que têm núcleo, disco e halo, mas não têm traços de estrutura espiral. Hubble classificou essas galáxias como **S0**, e elas são às vezes chamadas **lenticulares**. As galáxias espirais e lenticulares juntas formam o conjunto das galáxias **discoidais**, como se pode ver na figura 03.03.06.



### São classes de espirais

Sa: núcleo maior, braços pequenos e bem enrolados.

Sb: núcleo e braços intermediários.

Sc: núcleo menor, braços grandes e mais abertos.

### Espirais Barradas (SB)

Os braços espirais partem de uma barra formada de estrelas.

### Elípticas

Apresentam apenas componentes esferoidais. Forma elíptica, não tem disco, braços espirais, nem gás nem poeira.

Classificação de acordo com o achatamento aparente (n):

E0 é circular, E7 é a mais achatada.

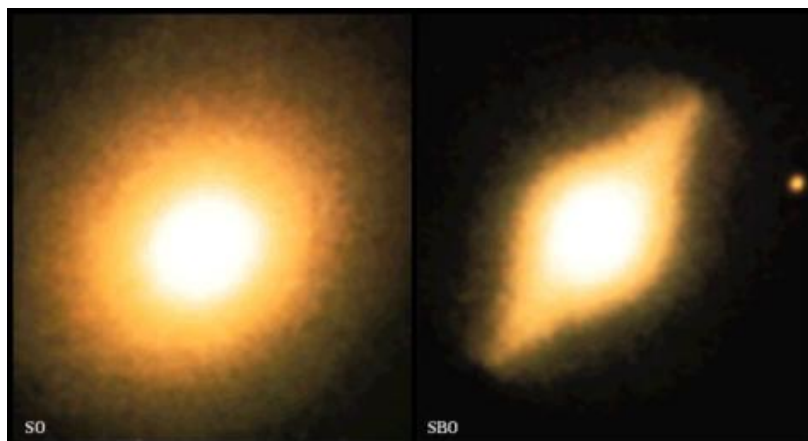


Figura 03.03.06: Fotografias de galáxias à esquerda SO e à direita SBO.

Aproximadamente metade de todas as galáxias discoidais apresentam uma estrutura em forma de barra atravessando o núcleo. Elas são chamadas **barradas** e, na classificação de Hubble elas são identificadas pelas iniciais **SB**. As galáxias barradas também se subdividem nas categoria **SBO**, **SBa**, **SBb**, e **SBc**. Nas espirais barradas, os braços normalmente partem das extremidades da barra.

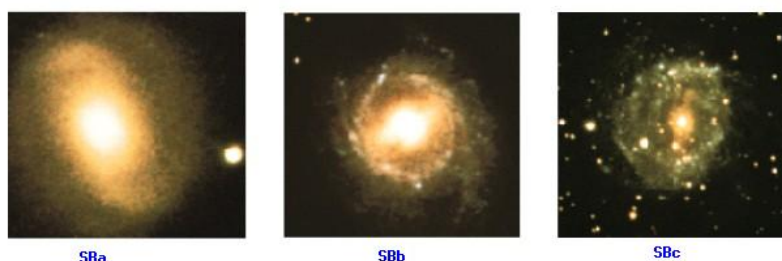


Figura 03.03.07: Fotografias de galáxias barradas. A primeira, à esquerda, Sba, a segunda SBb e, a terceira, SBc.

Normalmente se observa, nos braços das galáxias espirais, o material interestelar. Ali também estão presentes as nebulosas gasosas, poeira, e estrelas jovens, incluindo as super-gigantes luminosas. Os aglomerados estelares abertos podem ser vistos nos braços das espirais mais próximas e os aglomerados globulares no halo. A população estelar típica das galáxias espirais está formada por estrelas jovens e velhas.

As galáxias espirais têm diâmetros que variam de 20 mil anos-luz até mais de 100 mil anos-luz. Estima-se que suas massas variam de 10 bilhões a 10 trilhões de vezes a massa do Sol. Nossa Galáxia e M31 são ambas espirais grandes e massivas.

### Elípticas (E)

As galáxias elípticas apresentam forma esférica ou elipsoidal, e não têm estrutura espiral. Têm pouco gás, pouca poeira e poucas estrelas jovens. Elas se parecem ao núcleo e halo das galáxias espirais.

Hubble subdividiu as elípticas em classes de **E0** a **E7**, de acordo com o seu grau de achatamento (n), sendo  $n = 10 (a-b)/a$ ; a é o eixo maior da elipse e b é o eixo menor da elipse.

Imagine-se olhando um prato circular de frente: essa é a aparência de uma galáxia E0. Agora vá inclinando o prato de forma que ele pareça cada vez mais elíptico e menos circular: esse achatamento gradativo representa a sequência de E0 a E7. Note que Hubble baseou sua classificação na aparência da galáxia, não na sua verdadeira forma. Por exemplo, uma galáxia E0 tanto pode ser uma elíptica realmente esférica quanto pode ser uma elíptica mais





achatada vista de frente, já uma E7 tem que ser uma elíptica achatada vista de perfil. Porém nenhuma elíptica jamais vai aparecer tão achatada quanto uma espiral vista de perfil.

As galáxias elípticas variam muito de tamanho, desde supergigantes até anãs. As maiores elípticas têm diâmetros de milhões de anos-luz, ao passo que as menores têm somente poucos milhares de anos-luz em diâmetro. As elípticas gigantes, que têm massas de até 10 trilhões de massas solares, são raras, mas as elípticas anãs são o tipo mais comum de galáxias.



Figura 03.03.08: As galáxias elípticas são classificadas pela letra E seguida de um número n entre 0 e 7, de acordo com o grau de achatamento En. Da esquerda para a direita temos E0, E3 e E6.



Figura 03.03.09: A galáxia elíptica gigante M87.

### Irregulares (I)

Hubble classificou como galáxias irregulares aquelas que eram privadas de qualquer simetria circular ou rotacional, apresentando uma estrutura caótica ou irregular. Muitas irregulares parecem estar sofrendo atividade de formação estelar relativamente intensa, sua aparência sendo dominada por estrelas jovens brilhantes e nuvens de gás ionizado distribuídas irregularmente. Em contraste, observações na linha de 21 cm, que revela a distribuição do gás hidrogênio, mostra a existência de um disco de gás similar ao das galáxias espirais. As galáxias irregulares também lembram as espirais no seu conteúdo estelar, que inclui estrelas de população I e II (jovens e velhas).

Os dois exemplos mais conhecidos de galáxias irregulares são a Grande e a Pequena Nuvem de Magalhães, duas galáxias consideradas satélites da Via Láctea, visíveis a olho nu no Hemisfério Sul. Na Grande Nuvem está presente o complexo 30 Doradus, um dos maiores e mais luminosos agrupamentos de gás e estrelas supergigantes conhecido em qualquer galáxia. A Pequena Nuvem é bastante alongada e menos massiva do que a Grande Nuvem. Aparentemente é o resultado de uma colisão com a Grande Nuvem acontecida há uns 200 milhões de anos.

### Irregulares (I)

Apresentam estrutura irregular, caótica.



Figura 03.03.10: Foto das galáxias irregulares. Grande Nuvem de Magalhães (à esquerda) e Pequena Nuvem de Magalhães (à direita). A Grande Nuvem está a 176 mil anos-luz de distância da Terra e Pequena Nuvem a 210 mil anos-luz. São consideradas galáxias satélites da Via Láctea. Crédito da foto: [Wei-Hao Wang](#).

Tabela 03.03.02: Principais características dos diferentes tipos de galáxias.

Propriedade	Espirais	Elípticas	Irregulares
Massa ( $M_{\odot}$ )	$10^9$ a $10^{12}$	$10^5$ a $10^{13}$	$10^8$ a $10^{11}$
Diâmetro ( $10^3$ pc)	5 - 30	1 - 1000	1 - 10
Luminosidade ( $L_{\odot}$ )	$10^8$ a $10^{11}$	$10^6$ a $10^{12}$	$10^7$ a $2 \times 10^9$
População estelar	Velha e jovem	Velha	Velha e jovem
Tipo espectral	A a K	G a K	A a F
Gás	Bastante	Muito pouco	Bastante
Poeira	Bastante	Muito pouca	Varia
Cor	Azulada no disco Amarelada no bojo	Amarelada	Azulada
Estrelas mais velhas	$10^{10}$ anos	$10^{10}$ anos	$10^{10}$ anos
Estrelas mais jovens	Recentes	$10^{10}$ anos	Recentes

As galáxias elípticas foram formadas de nuvens com baixo momentum angular, enquanto as espirais de nuvens com alto momentum angular. Como a rotação inibe a formação estelar pois dificulta a condensação da nuvem, as estrelas se formam mais lentamente nas galáxias espirais, permitindo que o gás perdure e a formação estelar se estenda até o presente.

Você também pode participar da classificação de galáxias no [Zoológico de Galáxias](#).

### Estrutura Espiral

A causa da estrutura espiral das galáxias ainda não está bem definida. A ideia inicial a respeito disso era de que os braços espirais seriam braços materiais, (isto é, constituído sempre das mesmas estrelas e do mesmo material interestelar), formados pela rotação diferencial. Como o material mais distante do centro tem menor velocidade de rotação do que o mais próximo do centro (movimento kepleriano), uma pequena perturbação no disco naturalmente se espalharia em forma espiral.

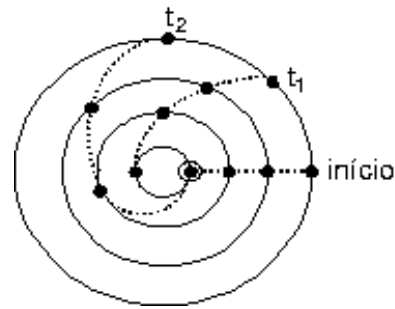


Figura 03.03.11: Um braço material (que em um tempo inicial fosse reto, em um tempo  $t_1$  teria assumido uma forma curva devido à rotação diferencial do disco, e em um tempo  $t_2$  estaria mais enrolado).

Atualmente se sabe que esse modelo não pode explicar a estrutura espiral de galáxias que têm os braços bem marcados, que parecem persistir inalterados por bilhões de anos, pois após algumas rotações galácticas os braços deveriam estar tão enrolados que seriam destruídos. Na Via Láctea, por exemplo, observações de estrelas velhas indicam que nossa Galáxia deve ter no mínimo 12 bilhões de anos. Nesse tempo o material nas vizinhanças do Sol já deve ter executado cerca de 20 rotações em torno do centro galáctico, e após 20 rotações esperar-se-ia que os braços espirais estivessem muito mais enrolados do que as observações indicam.



Figura 03.03.12: Frank Shu (1943-).

Um passo importante no estudo da estrutura espiral foi a teoria de **ondas de densidade**, desenvolvida por **Chia Chiao Lin** (1916-) e **Frank Hsia-San Shu** (1943-) nos anos 1960 (1964, *Astrophysical Journal*, 140, 646).

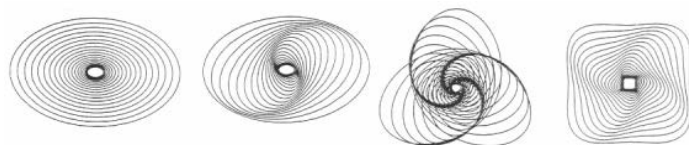


Figura 03.03.13: Diagramas representando a estrutura espiral e suas variações da densidade.

### Estrutura espiral

É explicada pela teoria de ondas de densidade como uma variação de densidade do disco, em forma de onda espiral.

De acordo com essa teoria, a estrutura espiral se deve a uma variação da densidade que se propaga no disco, formando um padrão espiral. O padrão espiral gira como um corpo sólido, com uma velocidade angular aproximadamente igual à velocidade angular das estrelas no meio caminho entre o centro e a borda do disco. Dessa forma, as estrelas e o gás com órbitas próximas ao centro têm velocidade maior do que a do padrão espiral, e passam pela onda; já o material das bordas do disco têm velocidade menor do que a da onda, e é ultrapassado por ela. O início da onda pode ser causado pela presença de uma perturbação gravitacional externa, como a interação com outra galáxia, ou interna, como a presença de uma barra.





Essa teoria explica de maneira natural porque estrelas jovens, nuvens moleculares e regiões HII são encontradas nos braços espirais. **Quando o gás passa pela onda, ele é comprimido fortemente até que a gravitação interna cause o colapso e a formação de estrelas.** Durante os  $10^7$  anos que leva para o material passar pelo braço espiral, as estrelas mais quentes e massivas (O e B) já terminaram sua evolução, e as regiões HII já desapareceram.

### Massas de 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 de matéria visível do Universo.

A melhor maneira de medir a massa é a partir das velocidades das estrelas devido à atração gravitacional entre elas. Em galáxias elípticas, as velocidades medidas são velocidades médias, pois os movimentos das estrelas nesses sistemas têm componentes de mesma magnitude nas três direções, e todas seguem órbitas bastante elípticas.

### Massas de galáxias elípticas

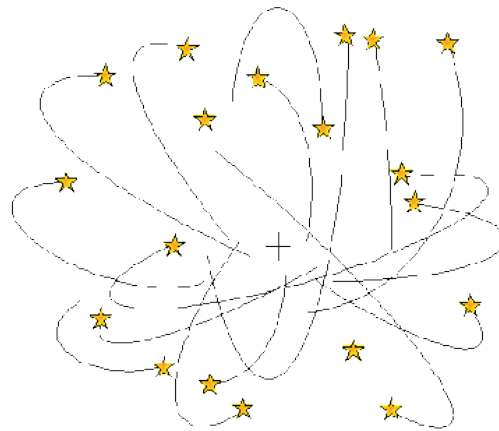


Figura 03.03.14: Diagrama representando estrelas num sistema estacionário.

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 adicionada ao dobro de sua energia cinética é nula, ou seja:

$$E_G + 2E_C = 0$$

onde  $E_G$  é a energia potencial gravitacional e  $E_C$  é a energia cinética.

Podemos considerar uma galáxia como um sistema estacionário, cujas partículas são as estrelas (pois ela não está nem se contraindo nem se expandindo).



Massa de galáxias elípticas

$$M^{\text{elípticas}} = \frac{2v^2 R}{G}$$

A energia cinética das estrelas na galáxia pode ser escrita como:

$$E_c = \frac{Mv^2}{2},$$

onde M é a massa total da galáxia e v é a velocidade média das estrelas, medida pelo alargamento das linhas espectrais<sup>1</sup>.

A energia potencial gravitacional é

$$E_G = \frac{-GM^2}{2R},$$

onde R é um raio médio da galáxia que pode ser estimado a partir da distribuição de luz. Combinando as três equações acima, temos:

$$M^{\text{elípticas}} = \frac{2v^2 R}{G}$$

Esse mesmo método pode ser usado também para calcular as massas de aglomerados de galáxias, assumindo que eles são estacionários. Nesse caso, consideramos cada galáxia como uma partícula do sistema. A energia cinética pode ser calculada pelos deslocamentos das linhas espectrais, e a energia potencial gravitacional pela separação média das galáxias do aglomerado.

### Massas de galáxias espirais

As galáxias espirais têm grande parte das estrelas confinadas ao plano do disco, com órbitas quase circulares, e velocidades que dependem da distância ao centro (figura 03.03.15).

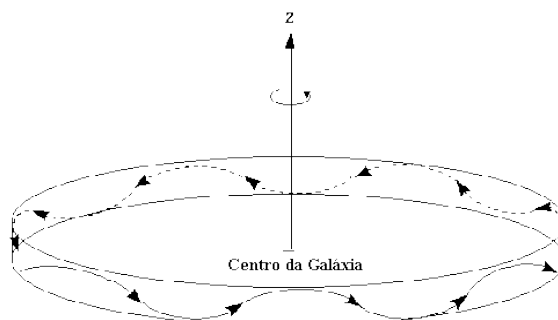


Figura 03.03.15: Diagrama representando o plano do disco onde estão confinadas as galáxias espirais.

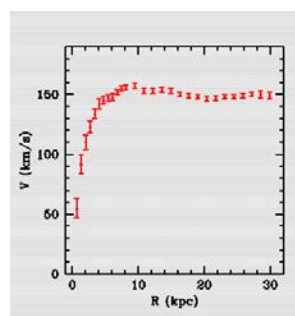


Figura 03.03.16: Curva de rotação para a galáxia espiral NGC3198.



Massa das galáxias  
espirais

$$M(R)^{\text{espirais}} = \frac{R[v(R)]^2}{G}$$

Em galáxias espirais, nas quais o movimento circular das estrelas no disco é dominante sobre o movimento desordenado das estrelas do bojo, a massa pode ser determinada através da 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.

Assumindo que a maior parte da massa da galáxia está no bojo interno, e que, portanto, o movimento rotacional das estrelas no disco é determinado pela massa do bojo, podemos determinar essa massa através da igualdade da força gravitacional com a força centrípeta, da mesma maneira como determinamos a massa da nossa Galáxia.

$$F_G = F_c \rightarrow \frac{GM_G m}{R^2} = \frac{mv^2}{R} \rightarrow M_G = \frac{Rv^2}{G}.$$

Chamando  $M(R)$  a **massa interna** ao raio  $R$ , temos que:

$$M(R)^{\text{espirais}} = \frac{R[v(R)]^2}{G}.$$

Nas partes externas de muitas espirais, a **velocidade**  $v(R)$  não depende mais de  $R$ , ou seja, permanece constante, de forma que quanto maior o raio  $R$ , maior a **massa**  $M(R)$  interna a ele. Como as partes externas das galáxias são muito fracas, a partir de um certo valor de  $R$  a luminosidade não aumenta mais, mas de acordo com a curva de rotação a massa continua crescendo. Isso significa que uma grande parte da massa das galáxias deve ser não luminosa. Isso é conhecido como o problema da massa escura.

## A Formação e a Evolução das Galáxias

Qual a causa de existirem diferentes tipos de galáxia? Quando os primeiros estudos sobre galáxias iniciaram, o fato de as galáxias elípticas terem estrelas em geral mais velhas do que as galáxias espirais levou os astrônomos a pensarem que as diferenças se deviam à evolução, ou seja, as galáxias quando jovens seriam espirais e mais tarde evoluiriam a elípticas.

Entretanto, se determinarmos as idades das estrelas mais velhas em sistemas espirais e em sistemas elípticos, encontramos que **em todos os tipos, essas estrelas são igualmente velhas, em torno de 10 bilhões de anos**. Portanto, todas as galáxias que vemos começaram a se formar mais ou menos na mesma época na história do universo, e, conseqüentemente, têm mais ou menos a mesma idade. **A diferença é que nas espirais e nas irregulares sobrou gás suficiente para continuar o processo de formação estelar até a época presente**.



Todas as galáxias começaram a se formar mais ou menos na mesma época do Universo.

#### Modelo monolítico

As galáxias se formaram e evoluíram isoladamente pelo colapso de grandes nuvens de gás. A forma da galáxia é determinada principalmente pela taxa de formação estelar.



Figura 03.03.17: Imagem de longa exposição do telescópio Espacial Hubble, mostrando que todos os tipos de galáxias já eram encontradas no passado remoto, mas havia uma abundância maior de galáxias pequenas e azuis do que se tem hoje.

Na segunda metade do século passado surgiram as duas teorias principais sobre formação e evolução de galáxias: **o modelo monolítico** propõe que as galáxias se formaram e evoluíram isoladamente pelo colapso de grandes nuvens de gás; o *modelo hierárquico* propõe que as galáxias se formaram e evoluíram através de encontros sucessivos de nuvens menores. Ambas as teorias assumem que as nuvens de gás que deram origem às galáxias se formaram pela condensação de matéria em certas regiões do espaço devido às flutuações de densidade existentes no Universo primordial.

No modelo monolítico, a forma das galáxias seria determinada pela rapidez com que aconteceu a formação estelar (taxa de formação estelar) na nuvem em contração, e pela quantidade de rotação (*momentum angular*) da nuvem. Em nuvens de baixa rotação, a taxa de formação estelar era alta, praticamente todo o gás foi consumido rapidamente e a galáxia resultante é uma elíptica, de forma ovalada e com pouco gás para dar origem a novas estrelas. Em nuvens com alta rotação, a taxa de formação estelar é baixa, parte do gás se deposita em um disco, como consequência da rotação da nuvem. A galáxia resultante então é uma espiral, com gás suficiente para manter formação estelar até a época atual.

No modelo hierárquico, as pequenas nuvens de gás em contração dariam origem preferencialmente a sistemas puramente discoidais, que evoluíram a galáxias espirais, se sofressem poucas interações entre si, ou a elípticas, no caso de os encontros e fusões serem muito frequentes. Neste modelo, o fator determinante para a evolução da galáxia é o meio em que ela se encontra.

Nos últimos 20 anos, o uso de telescópios modernos, que permitem estudar galáxias a grandes distâncias, têm fornecido vários vínculos observacionais para o estudo da evolução das galáxias. Observando galáxias remotas, os astrônomos constataram que no passado havia um grande número de galáxias pequenas, irregulares e com uma taxa muito alta de formação estelar, que não existem no universo atual, sugerindo que elas se fundiram posteriormente dando origem a galáxias maiores.



### Modelo hierárquico

As galáxias se formaram e evoluíram através de encontros sucessivos de nuvens menores. As suas formas são definidas pelo número de interações.

Outra observação importante é a de que galáxias espirais são raras em aglomerados densos de galáxias, onde as galáxias elípticas predominam. Essas observações em geral favorecem o modelo hierárquico, pois evidenciam que as estruturas menores se formaram antes das maiores, e que o meio tem influência sobre a evolução das galáxias, pois interações e colisões podem alterar suas morfologias. No entanto, existem contradições, como as indicações de que todas as estrelas de elípticas em uma dada distância (*redshift*) têm idades similares, o que seria melhor explicado pelo colapso monolítico, e não por fusões sucessivas(as).

Portanto, no momento não existe uma teoria que dê conta de todos os aspectos observacionais para explicar como as galáxias se formaram e evoluíram até o presente, muito menos uma teoria que possa prever sua evolução futura. Provavelmente acontece tanto a formação monolítica, em galáxias isoladas, quanto a hierárquica, em aglomerados de galáxias.

## Resumo

A existência de outras galáxias ficou desconhecida até 1923, quando Hubble, usando o telescópio de 2,5 m de Mt Wilson, mediu a distância de estrelas cefeidas na nebulosa de Andrômeda comprovando que Andrômeda está fora dos limites da Via Láctea.

Classificação morfológica de galáxias:

As espirais são todas as galáxias que têm duas componentes morfológicas:

- disco composto de estrelas, gás e poeira, onde encontra-se a estrutura espiral;
- esferoide de estrelas, com pouco gás e pouca poeira: núcleo, bojo e halo.

As espirais são classificadas de acordo com o tamanho do bojo e do grau de enrolamento dos braços espirais.

Nas espirais ordinárias(S) os braços espirais partem do núcleo e são classificadas em:

Sa, Sb e Sc.

Nas espirais barradas (SB) os braços espirais partem de uma barra formada de estrelas e são classificadas em:

SBa, SBb e SBc.

As elípticas (E) só tem a componente esferoidal, mostrando pouca estrutura interna. Apresentam forma elíptica, não apresentam disco, braços espirais, nem gás nem poeira. Classificam-se de acordo com o achatamento aparente da elipse  $n$  ( $n = 10 \times (1 - b/a)$ ).

- E0 é circular:  $b/a=1$ ;
- E7 é a mais achatada. ( $b/a=0,3$ ).

As irregulares (I) possuem uma estrutura irregular, caótica.





As massas de galáxias espirais,  $M(R)$ , são calculadas observando o movimento orbital das estrelas e do gás no disco.

As massas das galáxias elípticas são calculadas observando-se as velocidades médias das estrelas no interior das galáxias.

Formação de galáxias: as estrelas mais velhas das galáxias espirais são tão velhas quanto as estrelas mais velhas das galáxias elípticas, por isso conclui-se que todas as galáxias começaram a se formar mais ou menos na mesma época que o Universo, e se formaram a partir de grandes nuvens de gás primordial, quando o Universo tinha cerca de um bilhão de anos.

Há duas principais teorias sobre a formação e evolução de galáxias:

- o modelo monolítico que propõe que as galáxias se formaram e evoluíram isoladamente pelo colapso de grandes nuvens de gás; galáxias elípticas se formaram a partir de nuvens densas, com pouca rotação, e alta taxa de formação estelar; galáxias espirais se formaram a partir de nuvens menos densas, com maior rotação, e menor taxa de formação estelar;

- o modelo hierárquico que propõe que as galáxias se formaram e evoluíram através de encontros sucessivos de nuvens menores. Seriam assim formados sistemas puramente discoidais, que evoluíram a galáxias espirais, se sofressem poucas interações entre si, ou a elípticas, no caso de os encontros e fusões serem muito frequentes. Neste modelo, o fator determinante para a evolução da galáxia é o meio em que ela se encontra.

Mesmo não havendo uma teoria satisfatória até o momento, a maioria das observações favorece o cenário hierárquico; porém, algumas favorecem o cenário monolítico.

## Questões de fixação

Após a leitura e compreensão dos assuntos tratados nessa aula responda as questões de fixação a seguir, discuta suas respostas com seus colegas no fórum de discussões.

Qualquer dúvida contate o tutor.

Bom trabalho!

1. Qual a importância da descoberta de Cefeidas em Andrômeda, por Edwin Hubble, na década de 1920, no estabelecimento da natureza extragaláctica das "nebulosas espirais"?

2. Quais os três principais tipos de galáxias que existem, de acordo com sua morfologia?

3. Qual a diferença entre galáxias elípticas e espirais quanto a:

- a) forma?
- b) quantidade de gás e poeira?
- c) população estelar?



4. Estabeleça a diferença entre a componente discoidal e a componente esferoidal em uma galáxia espiral. Qual componente contém os braços espirais? Qual componente contém o bojo? E o halo?

5. Quais são as principais diferenças entre uma galáxia Sa e uma Sc? E entre uma Sa e uma SBa? E entre uma E1 e uma E7?

6. Classifique as seguintes galáxias segundo o tipo de Hubble:

a) uma galáxia que tem aparência caótica e assimétrica.

b) uma galáxia com forma elíptica cujo eixo maior é o dobro do eixo menor.

c) uma galáxia com braços espirais muito enrolados e um bojo grande.

7. Qual é a evidência que indica a presença de matéria não luminosa em galáxias e aglomerados de galáxias?

8. Examine as imagens de galáxias em: [amostra de galáxias de Zolt Frei](#) e escolha entre elas:

a) duas elípticas entre E0 e E3.

b) duas elípticas entre E4 e E7.

c) duas espirais ordinárias vistas frontalmente.

d) duas espirais barradas vistas frontalmente.

e) duas espirais vistas com inclinação moderada.

f) duas espirais vistas de perfil.

g) duas discoidais, sem braços, vistas de perfil.

9. A Grande Nuvem de Magalhães tem um diâmetro angular de  $60^\circ$  e está a uma distância de 54 mil parsecs; Andrômeda tem um diâmetro angular de  $3^\circ$  e está a uma distância de 700 mil parsecs. Qual delas é maior, realmente, e quantas vezes?

10. A galáxia NGC772 é uma espiral Sb, parecida com M31 (Andrômeda). Seu diâmetro angular é  $7'$ , e o de M31 é  $3^\circ$ .

a) Quantas vezes NGC772 está mais distante do que M31, supondo que as duas têm o mesmo tamanho?

b) As magnitudes aparentes de M31 e NGC772 são respectivamente 5 e 12, assumindo que ambas tenham a mesma luminosidade quantas vezes NGC772 está mais distante do que M31?

11. Suponha que a curva de rotação de uma galáxia é achatada a partir de uma certa distância galactocêntrica  $R$ , e suponha que a galáxia tem simetria esférica perfeita. Devido à simetria esférica, resulta que somente a parte da galáxia interior a  $r$  contribui para a aceleração gravitacional de uma estrela ou nuvem de gás a uma distância  $r$  do centro.

a) Se a massa da galáxia, expressa em massas solares, interior a  $r$ , é  $M$ , e se a distância é expressa em unidades astronômicas, e o tempo em anos, qual é o período da estrela ou nuvem de gás em órbita circular a uma distância  $r$  do centro?



b) Qual é a velocidade da estrela, ou nuvem de gás, em UA/ano?

c) Para  $r > R$ , qual a dependência de  $M$  com  $r$ ?

Até a próxima aula!