

Aula 23: Galáxias

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



Fotografia da galáxia de Andrômeda, M31, a galáxia espiral mais próxima da Via Láctea. Fonte: <http://messier.seds.org/m/m031.html>

Introdução

Prezados alunos,

Até o início do século passado não havia distinção clara entre os conceitos de Galáxia e de Universo: seriam todos os objetos celestes pertencentes à Via Láctea ou alguns deles seriam sistemas externos à nossa galáxia? Somente na década de 1920 Hubble mostrou de maneira definitiva a existência de outras galáxias. Atualmente sabemos que existem bilhões de galáxias no universo, com diferentes formas e tamanhos. Esses objetos são o tema da aula de hoje.

Bom estudo!



Objetivos

- 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;
- Discutir os problemas associados à existência da estrutura espiral nas galáxias e as possíveis explicações para ela;
- Explicar como se estima as massas das galáxias, e por que os astrônomos pensam que as galáxias têm matéria escura.

Como sabemos que existem outras 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 outros provaram ser objetos similares à Via Láctea, e externos à ela, ou seja, outras galáxias.

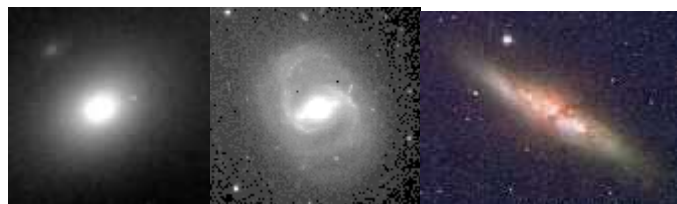


Figura 23.01: Exemplos de galáxias com diferentes formas.

O filósofo alemão **Immanuel Kant** influenciado pelo astrônomo **Thomas Wright**, 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 Via Láctea ou seriam externas a ela.

Somente na década de 1920 Edwin Powell Hubble



Descoberta das galáxias:

Entre 1923 e 1929 Hubble encontra estrelas cefeidas em Andrômeda e outras "nebulosas"; usa a relação período-luminosidade dessas estrelas para determinar as distâncias das nebulosas a que elas pertencem; encontra valores maiores que os limites da nossa galáxia, comprovando tratarem-se de outras galáxias.

proporcionou a evidência definitiva para considerar as "nebulosas espirais" como galáxias independentes, ao identificar uma variável cefeida na "nebulosa" de Andrômeda (M31).



Figura 23.02: Edwin Powell Hubble (1889-1953).



Figura 23.03: 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 tem formas mais ou menos regulares quando observadas em projeção contra o céu, enquadrando-se em duas classes gerais: **espirais e elípticas**. Algumas galáxias não têm forma definida, e são chamadas **irregulares**.

Um dos primeiros e mais simples esquemas de classificação de galáxias, que é usado até hoje, é o "diagrama diapasão", que aparece no livro de 1936 de Edwin Hubble. O diagrama, mostrado na figura 32.04, consiste de três sequências principais de classificação: **elípticas, espirais e espirais barradas**. As galáxias **irregulares** formam uma quarta classe de objetos, que não aparecem no esquema

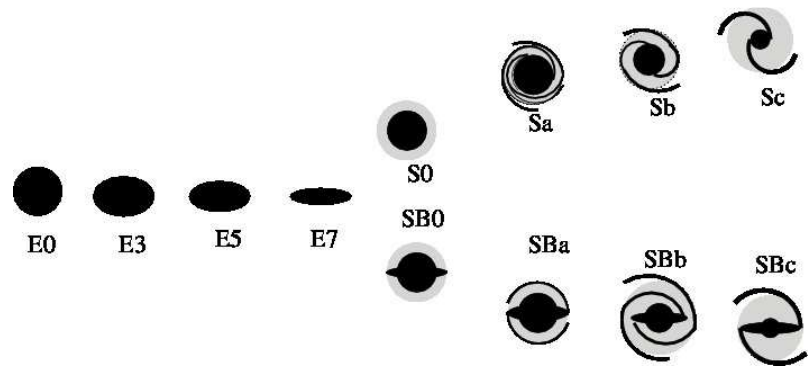


Figura 23.04: Diagrama "diapasão" de Hubble para a classificação de galáxias: Elípticas (E), espirais (S) e espirais barradas (SB). As irregulares não aparecem nesse diagrama.

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, como mostrado na tabela 23.01.

Tabela 23.01: Classificação das estrelas espirais e suas características.

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

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.

Por exemplo, uma galáxia Sa é uma espiral com núcleo grande e braços espirais pequenos, bem enrolados, de difícil resolução, como a primeira imagem da fig. 23.05.



Figura 23.05: 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 23.06.



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.

Espiraís 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.

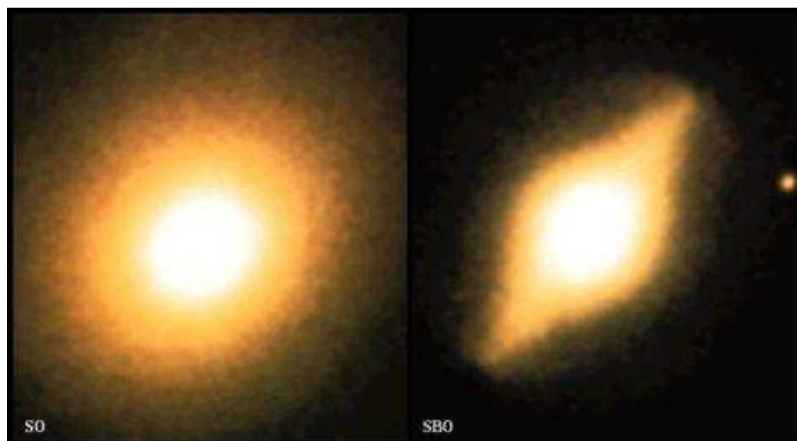


Figura 23.06: Fotografias de galáxias à esquerda SO e à direita SBO.

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, como pode ser visto nas imagens da fig. 23.07.



Figura 23.07: 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.

A figura 23.08 mostra exemplos de galáxias elípticas.



Figura 23.08: As galáxias elípticas são classificadas pela letra E seguida de um número n entre 0 e 7, de acordo com o grau de achatamento E_n . Da esquerda para a direita temos E0, E3 e E6.

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, como M87 (fig. 23.09), que têm massas de até 10 trilhões de massas solares, são raras, mas as elípticas anãs são o tipo mais comum de galáxias.



Figura 23.09: 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 (fig. 23.10). 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.

A tabela 23.02 resume as principais características das galáxias elípticas, espirais e irregulares.

Irregulares (I):

Apresentam estrutura irregular ou caótica.

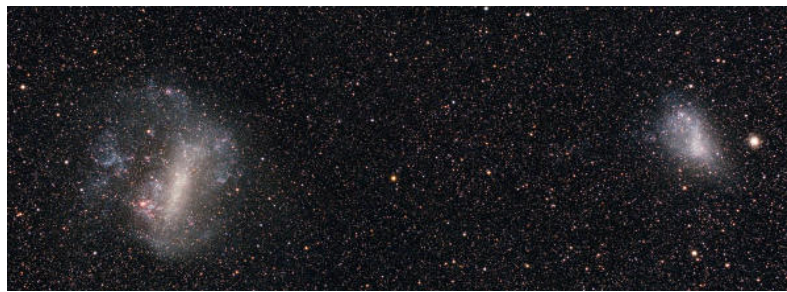


Figura 23.10: Foto das galáxias irregulares. Grande Nuvem de Magalhães (a esquerda) e Pequena Nuvem de Magalhães (à direita). A Grande Nuvem está a 176 mil anos-luz de distância da Terra e Pequena Nuvem a 210 mil anos-luz. São consideradas galáxias satélites da Via Láctea. Crédito da foto: [Wei-Hao Wang](#).

Tabela 23.02: 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 2×10^9
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	Azulada
	Amarelada no bojo		
Estrelas mais velhas	10^{10} anos	10^{10} anos	10^{10} anos
Estrelas mais jovens	Recentes	10^{10} anos	Recentes

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 velocidade angular menor do que o material mais próximo do centro, a forma espiral seria consequência natural da rotação galáctica (fig. 23.11).

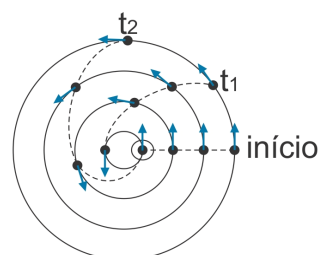


Figura 23.11: Formação de um braço espiral "material": em um disco não-rígido, mesmo que a velocidade linear seja constante ao longo do raio (setas azuis), os pontos mais externos têm velocidades angulares do que



os mais internos, devido a terem órbitas maiores. Como consequência, um braço material que em um tempo inicial seja reto, em um tempo t_1 terá assumido uma forma curva e em um tempo t_2 estará mais enrolado ainda.

Atualmente sabe-se que esse modelo não pode explicar a estrutura espiral de galáxias que têm os braços bem marcados, os quais 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 50 rotações em torno do centro galáctico, e após 50 rotações esperar-se-ia que os braços espirais estivessem muito mais enrolados do que as observações indicam.

Um passo importante no estudo da estrutura espiral foi a teoria de **ondas de densidade**, desenvolvida por **Chia C. Lin** e **Frank H. Shu** nos anos 1960.

De acordo com essa teoria, a estrutura espiral se deve a uma onda de compressão que se propaga no disco formando um padrão espiral. A espiral aparece naturalmente se as órbitas elípticas estão sistematicamente giradas umas em relação às outras (fig. 23.12), fazendo com que as órbitas em certos lugares fiquem mais próximas umas das outras. Dessa forma, a onda pode ser pensada como um "congestionamento de trânsito" no movimento das estrelas e do gás presentes no disco. O congestionamento comprime o gás e dispara a formação estelar.

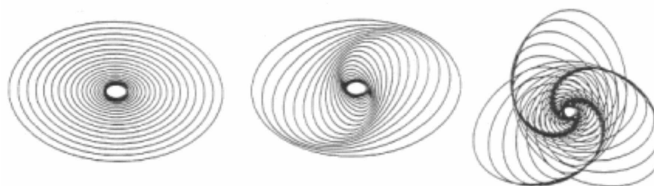


Figura 23.12: Se todas as órbitas têm o eixo maior na mesma direção (figura da esquerda), nenhuma espiral aparece. Mas se as órbitas estão giradas continuamente umas em relação às outras, surgirão adensamentos em forma espiral (figuras do centro e da direita).

O material do disco tem rotação diferencial (velocidade angular diminui com o aumento do raio orbital), enquanto 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 giram mais rápido do que a onda, e passam por ela; já o material das bordas do disco gira menos rápido do que a onda, e é ultrapassado por ela.

Onda de densidade:

É uma onda de compressão que se propaga no disco. Quando o gás do disco passa pela onda (ou é alcançado por ela) se comprime e forma estrelas.

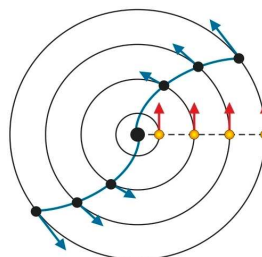


Figura 23.13: Braço espiral como onda de densidade: enquanto o material do disco percorre suas órbitas com velocidade linear constante ao longo do raio (e consequentemente velocidade angular decrescente), a onda viaja como um corpo rígido, com velocidades lineares crescentes para fora, de modo a manter a mesma velocidade angular em todo o raio.



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 (ou é ultrapassado pela onda, nas partes mais externas) ele é comprimido fortemente, disparando a formação estelar.** Durante os 10^7 anos que leva para o material passar pelo braço espiral, as estrelas mais quentes e massivas (O e B) já evoluíram e as regiões HII já desapareceram. Isso explica a falta de estrelas azuis e regiões HI na região entre braços.

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 não se dão em um plano, tendo componentes de mesma magnitude nas três dimensões espaciais, e todas seguem órbitas bastante elípticas.

Massas de galáxias elípticas

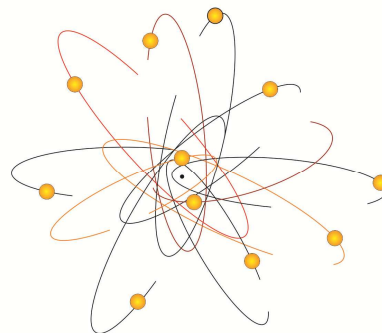


Figura 23.14: Diagrama representando o movimento das estrelas numa galáxia elíptica. As órbitas são elípticas e aleatórias, sem direção preferencial.

As massas das galáxias elípticas podem ser determinadas a partir do [Teorema do Virial](#), segundo o qual em um sistema estacionário auto-gravitante a energia potencial gravitacional das partículas é igual ao dobro de sua energia cinética, de forma que:

$$E_G + 2E_C = 0$$



Massa de galáxias elípticas:

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

onde E_G é a energia potencial gravitacional e E_c é a energia cinética.

Considerando uma galáxia elíptica como um sistema estacionário auto-gravitante cujas partículas são as estrelas, a energia cinética total das estrelas 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.

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 23.15).

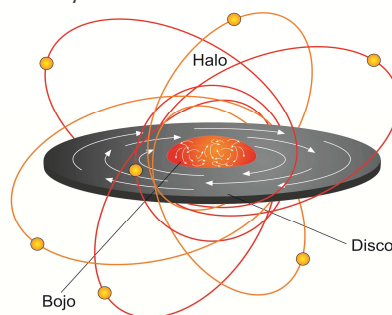


Figura 23.15: Diagrama representando o movimento das estrelas em uma galáxia espiral: as estrelas do disco se movem em órbitas coplanares e quase circulares; as estrelas do bojo e do halo têm órbitas com orientações e excentricidades variadas.

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 (figura 23.16). As velocidades de rotação em cada ponto são obtidas medindo o deslocamento Doppler das linhas espectrais.

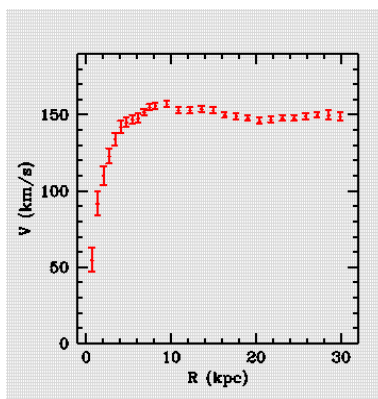


Figura 23.16: Curva de rotação para a galáxia espiral NGC3198.

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 evolução das galáxias

O fato de as galáxias elípticas terem estrelas em geral mais velhas do que as galáxias espirais pode sugerir que as espirais sejam mais jovens do que as elípticas, mas atualmente sabe-se que a idade das estrelas em uma galáxia não está relacionada de forma simples e única à idade da galáxia.

Além disso, 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, mas não necessariamente com a mesma forma que vemos hoje. Observações da radiação cósmica de fundo mostram que o universo primordial apresentava pequenas flutuações de densidade. Os astrofísicos em geral concordam que essas flutuações permitiram que a matéria se aglomerasse, formando as nuvens proto-galácticas. Mas não existe um consenso sobre o tamanho

Massa das galáxias espirais:

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



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

Modelos de formação das galáxias

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.

Hierárquico:

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

dessas nuvens nem sobre o processo pelo qual elas originaram as galáxias que vemos hoje.

Na segunda metade do século passado surgiram as duas teorias principais sobre como as galáxias se formam e evoluem: 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 forma final 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. Outra observação importante é a de galáxias elípticas são predominantes em aglomerados densos de galáxias, onde as galáxias espirais são raras. Também se sabe que colisões entre galáxias são fenômenos relativamente comuns em aglomerados de galáxias, e que as interações e colisões alteram as morfologias desses objetos: galáxias com [anéis](#) e galáxias com [caudas](#) são exemplos de formas moldadas por interações, e simulações mostram que o encontro de duas galáxias espirais pode gerar uma galáxia elíptica. Na Aula 24 vamos ver mais sobre esse assunto.



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. No entanto, existem contradições, principalmente em relação às galáxias elípticas, pois muitas delas parecem ser muito velhas e terem todas as estrelas da mesma idade, o que não condiz com a formação hierárquica.

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. As pesquisas atuais estão direcionadas à elaboração de um modelo que combine os cenários de colapso monolítico e de formação hierárquica de maneira a explicar como as condições iniciais das protogaláxias e o meio em que elas estão se formaram levaram às formas que elas apresentam hoje.

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 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 propõe que as galáxias se formaram e evoluíram através de encontros sucessivos de nuvens menores. Seriam assim formados sistemas puramente discoidais, que evoluiriam 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.

A maioria das observações favorece o cenário hierárquico, porém algumas são melhor explicadas pelo cenário do colapso monolítico. Não existe até o momento um consenso entre os astrônomos de por que as galáxias se formaram e evoluíram.

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.

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° e está a uma distância de 54 mil parsecs; Andrômeda tem um diâmetro angular de 3° 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° .

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 ?

12. De acordo com o modelo de colapso monolítico, quais os fatores determinantes para a forma da galáxia gerada? E de acordo com o modelo hierárquico?

