

Capítulo 16

OUTRAS GALÁXIAS

Em nosso Universo temos, além da nossa Galáxia, diversos outros tipos de galáxias, de formas, dimensões e estruturas diferentes. Neste capítulo estudaremos estas outras entidades, que juntamente com a Via Láctea, são os constituintes das maiores estruturas conhecidas no Universo: os aglomerados de galáxias. Os tópicos abordados serão os seguintes:

TIPOS DE GALÁXIAS

- Galáxias Espirais
 - Barras
- Galáxias Elípticas
- Galáxias Lenticulares
- Galáxias Irregulares

PROPRIEDADES INTEGRADAS DAS GALÁXIAS

- Luminosidade e Forma
- As Cores
- Conteúdo Estelar

QUASARES E GALÁXIAS ATIVAS

- Quasares
- Galáxias Ativas
- Buracos Negros Supermassivos



Figura 1- Galáxia de Andrômeda M31.

Bibliografia

- *Astronomia & Astrofísica* - Apostila do Curso de Extensão Universitária do IAG/USP (ed. W. Maciel) Capítulos I e II de autoria do Prof. R. Boczko (1991).
- *Introductory Astronomy & Astrophysics*, de Zeilik & Smith (Capítulo 01)
- *Astronomy: a beginner's guide to the Universe*, Chaisson & McMillan

OUTRAS GALÁXIAS

Existem bilhões de galáxias além da nossa Via Láctea. Contrário ao observado para a Via Láctea, a maioria delas não tem braços espirais. Apesar do grande número de galáxias existentes elas possuem várias propriedades em comum. Edwin Hubble nos anos 20 começou a catalogar galáxias, baseado na forma destas. Este trabalho foi feito após medidas de curvas de luz de Cefeidas que mostraram que há várias Galáxias além da nossa Via Láctea. A classificação de Hubble em galáxias espirais, espirais barradas, elípticas, irregulares e subclasses é usada até os dias de hoje.

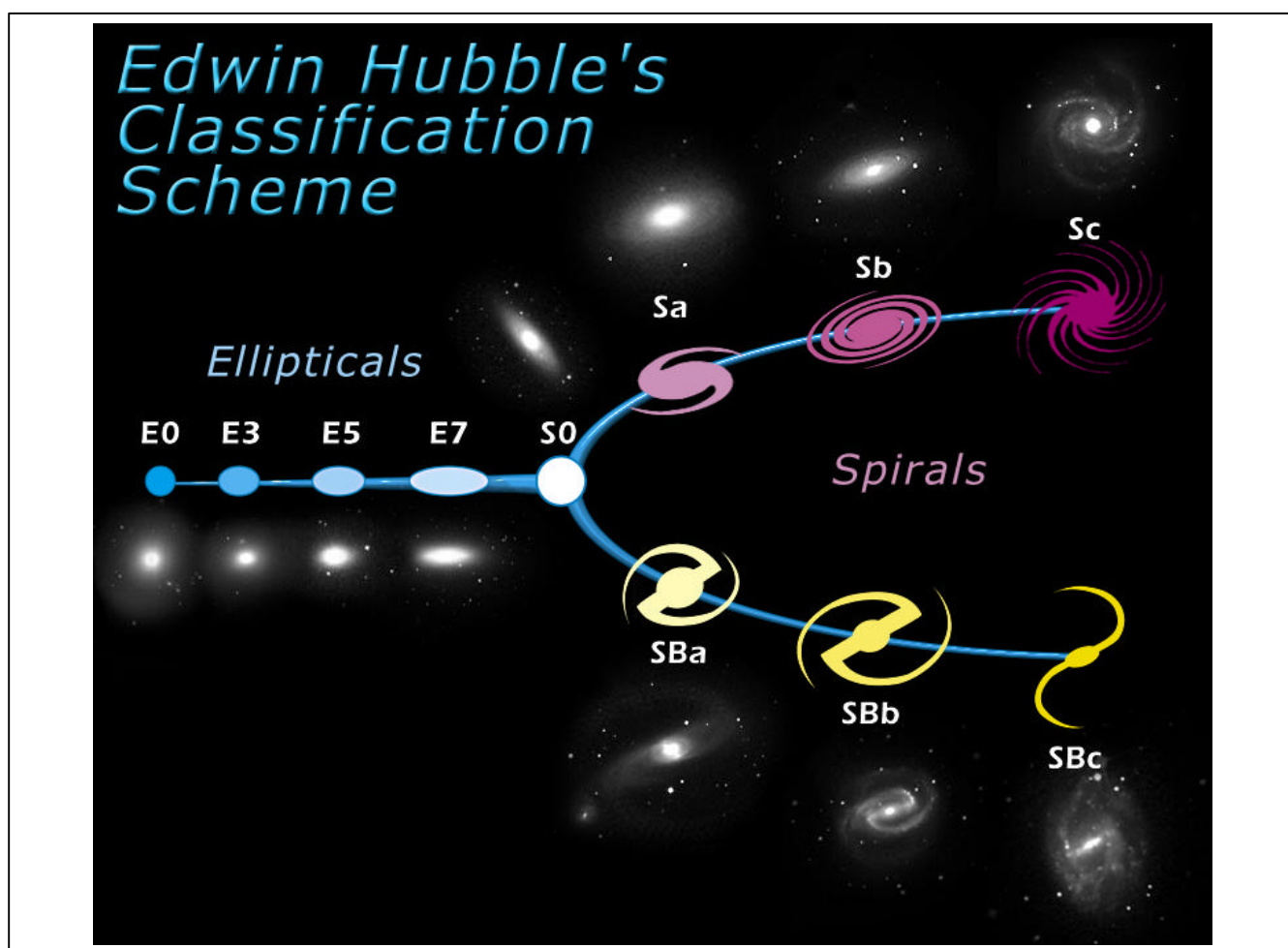


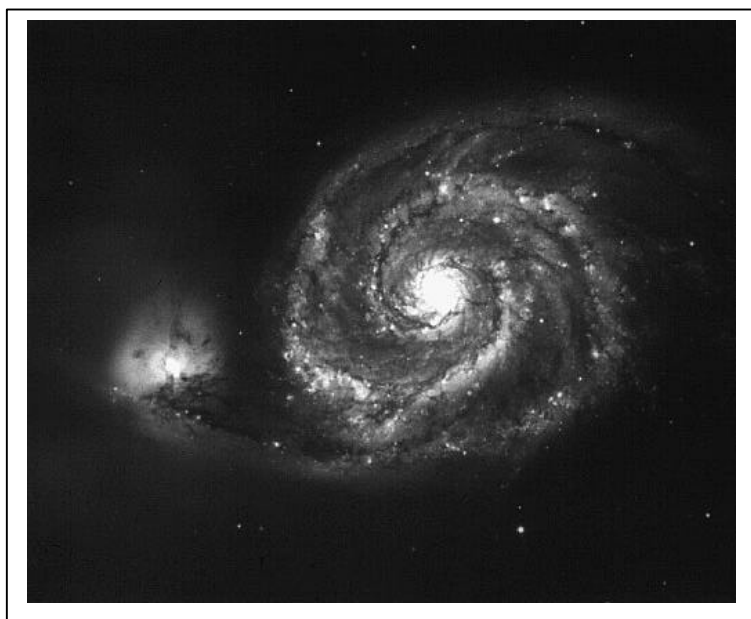
Figura 2. Classificação das galáxias segundo critério de Edwin Hubble.

TIPOS DE GALÁXIAS

GALÁXIAS ESPIRAIS

Galáxias espirais são caracterizadas por um bojo nuclear e braços espirais. A galáxia espiral mais próxima de nós é a Galáxia de Andrômeda, ou M31, que é visível a olho nu no hemisfério norte.

Hubble notou que quanto maior o bojo nuclear de uma galáxia espiral, mais próximos do bojo se encontram os braços. Galáxias com grandes bojos e braços "colados" a este são chamadas "Sa". Galáxias com pequenos bojos e braços muito abertos são chamadas de "Sc". Galáxias com características intermediárias entre estes dois casos são chamadas de "Sb".



Os braços das galáxias espirais nem sempre são orientados em um ângulo o qual facilite vê-los. Entretanto, mesmo em casos onde os braços não podem ser vistos, a galáxia ainda pode ser classificada, pelo tamanho do bojo central. Outra propriedade que varia entre as várias classes de Galáxias espirais é a aparência dos braços, às vezes largos, caóticos e não definidos e às vezes muito bem definidos, com regiões HII brilhantes e associações OB.

Figura 3 . Galáxia espiral M51.

Embora a maioria das galáxias espirais tenha dois braços, muitas têm mais que dois. A Via Láctea, por exemplo, tem pelo menos quatro. Não se sabe porque o número de braços varia de galáxia a galáxia.

Barras

A maior parte dos astrônomos acredita que a Via Láctea seja uma galáxia espiral. Muitos também acreditam que a Galáxia possua uma barra de estrelas que atravessa o bojo nuclear. Os braços em galáxias espirais barradas se estendem a partir dos finais da barra e não do bojo. Modelos de galáxias sugerem que barras se formam em galáxias que têm menor quantidade de matéria escura que uma galáxia típica.

A correlação entre a posição dos braços espirais e o tamanho do bojo presente para as espirais normais também existe para as espirais barradas.

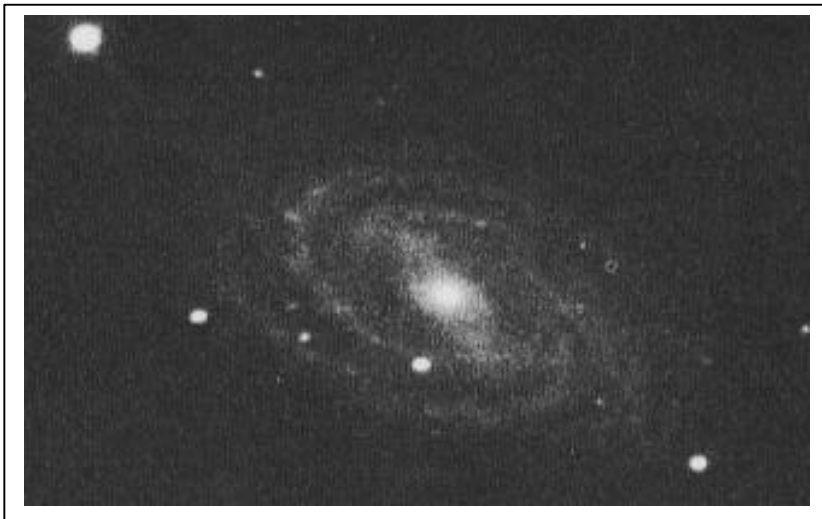


Figura 4 – Galáxia espiral barrada M109.

A proporção de galáxias normais para galáxias barradas é de 2:1.

GALÁXIAS ELÍPTICAS

Galáxias elípticas (que são chamadas assim devido a sua forma) não têm braços espirais. Hubble subdividiu a classe das elípticas de acordo com o grau de achatamento destas, como projetado no céu. As galáxias mais redondas são chamadas E0 e as mais alongadas E7.

Galáxias elípticas têm uma aparência muito mais regular do que galáxias espirais. Além disso, estas contêm pouco gás interestelar e poeira. Uma vez que estrelas formam-se em nuvens interestelares, estas galáxias têm baixa taxa de formação de estrelas. Espectros de galáxias elípticas confirmam que estas contêm, em sua maioria, estrelas de população II, de baixa massa e de vida longa. Galáxias elípticas podem ter tamanhos variados, das menores às maiores galáxias do universo. As galáxias elípticas gigantes são muito menos numerosas que as anãs elípticas. Estas últimas contêm apenas alguns milhões de estrelas. Elas são difíceis de ser detectadas quando estão a grandes distâncias.

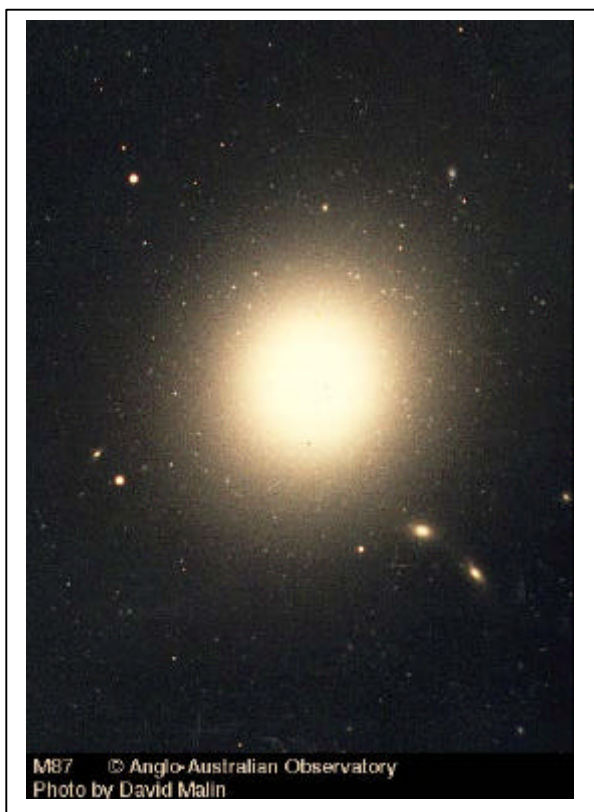


Figura 5 – Galáxia elíptica M87, do aglomerado de galáxias de Coma.

GALÁXIAS LENTICULARES

Em 1936, Hubble introduziu um novo tipo de galáxias, entre E e S, o tipo S0 ou lenticular. Esta introdução foi feita hipoteticamente e somente depois foi confirmada a existência desse tipo de galáxia, através de observações. Elas são tão achatadas intrinsecamente quanto as espirais. Elas têm uma condensação central geralmente importante, não possuem braços e têm um envelope ao redor do núcleo.



Figura 6 – Galáxia lenticular M82

As lenticulares podem ter barras, e neste caso são chamadas de lenticulares barradas (Sb0).

GALÁXIAS IRREGULARES

Estas galáxias têm esta denominação por não possuir simetria ou estrutura bem definidas. Elas são subdivididas em dois grupos distintos. As irregulares de tipo I (Irr I), tipo magelânico, têm um conteúdo de estrelas semelhante às Nuvens de Magalhães, são ricas em estrelas e regiões HII e têm uma distribuição de brilho bem caótica. Já as irregulares de tipo II (Irr II) são mais raras. Elas não estavam na classificação original de Hubble. São muitas vezes consideradas galáxias peculiares. Elas não apresentam resolução em estrelas. Acredita-se que muitas delas foram resultados de colisões entre galáxias.



Figura 7 – Exemplos de galáxias irregulares .

AS PROPRIEDADES INTEGRADAS DAS GALÁXIAS

Luminosidade e forma

A definição do que é a luminosidade total ou a magnitude de uma galáxia é relativamente imprecisa, pois as galáxias não têm limite bem definido. Para se evitar a ausência de contornos bem definidos, utiliza-se a magnitude dentro de uma dada isofota (curva de mesma luminosidade). As medidas absolutas das galáxias vão desde $M_V = -23$ a -9 . A faixa de magnitude absoluta depende do tipo morfológico da galáxia. As galáxias elípticas gigantes podem chegar a magnitudes mais brilhantes do que as espirais.

As galáxias com magnitudes $M_V > -18$ mag são geralmente denominadas galáxias anãs. Elas têm em sua grande maioria um baixo brilho superficial central. Existem vários exemplos de galáxias anãs ao redor da Via Láctea.

A nossa Galáxia vista de fora teria uma magnitude absoluta de cerca de $M_V = -21$. A faixa em magnitudes absolutas de -9 a -22 corresponde a uma faixa em luminosidade de 10^6 a 10^{11} luminosidades solares.

A técnica mais usada para determinar a luminosidade das galáxias hoje em dia é o imageamento fotométrico.

A forma da galáxia é um parâmetro que pode ser determinado por observações através de imagens fotométricas. Para as galáxias elípticas o brilho varia gradualmente do centro para fora, não mostrando descontinuidades. A distribuição de luminosidade em espirais é complicada pela presença dos braços espirais e efeitos de orientação. Três componentes são identificadas, o disco, a região nuclear, que tem um perfil de brilho semelhante ao das elípticas e os braços espirais.

As cores

Existe uma correlação direta entre o tipo morfológico e a cor observada de uma galáxia. As elípticas tendem a ser mais avermelhadas que as espirais, que por sua vez são mais avermelhadas que as irregulares. Dentro de um grupo espiral, as galáxias são mais vermelhas quanto maior o núcleo e menores os braços. Uma maneira de descrever a cor de uma galáxia é especificar a classe espectral das estrelas cuja cor se assemelha à da galáxia. As galáxias elípticas e Sa têm a mesma cor que as estrelas K, as Sb se assemelham às estrelas de classe F a K e galáxias Sc e Irr têm a mesma cor que classes A a F.

Conteúdo estelar

A distribuição de cor dá uma indicação dos tipos estelares que compõem as várias partes das galáxias.

A progressão de cor das irregulares mais azuis para as elípticas mais avermelhadas reflete uma diminuição do número relativo de estrelas jovens de um tipo para outro. Uma população II velha predomina nas elípticas e as irregulares possuem uma população I bem mais jovem. A mistura de populações nas espirais é determinada pelo tamanho do núcleo (população II velha) relativo ao dos braços espirais (população I jovem). Há também uma tendência para o azul nas partes mais externas do disco. Por exemplo, nas Sc os braços mais externos parecem conter populações estelares mais jovens e portanto mais gás do que os braços mais internos. A distribuição dos vários tipos de estrelas em galáxias espirais pode ser descrita da seguinte maneira: estrelas mais velhas e vermelhas foram formadas mais próximas ao núcleo, uma população que se encontra no disco, achatado, com estrelas parecidas com o Sol, têm idade intermediária, e as estrelas jovens, formadas recentemente, se localizam nos braços espirais.

Na tabela abaixo encontram-se resumidas as principais propriedades dos tipos mais comuns de galáxias.

Tabela 1 – Propriedades das galáxias elípticas, irregulares e espirais.

Propriedade	Galáxia Elíptica	Galáxia Espiral	Galáxia Irregular I
massa (M_{\odot})	10^5 a 10^{13}	10^9 a 4×10^{11}	10^8 a 3×10^{10}
magnitude absoluta	-9 a -23	-15 a -21	-13 a -18
luminosidade (L_{\odot})	3×10^5 a 10^{10}	10^8 a 2×10^{10}	10^7 a 10^9
M / L ($M_{\odot} / L_{\odot} = 1$)	100	2 a 20	1
diâmetro (kpc)	1 a 200	5 a 50	1 a 10
população estelar	II e I velha	I (braços), I – II (espalhada)	I, algumas II
poeira	quase nenhuma	sim	sim
$M_{\text{HI}} / M_{\text{T}}$ (%)	0	2 (Sa), 5 (Sb), 10 (Sc)	22
tipo espectral	K	K (Sa), F / K (Sb), A / F(Sc)	A / F

QUASARES E GALÁXIAS ATIVAS

O Sol irradia muito mais energia que qualquer corpo terrestre. Uma estrela ao explodir como supernova pode liberar muito mais energia do que o Sol em toda a sua vida. No entanto, mesmo as emissões devido à explosão de supernovas não são comparáveis às de um quasar ou de uma galáxia ativa. Alguns quasares emitem mais energia em um segundo do que o Sol emite em 200 anos.

Um pouco de história

O desenvolvimento da rádio astronomia no final dos anos 40 abriu uma nova era. O primeiro telescópio rádio foi construído em 1936 por Grote Reber no quintal de sua casa em Illinois. Em 1944 Reber detectou forte emissões de rádio vindas da constelação de Sagitarius, Cassiopeia e Cygnus. Duas destas fontes, chamadas de Sagitarius A e Cassiopeia A pertencem a nossa Galáxia. A primeira é o núcleo galáctico e a segunda uma remanescente de supernova. No entanto, para a terceira fonte descoberta por Reber, chamada de Cygnus A, não foi fácil descobrir sua natureza. O mistério só foi desvendado quando em 1951, Walter Baad e Rudolph Minkowski, usando o telescópio Palomar descobriram uma galáxia peculiar na mesma posição das observações de rádio.

A galáxia associada com a fonte de rádio Cygnus A é muito pouco luminosa. Ainda sim, Baade e Minkowski conseguiram obter seu espectro e determinaram um redshift correspondente a uma velocidade de 17000 km/s. De acordo com a lei de Hubble, esta velocidade indica que Cygnus A está a 750 milhões de anos-luz da Terra.

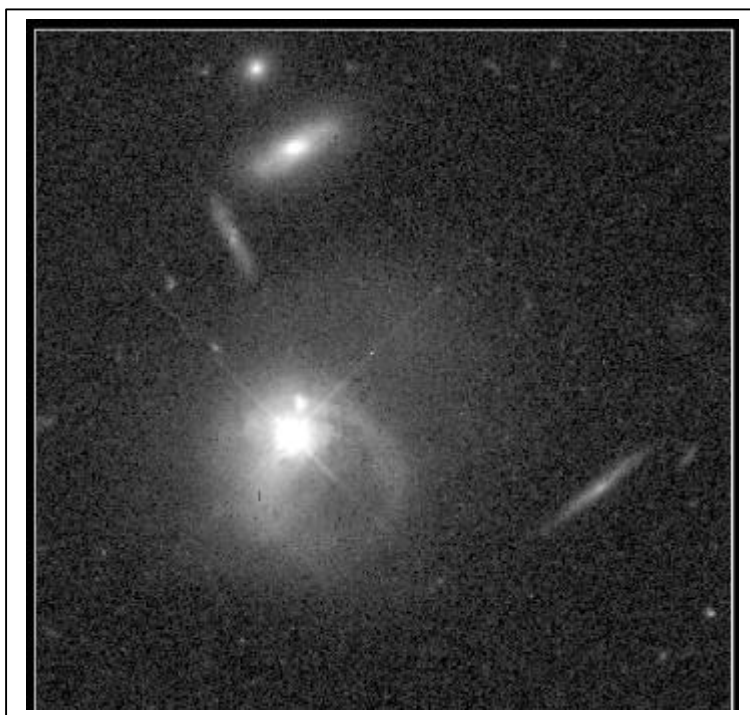


Figura 7 – Quasar PKS2349 (NASA).

A distância enorme de Cygnus A surpreendeu os astrônomos porque esta é uma das fontes de rádio mais brilhante no céu. Embora seja quase não visível através do telescópio de Palomar, a emissão de rádio de Cygnus A pode ser medida pelo equipamento de um astrônomo amador. Sua energia, deve portanto ser enorme. De fato, sua luminosidade em rádio é 7 ordens de magnitude maior que a da galáxia de Andrômeda. O objeto que corresponde a Cygnus A tem que ser um objeto extraordinário para ter tais características.

Quasares

Cygnus A (Cyg A) não é a única fonte com forte emissão de rádio a grandes distâncias. Já em 1950 os rádio astrônomos se ocupavam de fazer longas listas de fontes de rádio. Uma das listas mais famosas, intitulada “O Terceiro Catálogo de Cambridge” foi publicado em 1959. Cyg A, por exemplo, está na lista de Cambridge. Devido a extraordinária luminosidade rádio de Cyg A, astrônomos eram muito interessados na

época em descobrir se algum outro objeto da lista tinha semelhantes propriedades a Cyg A.

Um caso interessante nesta lista era 3C 48. Em 1960, o astrônomo Allan Sandage usou o telescópio de Palomar para descobrir uma “estrela” na posição desta fonte de rádio. Devido ao fato de estrelas normais não serem emissoras em rádio, este fato pareceu muito estranho a comunidade científica. Quando um espectro foi obtido, nenhuma das linhas espectrais deste objeto puderam ser identificadas. Muitos pensaram na época que 3C 48 era simplesmente uma estrela estranha da nossa Galáxia.

Outra “estrela” chamada 3C 273 foi descoberta em 1962. Foi descoberto que esta tinha uma cauda de gás para um lado. A exemplo de 3C 48 esta nova “estrela” também emitia em uma série de linhas espectrais que ninguém podia identificar.

Uma grande descoberta foi finalmente feita em 1963, quando o astrônomo Maarten Schmidt descobriu que quatro das linhas espectrais mais brilhantes de 3C 273 estavam posicionadas relativamente umas às outras da mesma maneira que as linhas de hidrogênio. No entanto, estas linhas de emissão de 3C 273 eram encontradas em comprimentos de ondas muito mais longos que usualmente. Em outras palavras, descobriu-se que 3C 273 tinha um enorme redshift e portanto não podia ser uma estrela da Galáxia.

Espectros de estrelas da nossa Galáxia exibem pequenos desvios Doppler porque estas estrelas não podem estar se movendo muito rapidamente ou elas já teriam escapado de nossa Galáxia. O que Schmidt descobriu é que 3C 273 tinha um redshift que corresponde a 15% da velocidade da luz. De acordo com a lei de Hubble a distância até este objeto é de 2 bilhões de anos-luz.

3C 273 tem várias linhas em emissão. Lembre-se que as linhas de emissão são causadas pelos átomos excitados emitindo radiação em comprimentos de ondas específicos. A emissão muito forte em algumas destas linhas sugere que o aquecimento do gás é feito por um processo diferente do conhecido até então.

Inspirados pelo sucesso de Schmidt na descoberta da natureza e redshift de 3C 273 outros astrônomos estudaram 3C 48 em detalhe e descobriram que este objeto também está muito distante (com uma velocidade de recessão de um terço da velocidade da luz).

Devido a aparência estelar destes dois objetos e emissão muito forte em rádio eles foram chamados de “fontes de rádio quase estelares” ou quasares ou QSO’s. Todos os quasares parecem estrelas mas emitem uma energia enorme. Eles não precisam necessariamente ser fontes de rádio. Na verdade, a grande maioria deles não emite em

rádio. Mesmo assim todos são chamados de quasares. Uma enorme quantidade destes objetos foram descobertos desde os anos 60. Quase todos têm redshifts enormes, em alguns casos correspondendo a 90% da velocidade da luz. Quando observamos estes quasares, nós estamos medindo objetos que existiram quando o universo era muito jovem.

Quasares emitem muita energia em um volume pequeno

Galáxias são grandes e brilhantes. Uma galáxia gigante típica, como a nossa Via Láctea, contém vários milhões de estrelas e uma luminosidade correspondente a 10 bilhões de sóis. Galáxias elípticas são 10 vezes mais brilhantes que isto mas ainda assim, se colocadas às distâncias de um quasar típico, elas nunca poderiam ser vistas. O fato dos quasares serem vistos a distâncias enormes significa que eles são muito mais luminosos que galáxias normais. Hoje sabemos que um quasar típico é 100 vezes mais brilhante que a nossa Via Láctea.

O estudo de quasares nos anos 60 levou à descoberta de que muitos deles apresentam flutuações em luminosidade. Um exemplo é 3C 279 que sofreu um aumento em sua luminosidade por um fator 25 durante alguns anos por volta de 1937. Estas flutuações em luminosidade possibilitaram aos astrônomos determinar os tamanhos máximos dos quasares. Nós sabemos que um objeto não pode variar em brilho mais rapidamente que o tempo que a luz leva para atravessá-lo. Por exemplo, um objeto que tem 1 ano-luz de diâmetro não pode variar em brilho com um período menor que um ano.

O brilho de vários quasares varia em intervalos de alguns meses, semanas, dias ou mesmo horas. Observações recentes em raios-X revelam grandes variações que ocorrem em períodos de três horas. Esta variação rapidíssima mostra que a fonte da energia do quasar deve ser muito pequena. A região emissora de um quasar típico (que emite a luminosidade de 100 galáxias) tem um diâmetro de apenas um dia-luz. Se os quasares realmente estão a distâncias enormes (como indicado por seus redshifts), algo deve produzir esta luminosidade de 100 galáxias em um volume correspondente ao tamanho do sistema solar!

Galáxias Ativas

Desde a descoberta dos quasares, foram descobertos também muitos objetos com luminosidade entre os quasares distantes e galáxias típicas. Estes objetos são galáxias ativas. Elas têm um núcleo brilhante de forma estelar, com muitas linhas de emissão. Algumas delas são altamente variáveis. Algumas galáxias tem caudas que emanam do centro e a grande maioria destes objetos são mais brilhantes que galáxias comuns.

Algumas destas galáxias são classificadas como peculiares, devido a sua forma diferente de todas as classificações de Hubble.

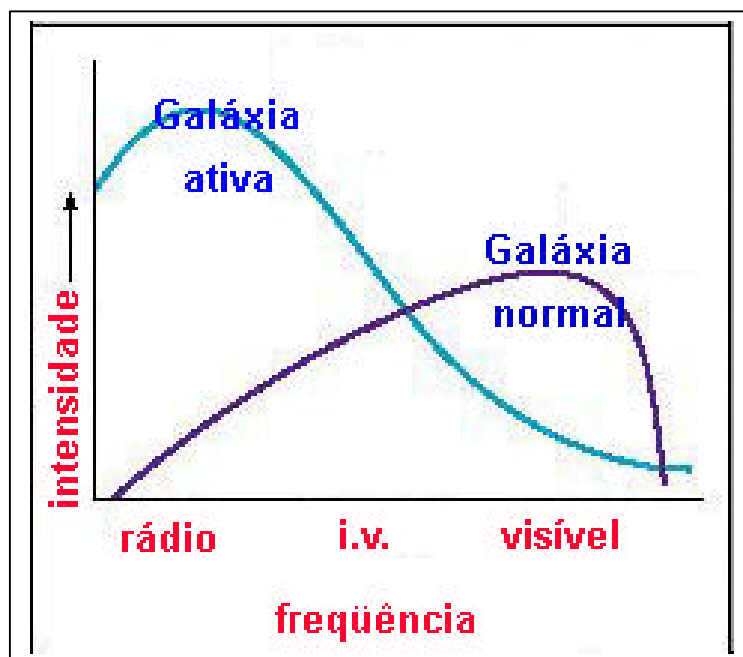


Figura 8 – Comparação entre as intensidades de radiação emitidas por uma galáxia normal e uma ativa.

Carl Seyfert foi o primeiro a descobrir galáxias ativas, quando estava estudando galáxias espirais. Uma sub-classe grande de galáxias ativas é desde então chamada de galáxias Seyfert. Aproximadamente 10% das galáxias brilhantes no céu são galáxias Seyfert. Algumas das galáxias Seyfert são tão brilhantes quanto aos quasares menos luminosos e têm características muito similares às destes. Por isso muitos astrônomos acham que galáxias Seyfert são na verdade quasares de baixa luminosidade.

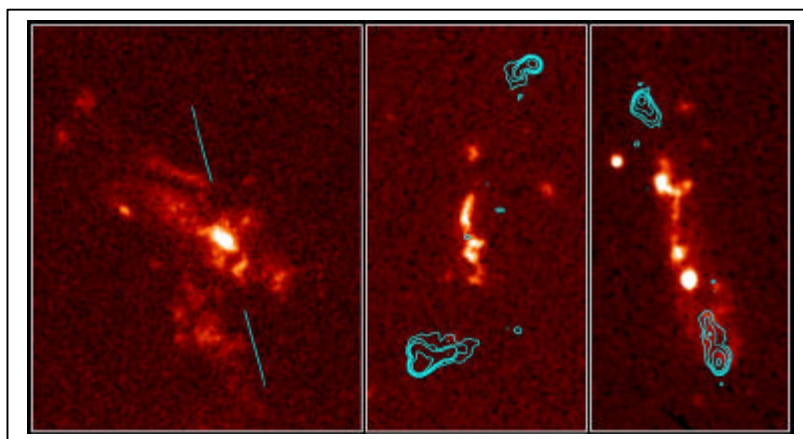


Figura 9 – Radiogaláxias, onde são mostrados os lóbulos de emissão de energia no comprimento de onda de rádio (NASA).

Algumas galáxias Seyfert apresentam evidências de que sofreram colisões recentes. Um exemplo é a galáxia NGC 1275, onde são vistos dois núcleos centrais e uma ejeção de matéria ao meio intergaláctico.

Ejeção de matéria a altas velocidades é comum em galáxias ativas. Isto pode ser observado melhor em comprimentos de ondas que não o visível.

Outro tipo de galáxia ativa (muito menos comum que as Seyferts) são os objetos chamados “BL Lac”, chamado assim devido ao primeiro encontrado nesta classe (BL Lacertae, na constelação de Lacerta). BL Lac foi descoberta em 1929, quando acharam que era uma estrela variável comum. Este objeto apresenta flutuações de brilho de até 15 vezes em apenas alguns meses. A característica mais interessante dos objetos BL Lac é a completa falta de linhas em seu espectro, não apresentando nem emissão nem absorção.

Em poucas palavras podemos definir os objetos BL Lac's como sendo galáxias elípticas com um centro com aparência estelar e muito brilhante enquanto que as galáxias Seyferts são galáxias espirais com um centro com aparência estelar e muito brilhante.

Galáxias ativas vivem no centro de fontes de rádio

A galáxia N5128 (Centaurus A), uma das fontes de rádio mais fortes no céu está relativamente próxima (13 milhões de anos-luz). A energia em rádio desta galáxia vem de duas regiões de cada lado da galáxia chamadas de “lóbulos de rádio”. Os astrônomos acham que partículas e energia são ejetadas no núcleo da galáxia em direção aos lóbulos.

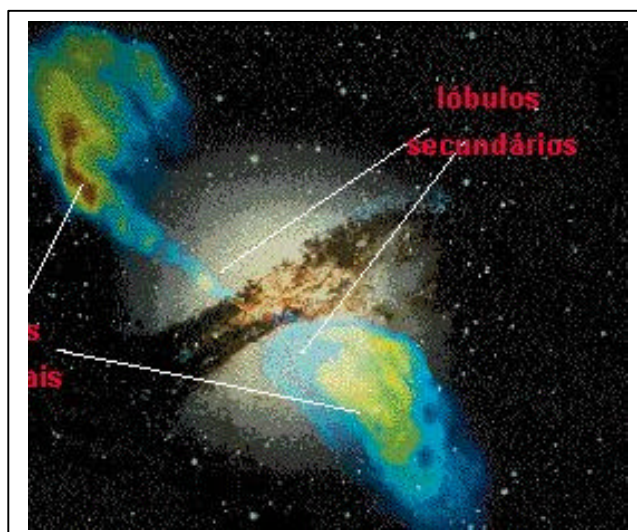


Figura 10 – Centaurus A, uma radiogaláxia (J. Burns).

Nos anos 70 os astrônomos já tinham encontrado dezenas de objetos como Centaurus A; estes são agora chamados de “fontes de rádio com lóbulo duplo”. Uma galáxia ativa, usualmente parecida com uma galáxia elíptica, é freqüentemente encontrada entre dois lóbulos de rádio. Por exemplo, a galáxia visível associada com Cyg A está também localizada entre dois lóbulos de rádio.

Todas as fontes de rádio com lóbulo duplo devem ter um “motor” que ejeta os elétrons e campos magnéticos para fora em duas direções completamente opostas a uma velocidade próxima à velocidade da luz. Depois de viajar por muitos milhares ou milhões de anos-luz, este material ejetado desacelera, fazendo com que os elétrons e campo magnético produzam a radiação que nós então detectamos. Um tipo específico de radiação chamada de radiação sincrotron ocorre quando elétrons energéticos se movem em movimentos espirais em um campo magnético. As ondas de rádio que vêm dos lóbulos da fonte de rádio dupla tem características da radiação sincrotron. Dentro do comprimento de onda de rádio as fontes de lóbulo duplo formam uma classe de objetos dos mais brilhantes do universo.

Buracos Negros Super-Massivos

Como os quasares e galáxias ativas produzem estas enormes quantidades de energia em um volume tão pequeno? No final dos anos 60 o astrônomo Lynden-Bell sugeriu que buracos negros podem ser o motor que proporciona a energia necessária.

O centro de algumas galáxias possuem buracos negros

Detectar buracos negros não é uma tarefa simples. O máximo que se pode fazer é detectar o efeito que este provoca, e provar que não há outra explicação para o que é observado que não a hipótese de se ter um buraco negro. Esta técnica já foi usada para várias galáxias incluindo M31, M32, M104 e nossa Via Láctea.

A galáxia de Andrômeda é a maior e mais brilhante do nosso Grupo Local. A uma distância de apenas 2,2 milhões de anos-luz da Terra, M31 é próxima o bastante para que detalhes de seu centro pudessem ser estudados com o telescópio espacial Hubble. Estas observações revelaram que esta galáxia tem duas regiões brilhantes em seu centro. A menos brilhante é provavelmente o centro propriamente dito enquanto que a outra concentração pode ser um aglomerado de estrelas.

Em meados dos anos 80 vários astrônomos fizeram observações espectroscópicas do centro de M31. Usando medidas do efeito Doppler, eles determinaram que as estrelas dentro de um raio de 50 anos-luz do núcleo da galáxia o estavam orbitando com

velocidades excepcionalmente rápidas, o que sugere que um objeto massivo esteja localizado no centro da galáxia. Sem a gravidade deste objeto para manter as estrelas nestas órbitas de alta velocidade, estas já teriam escapado do centro da galáxia. A partir destas observações os astrônomos estimaram que a massa do objeto central em M31 deve ter 50 milhões de massas solares. Esta grande quantidade de massa, confinada e um volume muito pequeno sugere a existência de um buraco negro super-massivo no centro da galáxia.

Localizada nas proximidades de M31 está a pequena galáxia elíptica chamada de M32. Observações espectroscópicas de alta resolução mostram que as estrelas no centro de M32 também estão se movendo com velocidades altíssimas, que podem ser explicadas se acreditarmos que existe um buraco negro em seu centro. Imagens recentes do telescópio de Hubble mostram uma concentração de estrelas, enorme no centro de M32. A densidade de estrelas nesta região é mais de 100 milhões de vezes maior que a densidade de estrelas na vizinhança do Sol. Esta observação é mais uma evidência de que existe um buraco negro no centro de M32.

Outras observações recentes mostraram que galáxias como M104, NGC3151 e M87 também têm buracos negros em seus centros.