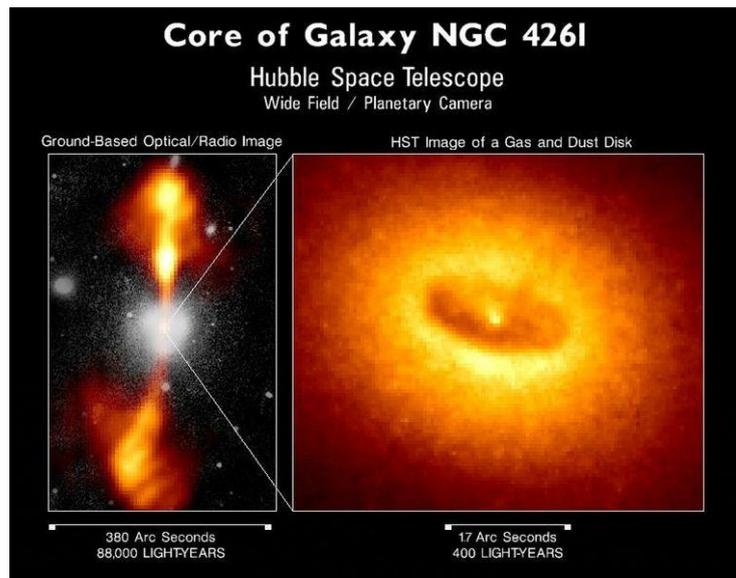


# Aula 25: Quasares e Galáxias Ativas

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



O quadro da esquerda apresenta uma imagem composta da galáxia NGC 4261, formada por imagens de solo, em óptico e em rádio. O quadro da direita mostra apenas a imagem da região central, obtida pelo Telescópio Espacial Hubble (HST), onde fica evidente o disco de poeira. Crédito: HST/NASA/ESA.

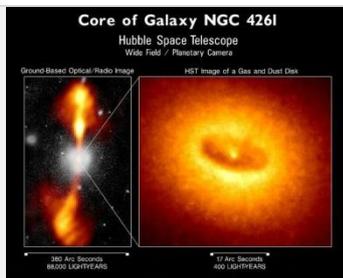
Fonte: <http://en.wikipedia.org/wiki/File:Ngc4261.jpg>

## Introdução

Prezados alunos,

Muitas galáxias têm um núcleo muito pequeno mas extremamente energético e luminoso. Essas galáxias, entre as quais se incluem os quasares, são chamadas ativas, ou galáxias de núcleo ativo. Que mecanismo é responsável pela enorme quantidade de energia emitida por uma região tão pequena desses objetos? Essa é uma das questões que vamos abordar na aula de hoje.

Bom estudo!



### Galáxias ativas:

São galáxias cujos núcleos emitem quantidades de energia muito maiores do que as galáxias normais. Apresentam espectro não térmico e variações muito rápidas em seu brilho, o que indica que a fonte de energia está concentrada numa região muito pequena.

## Objetivos

- estabelecer a diferença entre galáxias ativas e não ativas;
- definir quasar, dizendo quais são as suas propriedades básicas;
- explicar o mecanismo atualmente aceito como responsável pela fonte de energia dos quasares e outras galáxias ativas.

## Qual o “energético” usado pelas galáxias ativas?

Todas as galáxias tendem a apresentar uma grande concentração de estrelas em sua região central, que fica bem mais brilhante do que o restante da galáxia. A maioria dessa radiação é emitida nas proximidades da região visível do espectro, pois é nessa região que as estrelas emitem mais.

Algumas galáxias, no entanto, apresentam o núcleo muito mais brilhante do que o usual, e não apenas nas proximidades do óptico, como no caso das galáxias normais, mas também em outras regiões do espectro, como raios-x, ultravioleta e radio. Além da radiação emitida pelos núcleos dessas galáxias ser anormalmente intensa, ela apresenta flutuações rápidas em intensidade. Essa radiação não pode ser explicada como sendo originada por uma grande concentração de estrelas, ou seja, a fonte dessa radiação é não estelar, ou não térmica. (Lembre-se que as estrelas emitem radiação térmica, na qual a distribuição de intensidade em função do comprimento de onda depende apenas da temperatura, ou seja, segue a Lei de Planck.)

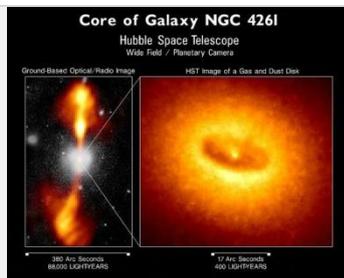
Essas galáxias, cujos centros emitem quantidades excepcionais de energia, com espectro não térmico, são chamadas “ativas”, para diferenciá-las das “normais”, e os seus centros anormalmente brilhantes são chamados “núcleos ativos de galáxias” (AGN, na sigla em inglês).

Cerca de 10% das galáxias conhecidas são ativas, e elas são classificadas em galáxias Seyfert, radiogaláxias, objetos BL Lac e quasares.

### Galáxias Seyfert



Figura 25.01: A galáxia Seyfert NGC 7742, localizada a 72 milhões de anos-luz, na constelação do Pégaso, fotografada pelo Telescópio Espacial Hubble. A região central da galáxia (em amarelo) tem 3000 anos-luz de diâmetro e provavelmente contém um buraco negro supermassivo.. Crédito: Hubble Heritage Team (AURA/ STScI/ NASA)



**Galáxias Seyfert:**

Galáxias espirais com núcleo ativo e muito brilhante. A energia emitida pelo núcleo é muitas vezes maior que a energia da galáxia hospedeira. Apresentam espectro não térmico e com linhas de emissão alargadas.

**Radiogaláxias:**

A maior parte da energia que elas emitem é na região do rádio, geralmente concentrada na forma de jatos e lóbulos. No óptico geralmente apresentam aparência de galáxias elípticas.

**Radiogaláxias**

As galáxias Seyfert, descobertas por Carl Keenan Seyfert, em 1943, são galáxias espirais com núcleos pontuais muito luminosos, em torno de  $10^{36}$  a  $10^{38}$  watts, contribuindo com aproximadamente metade da luminosidade total da galáxia no óptico. O espectro nuclear apresenta linhas de emissão alargadas, indicando movimentos muito rápidos dos gases internos, e um contínuo não-térmico muito intenso no ultravioleta. Geralmente, a emissão dessas galáxias sofre variabilidade em períodos relativamente curtos, o que leva a concluir que a fonte emissora deve ser compacta. Estima-se que aproximadamente 1% de todas as galáxias espirais são Seyfert.

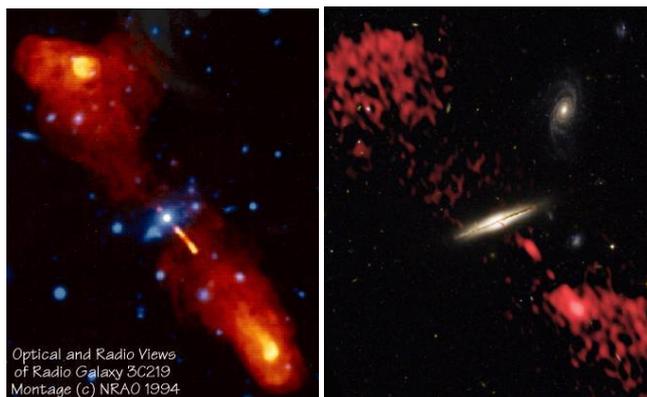
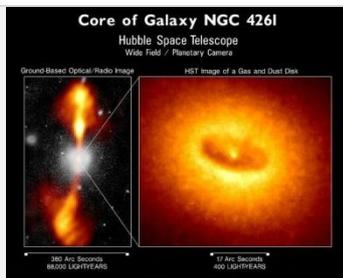


Figura 25.02: Superposição da imagem ótica (em azul) com a imagem em rádio (em vermelho) da radiogaláxia 3C219, que está a 500 Mpc. Enquanto a galáxia tem 100 mil anos-luz de diâmetro, os jatos cobrem 1 milhão de anos-luz. À direita, o jato em rádio em torno da galáxia espiral 0313-192 (NASA/NRAO).

Radiogaláxias são galáxias que têm uma emissão em rádio muito intensa, em torno de  $10^{33}$  a  $10^{38}$  watts, lembrando que a luminosidade do Sol é de  $3,83 \times 10^{26}$  watts. Observadas no óptico, geralmente têm a aparência de uma galáxia elíptica grande, mas, observadas em rádio, apresentam uma estrutura dupla, com dois lóbulos emissores em rádio, localizados um em cada lado da galáxia elíptica (ver figuras 25.02 e 25.03) e a distâncias que chegam a 6 Mpc de seu centro. Outra característica das radiogaláxias é a presença de um jato de matéria saindo da fonte central, localizada no núcleo da galáxia. Uma das radiogaláxias mais brilhantes é Centauro A, localizada na constelação do Centauro, no Hemisfério Sul celeste.



Figura 25.03: Imagem composta em óptico, raio-x e rádio da galáxia peculiar Centaurus A, Fonte: [http://en.wikipedia.org/wiki/Centaurus\\_A](http://en.wikipedia.org/wiki/Centaurus_A)



### Objetos BL Lac:

Apresentam núcleo muito brilhante e compacto. Têm extraordinária variabilidade em pequenos períodos de tempo. Emitem luz polarizada e espectro não térmico, sem linhas de emissão ou de absorção. Acredita-se que sejam radiogaláxias distantes cuja orientação é tal que o jato fica apontado para a Terra. Muitos são fontes de rádio.

### Quasares:

São os objetos mais luminosos do Universo. Com aparência estelar, emitem forte em rádio e apresentam espectro com grandes *redshift*, indicando que são muito distantes.

## Objetos BL Lacertae (BL Lac)

Os objetos BL Lacertae, também chamados *blazares*, constituem uma outra classe de objetos exóticos, que apresentam um núcleo muito brilhante e compacto. Têm como principais características a extraordinária variabilidade em curtos períodos de tempo, luz polarizada, e um espectro não térmico sem linhas de emissão ou absorção. O primeiro objeto desse tipo, e que deu nome à classe, foi BL Lacertae, observado em 1929, na constelação do Lagarto. No princípio, foi confundido com uma estrela, pois sua variabilidade muito rápida indicava que tinha que ser um objeto muito compacto. Muitos desses objetos são também fontes de rádio, e atualmente acredita-se que eles sejam radiogaláxias distantes orientadas de maneira tal que o jato fica apontado na direção da Terra.

## Quasares

Os quasares, cujo nome vem de "Quasi Stellar Radio Sources", foram descobertos em 1961, como fortes fontes de rádio, com aparência ótica aproximadamente estelar, azuladas. São objetos extremamente compactos e luminosos, emitindo mais do que centenas de galáxias juntas, isto é, até um trilhão de vezes mais do que o Sol. São fortes fontes de rádio, variáveis, e seus espectros apresentam linhas largas com enormes *redshifts*, correspondendo a velocidades de recessão muito altas, de até alguns décimos da velocidade da luz, o que indica que são muito distantes.

O primeiro quasar a ter seu espectro identificado foi 3C 273, pelo astrônomo holandês Maarten Schmidt em 1963. 3C 273 tem  $z \approx 0,16$ , ou  $v \approx 0,16c \approx 48\ 000$  km/s, o que indica que sua distância (de acordo com a lei de Hubble, para  $H_0 = 71$  km/s/Mpc) é aproximadamente 680 Mpc, ou 2,2 bilhões de anos-luz.



Figura 25.04: Imagem no ótico do quasar 3C 279, obtida com o *Canada-France-Hawaii Telescope* de 3,6 m de diâmetro. O quasar tem magnitude aparente  $V=17,75$  e magnitude absoluta estimada de  $M_V=-24,6$  (uma estrela O5V tem  $M_V=-5$ ). O nome vem do fato de ser o objeto número 279 do terceiro catálogo de rádio fontes de Cambridge. Seu [módulo de distância](#) indica que ele está a 2,951 Gpc da Terra (aproximadamente 3 bilhões de parsecs).

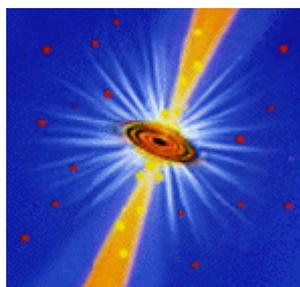


Figura 25.05: Modelo de um quasar, com um buraco negro no centro, um disco de acreção em volta deste e jatos polares.

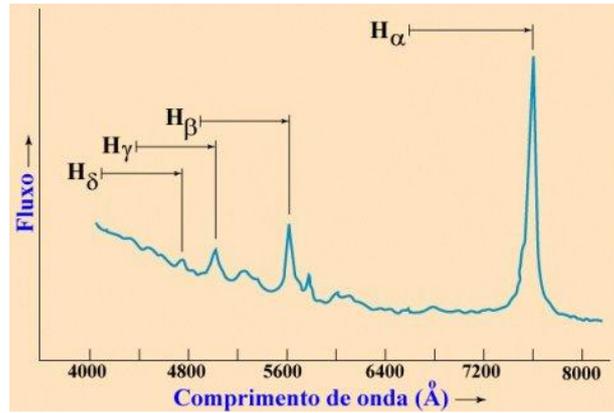
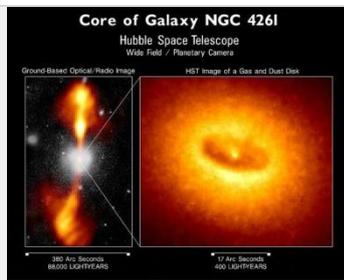


Figura 25.06: O espectro do quasar 3C 273 no óptico mostra as linhas do hidrogênio em emissão deslocadas para o vermelho (*redshifted*) por efeito Doppler. Por exemplo, a linha  $H_{\beta}$ , cujo comprimento de onda de repouso é 4.861 Å, está deslocada para 5.630 Å.

3C 273 é o quasar mais próximo da Terra. Os quasares mais distantes já descobertos (até 2011) têm deslocamentos para o vermelho (*redshifts*) da ordem de  $z = 7$ . Lembrar que

$$z \equiv \frac{\Delta\lambda}{\lambda}$$

onde:

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{\lambda_{\text{observado}} - \lambda_{\text{emitido}}}{\lambda_{\text{emitido}}}$$

Para valores de  $z$  maiores do que 0,2, precisamos utilizar a fórmula do deslocamento Doppler relativístico para calcular sua velocidade. Por exemplo, se fossemos usar um quasar que tem  $z = 5$ , ao calcular sua velocidade usando a equação clássica (não relativística) do deslocamento Doppler, encontraríamos:

$$v = c \cdot z = c \cdot \Delta\lambda/\lambda = 5c !$$

O deslocamento Doppler relativístico é dado por:

$$z \equiv \frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \sqrt{\frac{1+v/c}{1-v/c}} - 1,$$

de modo que a velocidade é dada por:

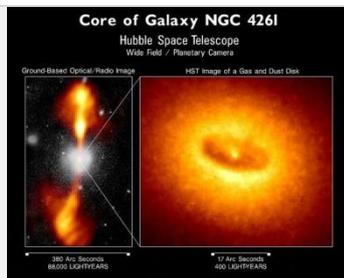
$$\frac{v}{c} = \frac{(1+z)^2 - 1}{(1+z)^2 + 1}$$

Usando essa equação, a velocidade correspondente a  $z = 5$  é:

$$V = 35/37 c = 0,946 c.$$

Tabela 25.01: Comparação entre diferentes tipos de galáxias ativas.

Propriedade	Radiogaláxias	Galáxias Seyfert	Objetos BL Lac	Quasares
espectro contínuo	não estelar	não estelar	não estelar	não estelar
linhas de emissão	largas e estreitas	largas e estreitas	nenhuma ou fracas	largas e estreitas
forma no óptico	elíptica	espiral	incerta	estelar
forma em rádio	jatos e lóbulos	emissão fraca	emissão fraca	jatos e lóbulos



Fonte de energia:

Acredita-se que seja gás sendo acelerado por um buraco negro supermassivo central. Ao cair no buraco negro o gás forma um disco de acreção em rotação. Ao espiralar para o centro ele transforma energia gravitacional em cinética, acelerando, aquecendo e liberando muita energia. Parte do gás também pode ser ejetada a alta velocidade, formando lóbulos e jatos. Toda energia é irradiada antes da matéria cair no horizonte de eventos do buraco negro.

#### Acreção:

Processo muito eficiente em converter matéria em energia. Converte 10% da matéria em energia. Ao consumir toda matéria circundante ao buraco negro a galáxia deixará de ser ativa, permanecendo com um buraco negro quiescente em seu centro.

## Fonte de energia das galáxias ativas

Atualmente a maioria dos astrônomos aceita que as diversas formas de galáxias com núcleo ativo, como galáxias Seyfert, quasares e blazares, tenham sua fonte de energia originada no mesmo processo básico, proposto em 1964 por Edwin Ernest Salpeter e Yakov Borisovich Zel'dovich: gás sendo acelerado por um buraco negro supermassivo (milhões de massas solares) central.

O gás caindo no buraco negro forma um disco de acreção em rotação, com raio de alguns dias-luz a algumas semanas-luz. À medida que o gás espirala para o centro, ele transforma energia gravitacional em energia cinética, acelerando, aquecendo e liberando enormes quantidades de energia. Ao mesmo tempo, parte do gás pode ser ejetada a alta velocidade em direção perpendicular ao disco de acreção, formando os jatos e lóbulos observados em muitas galáxias ativas. A colimação dos jatos pode ser devida a campos magnéticos originados no disco.

É importante notar que toda a energia é irradiada antes da matéria cair no horizonte de eventos do buraco negro, pois além desse limite, nada escapa.

A acreção é um processo extremamente eficiente em converter matéria em energia: os cálculos mostram que na acreção da matéria, a energia liberada é da ordem de  $0,1mc^2$ , comparada com  $0,007 mc^2$  na reação nuclear mais energética conhecida, a transformação de quatro núcleos de hidrogênio em um núcleo de hélio.

Quando o buraco negro consumir toda matéria circundante, a galáxia deixará de ser ativa permanecendo com um buraco negro quiescente em seu centro.

## Resumo

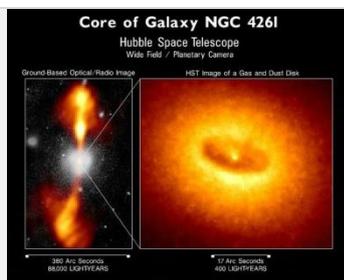
Galáxias ativas são galáxias cujos núcleos emitem quantidades de energia muito maiores do que galáxias normais, com espectro não térmico, indicando que a radiação é de origem não estelar. As galáxias ativas apresentam variações rápidas em seu brilho indicando que a fonte de energia está concentrada em uma região muito pequena. As galáxias ativas compreendem 10% de todas as galáxias, e incluem as galáxias Seyfert, as radiogaláxias, os objetos BL Lac e os quasares.

**Galáxias Seyfert:** São galáxias espirais que apresentam um núcleo ativo muito brilhante. A energia emitida pelo núcleo é várias vezes maior que a energia da galáxia hospedeira. O espectro é não térmico e com linhas de emissão alargadas.

**Radiogaláxias:** São galáxias que emitem a maior parte de sua energia na região do rádio geralmente concentrada na forma de jatos e lóbulos. No óptico normalmente têm a aparência de galáxias elípticas.

**Objetos BL Lac:** São outra classe de objetos exóticos. Muitos desses objetos são fontes de rádio, acredita-se que eles sejam radiogaláxias muito afastadas cujas orientações são tais que o jato fica apontado para a Terra.

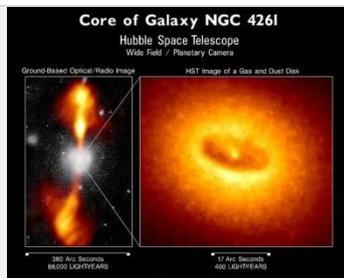
**Quasares:** são os objetos mais luminosos do Universo. Têm aparência estelar, emissão forte em rádio e espectro com grandes *redshifts*, indicando que são muito distantes.



A fonte de energia das galáxias ativas é a aceleração do gás sendo capturado por um buraco negro supermassivo central. Ao cair no buraco negro, o gás forma um disco de acreção em rotação. Ao espiralar para o centro, ele transforma energia potencial gravitacional em energia cinética, acelerando, aquecendo e liberando imensas quantidades de energia. Concomitantemente parte do gás pode ser ejetada a alta velocidade, formando os jatos e os lóbulos. Toda energia é irradiada antes da matéria cair no horizonte de eventos do buraco negro.

A acreção converte matéria em energia, dez vezes mais eficiente que as reações nucleares mais eficientes conhecidas.

Quando o buraco negro consumir toda matéria circundante, a galáxia deixará de ser ativa permanecendo com um buraco negro quiescente no seu centro.

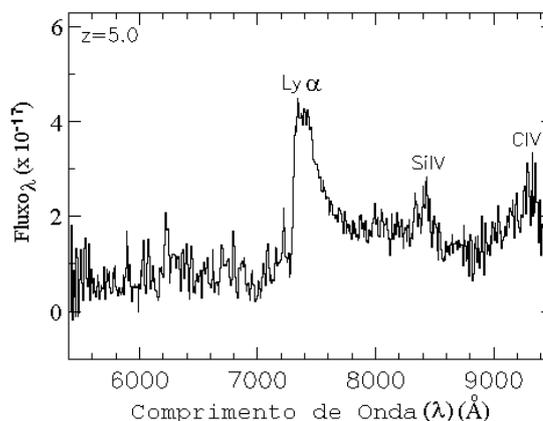


## Questões de fixação

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. O que são galáxias ativas, e que tipos de galáxias ativas existem?
2. O que são quasares? Como foram descobertos?
3. O que é o "redshift" de uma galáxia?
4. Como os astrônomos sabem que os quasares são objetos muito distantes? Como determinam a distância desses objetos?
5. Que mecanismo é considerado o mais provável como fonte da energia em galáxias ativas?
6. Por que se pensa que as galáxias ativas devem ter a maior parte da energia saindo de uma região muito pequena?
8. Como um buraco negro, do qual nem a luz consegue escapar, pode ser responsável pela extraordinária quantidade de energia emitida por um quasar?
9. Há quanto tempo a luz que vemos hoje de um quasar que está a 13 bilhões de anos-luz de distância saiu dele?
10. A magnitude aparente do quasar 3C 272 é  $V = 12,85$  e está a uma distância de 700 Mpc. Qual a magnitude absoluta desse quasar? Quantas estrelas como o Sol ( $M_V = 5$ ) seriam necessárias para proporcionar essa luminosidade? Compare com as  $10^{10}$  estrelas dentro da órbita do Sol, na Via Láctea.
11. A figura abaixo é o espectro de um quasar.



a) Calcule o *redshift* desse quasar, lembrando que o comprimento de onda de repouso da linha Ly $\alpha$  é 1.216 Å.

b) Adotando uma constante de Hubble  $H_0 = 71$  km/s/Mpc, determine a distância desse quasar.

