



# Astrofísica Geral

## Tema 20: Galáxias ativas

Alexandre Zabet

# Índice

Galáxias ativas e seus subtipos

Discos de acrecimento

Buracos negros supermassivos

Relação  $M_{BH} - \sigma$

Evolução do Buraco Negro e da Galáxia

Galáxias starburst

Bibliografia



# Índice

Galáxias ativas e seus subtipos

Discos de acrecimento

Buracos negros supermassivos

Relação  $M_{BH} - \sigma$

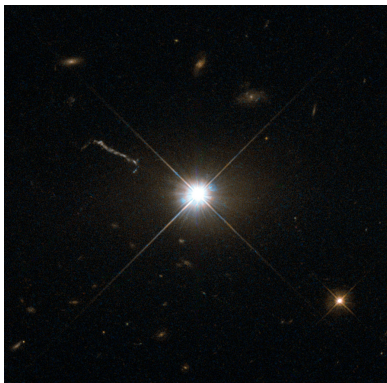
Evolução do Buraco Negro e da Galáxia

Galáxias starburst

Bibliografia



## O mistério dos quasares

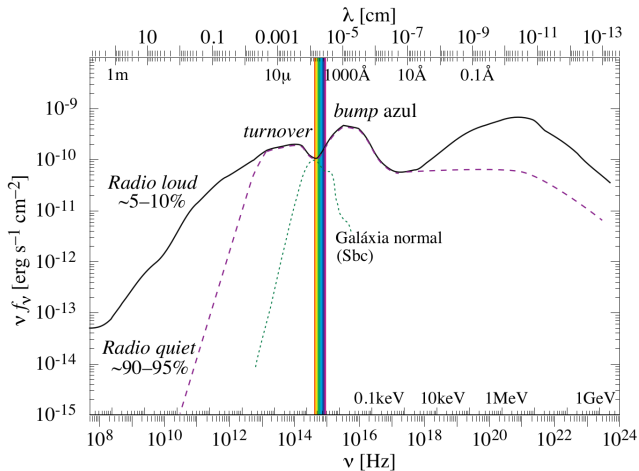


Quasar 3C 273. Por volta de 1960 verificou-se que este objeto tinha uma grande emissão em rádio, embora tivesse aparência estelar. O brilho total dele é tão grande que se estivesse à mesma distância que Pollux, brilharia como o Sol! Quasar significa “quasi-stellar radio sources”.





# O mistério dos quasares



Espectro típico de uma galáxia ativa, com uma emissão misteriosamente grande comparada ao espectro de uma galáxia espiral comum. Fig. 204 de Gastão Neto.

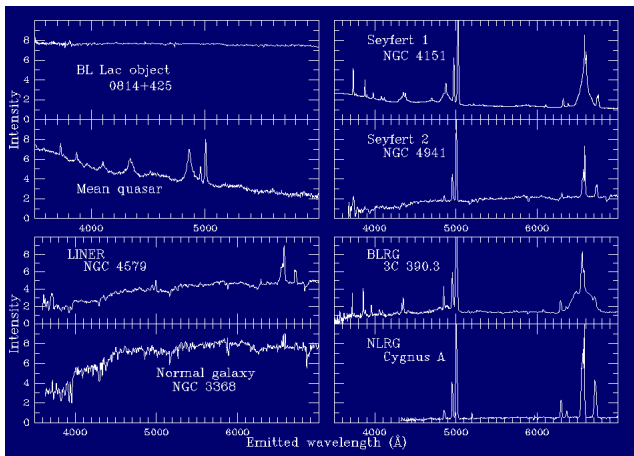


# As galáxias ativas

- ▶ Galáxia comum
  - ▶ Maior parte da luz vem de **estrelas**
  - ▶ O pico de intensidade luminosa é no **visível**
  - ▶ A emissão de luz se distribui **por toda** a galáxia
- ▶ Galáxia ativa
  - ▶ Maior parte da luz vem de **gás**
  - ▶ O pico de intensidade luminosa é no **rádio**
  - ▶ A emissão de luz está principalmente no **núcleo** a galáxia



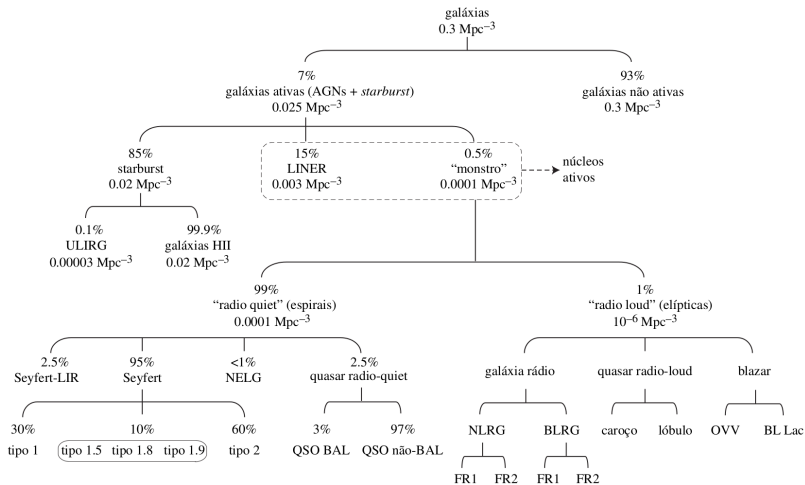
# Variedade de galáxias ativas



Espetros de galáxias ativas podem variar muito na forma, o que levou a um "zoológico" de tipos, com dezenas de classificações e sub-classificações!



# Modelo unificado



Variedade de Galáxias Ativas. Fig. 205 de Gastão Neto.



# Índice

Galáxias ativas e seus subtipos

Discos de acrecimento

Buracos negros supermassivos

Relação  $M_{BH} - \sigma$

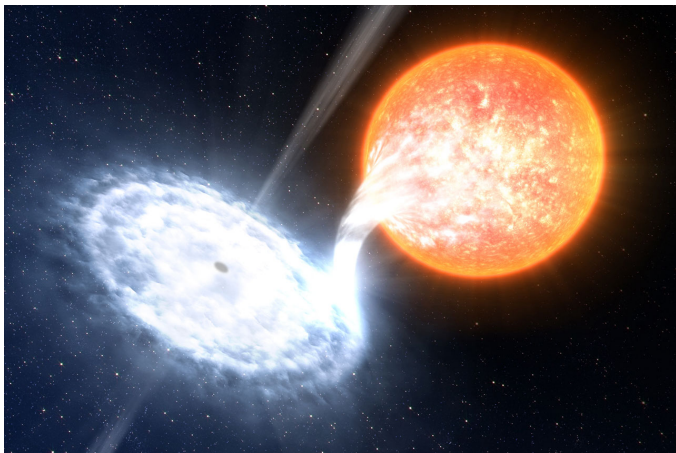
Evolução do Buraco Negro e da Galáxia

Galáxias starburst

Bibliografia



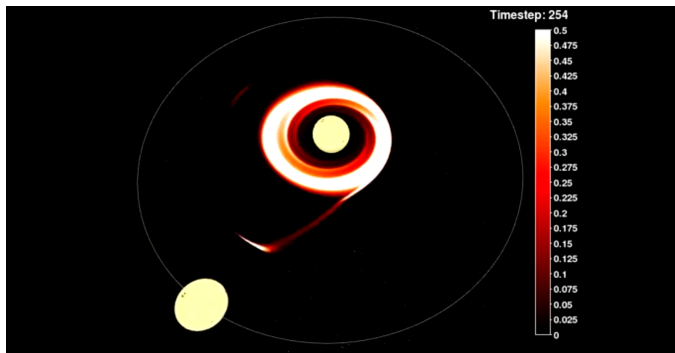
## Discos de acrecimento



Falamos sobre **Discos de Acréscimo** quando discutimos estrelas variáveis. Discos são um fenômeno comum em Astrofísica, e ocorrem em escalas diferentes, embora os mecanismos físicos sejam os mesmos.



# Discos de acréscimo

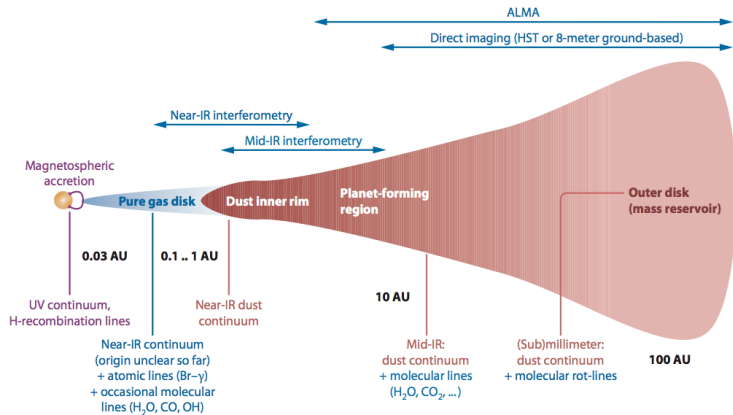


Video: simulação da formação de um disco de acréscimo estelar.

<https://www.youtube.com/watch?v=90YrENetLI4>



# Discos de acréscimo

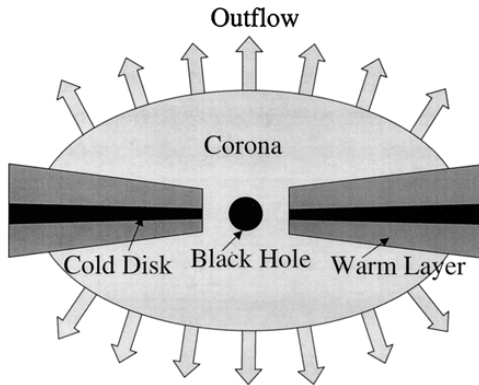


Disco proto-planetário.





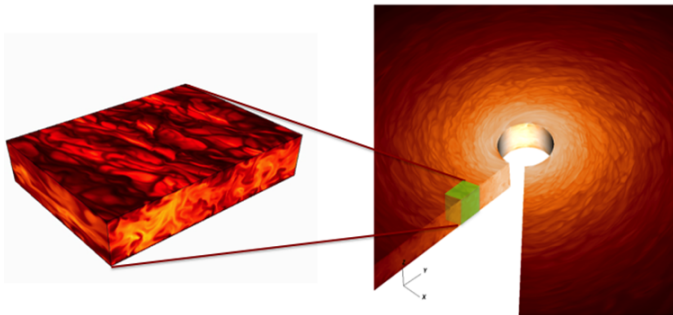
# Discos de acrecimento



Disco em torno de um buraco negro.



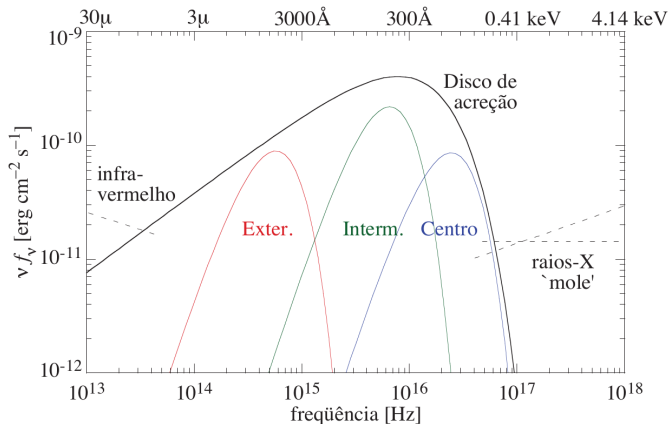
## Discos de acréscimo



O acréscimo transforma energia gravitacional em energia cinética e térmica. É comum o processo ser mais eficaz do que a fusão nuclear!



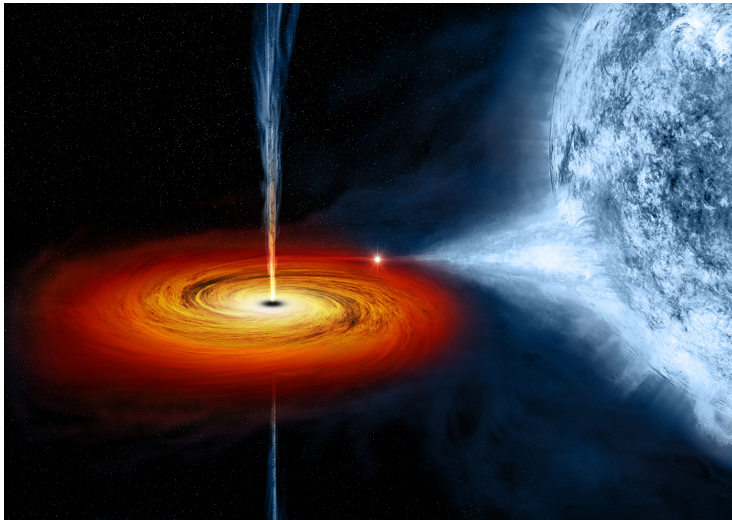
# Discos de acréscimo



A temperatura do disco de acréscimo varia com a distância ao centro, portanto cada região contribui de modo diferente para o espectro total. Fig. 225 de Gastão Neto.



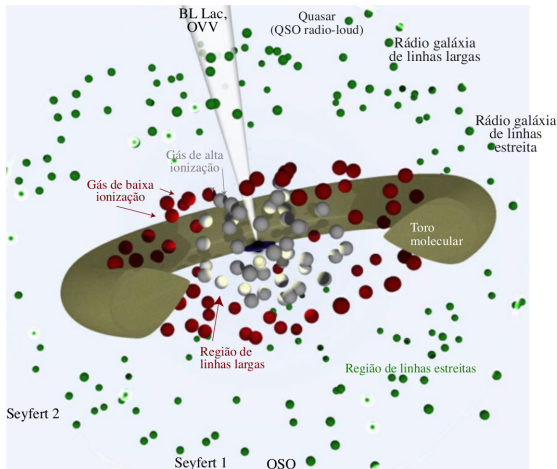
## Discos de acrecimento



Discos de acrecimento podem formar jatos.



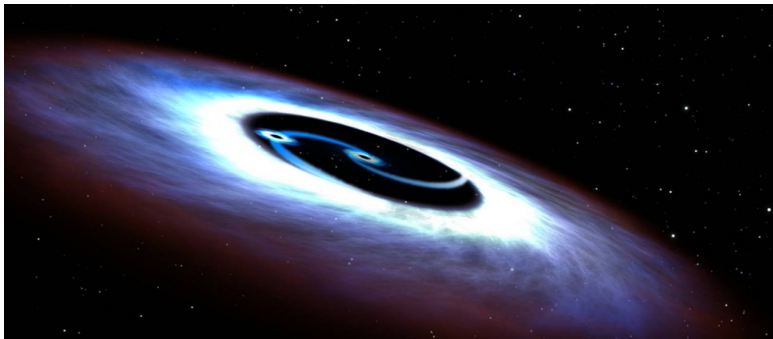
# Modelo unificado das Galáxias de Núcleo Ativo



Hoje é aceito um modelo unificado que explica a diversidade de espectros de AGNs, dentre eles o subtipo dos quasares (e QSOs). Fig. 223 de Gastão Neto.



# Quasares múltiplos



Segundo Chang Shuo Yan o quasar Markarian 231 é duplo pois só assim é possível explicar o espectro complexo do objeto.



# Índice

Galáxias ativas e seus subtipos

Discos de acrecimento

Buracos negros supermassivos

Relação  $M_{BH} - \sigma$

Evolução do Buraco Negro e da Galáxia

Galáxias starburst

Bibliografia



# Buraco negro supermassivo

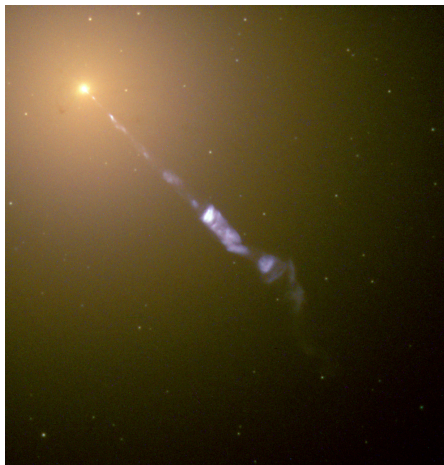


No centro de uma Galáxia atia há um buraco negro supermassivo. É a única maneira de explicar a origem de tanta energia e a diversidade de fenômenos observados.





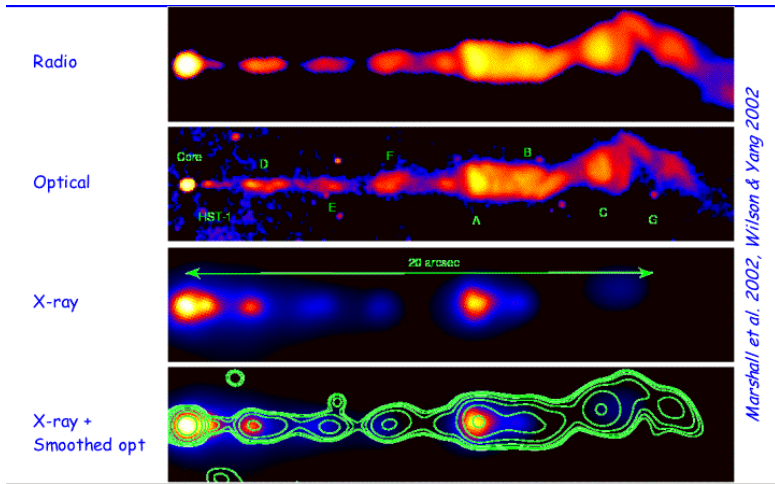
# Jatos



A galáxia elíptica M87 é uma das maiores conhecidas na nossa redondeza. Ela tem um AGN e um jato de pelo menos 5 mil anos-luz de comprimento!

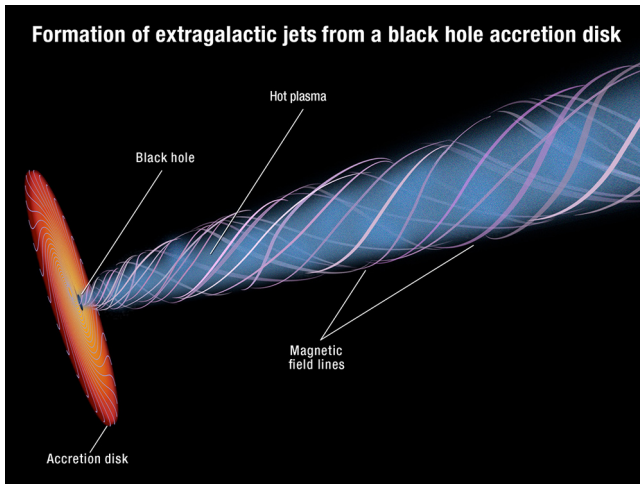


# Jatos



O jato de M87 em diferentes comprimentos de onda.



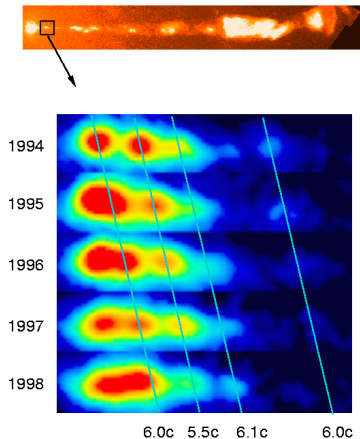


Mecanismo de formação do jato em AGNs.



# Jatos superluminar

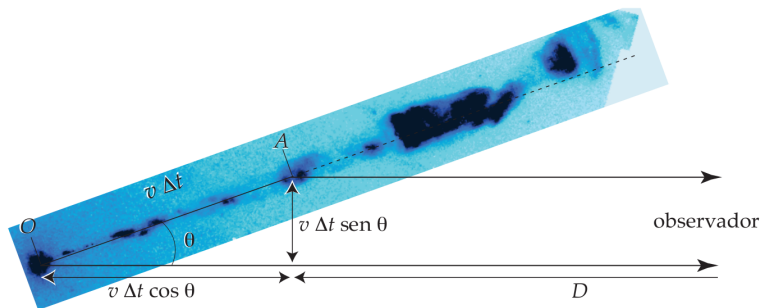
Superluminal Motion in the M87 Jet



Por causa do ângulo de visada, os jatos parecem mover-se mais rápido do que a luz.



# Jatos superluminar



Explicação do Movimento superluminar. A luz emitida no ponto A está mais próxima de nós do que a emitida no ponto O. Não levando isso em consideração, parece que o jato se movimenta mais rápido do que a luz. Fig. 211 de Gastão Neto.



# Índice

Galáxias ativas e seus subtipos

Discos de acrecimento

Buracos negros supermassivos

Relação  $M_{BH} - \sigma$

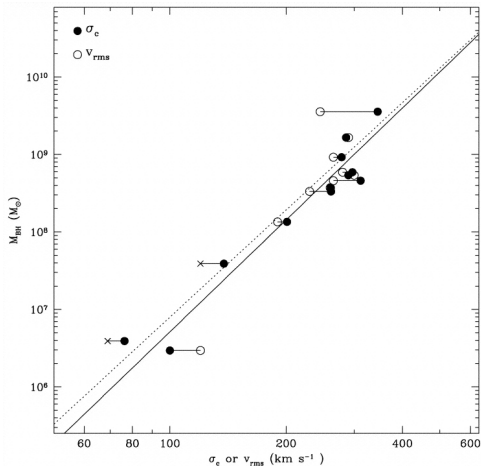
Evolução do Buraco Negro e da Galáxia

Galáxias starburst

Bibliografia



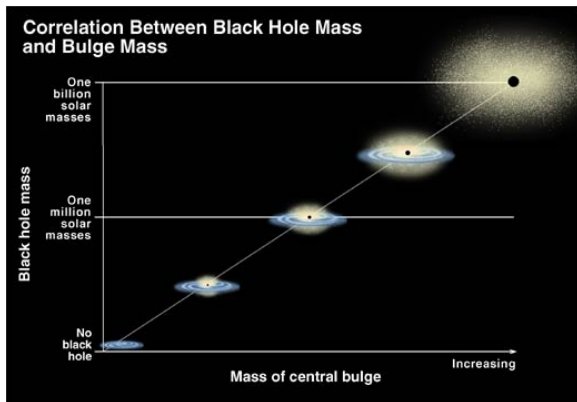
## Relação $M_{BH} - \sigma$



Ferrarese & Merritt (2000) descobriram uma relação entre Massa do Buraco Negro  $M_{BH}$  e a dispersão de velocidades das estrelas do bojo ( $\sigma$ ). A relação não é uma simples consequência do BN escalonar a velocidade das estrelas, pois os autores também mediram a velocidade real das estrelas  $v_{rms}$ . Essa medida é feita a distâncias maiores que o bojo. A permanência da correlação indica que o BN influenciou na formação da galáxia!



# Relação $M_{BH} - \sigma$

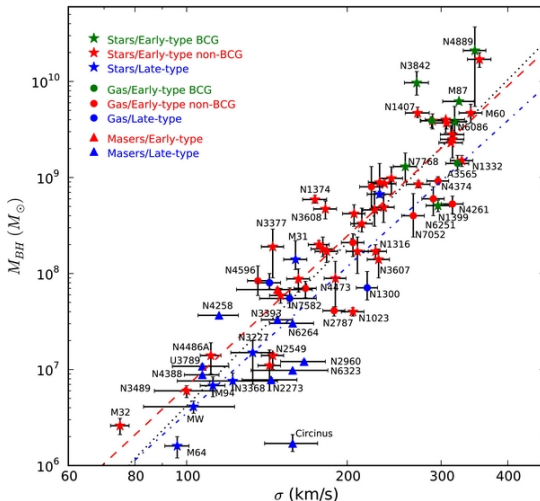


Mesmo gráfico de antes mas de um modo didático.





# Relação $M_{BH} - \sigma$



Relação  $M_{BH} - \sigma$  para 72 galáxias, obtida por McConnell & Ma, ApJ, 2013.



# Índice

Galáxias ativas e seus subtipos

Discos de acrecimento

Buracos negros supermassivos

Relação  $M_{BH} - \sigma$

Evolução do Buraco Negro e da Galáxia

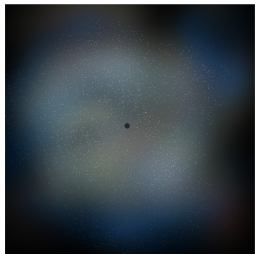
Galáxias starburst

Bibliografia

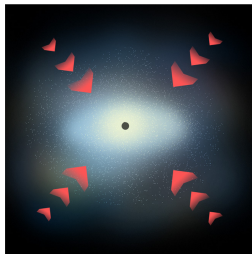


# Evolução do BN e da Galáxia

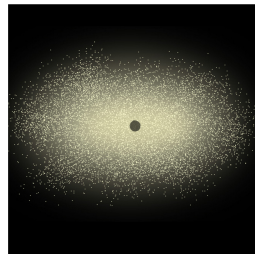
## Colapso primordial de um bojo



Nuvem primordial de H colapsa em torno de um pequeno buraco negro “semente”.



O gás em queda alimenta o vazio com mais massa e forma estrelas.

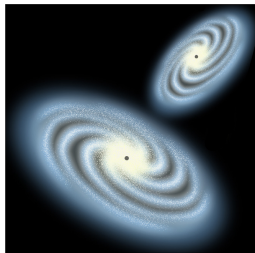


Colapso forma uma galáxia elíptica gigante. O buraco negro pára de crescer.

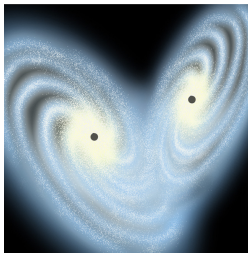


# Evolução do BN e da Galáxia

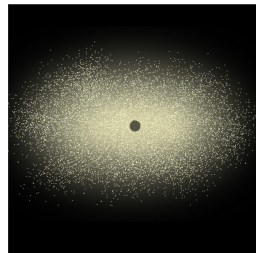
## Colisão de galáxias



Duas galáxias espirais com buracos negros no centro se atraem.



As galáxias colidem e os seus núcleos começam a se fundir, com seus buracos negros.

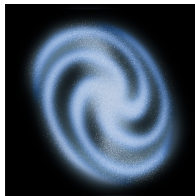


A fusão origina uma galáxia elíptica gigante com um buraco negro central que cresceu proporcionalmente.

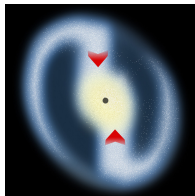


# Evolução do BN e da Galáxia

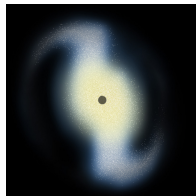
## Pseudo bojo



Galáxias espirais se formam com no máximo um único buraco negro semente.



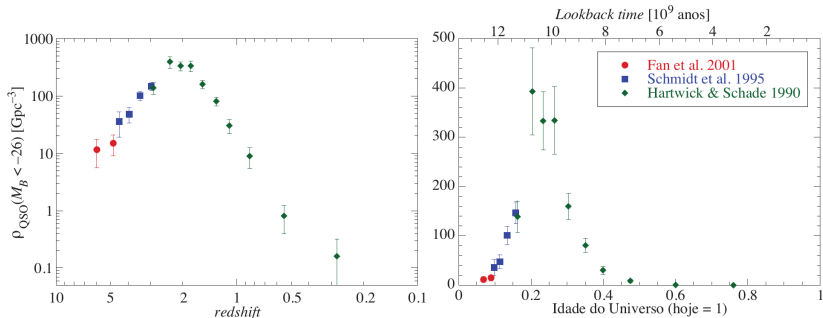
O gás do disco cai em direção ao centro da galáxia aumentando um pseudo bojo que se parece com um bojo primordial mas na verdade é parte do disco.



A medida que o pseudo bojo aumenta, o buraco negro cresce com um aumento proporcional ao do pseudo bojo.



# Evolução do BN e da Galáxia



A quantidade de AGNs no universo varia com o tempo, indicando que a formação deles está ligada aos mecanismos de formação e evolução das galáxias. Fig. 215 de Gastão Neto.



## Buracos negros de massa intermediária



Como veríamos um buraco negro, imagem do filme Interestelar.  
Há um “vazio” de buracos negros com massas de 100 a 10000  $M_{\odot}$ .



## M82 X-1



Video: descoberta do buraco negro M82 X-1, com aproximadamente  $400 M_{\odot}$ .

<https://www.youtube.com/watch?v=TSWZI2oUgnI>





## Buraco negro em 47 Tucanae



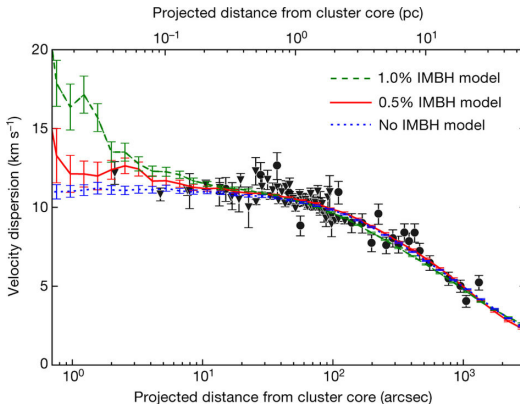
47 Tucanae, segundo maior aglomerado globular da nossa galáxia.

$$M \approx 7 \times 10^5 M_{\odot}.$$

O Buraco Negro afeta o movimento de estrelas mais massivas de forma diferente das menos massivas. Isso gera uma segregação espacial em massa.



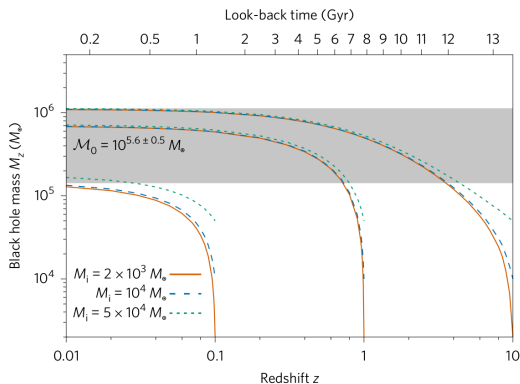
# Buraco negro em 47 Tucanae



Kiziltan et al, Nature, 2017. Dispersão de velocidades de pulsares em função da massa do buraco negro (percentual da massa do aglomerado).  $M_{BH} = 2300_{-850}^{+1500} M_{\odot}$ . O buraco negro de 47 Tuc não acreta matéria, por isso não é visível por meio de ondas eletromagnéticas!



# Crescimento dos buracos negros



Alexander & Bar-Or, Nature, 2017. Mostraram que um buraco negro estelar “semente” cresce muito rápido para um buraco negro massivo, em qualquer cenário. Assim, é difícil detectar BNI porque eles duram pouco tempo.



# Índice

Galáxias ativas e seus subtipos

Discos de acrecimento

Buracos negros supermassivos

Relação  $M_{BH} - \sigma$

Evolução do Buraco Negro e da Galáxia

Galáxias starburst

Bibliografia



## Galáxias starburst



Algumas galáxias apresentam um surto de formação estelar. Podem ser confundidas com AGNs por causa do alto brilho e da cor azulada. Colisões podem causar o starburst, como na foto ao lado da galáxia da Antena, que é um par de galáxias em colisão.



# Índice

Galáxias ativas e seus subtipos

Discos de acrecimento

Buracos negros supermassivos

Relação  $M_{BH} - \sigma$

Evolução do Buraco Negro e da Galáxia

Galáxias starburst

Bibliografia



## Fontes para estudo

- ▶ O céu que nos envolve, capítulo 9
- ▶ Fascínio do Universo, capítulo 6
- ▶ Curso de Astronomia II do Prof. Steiner, aulas 6 a 8
- ▶ Astronomia Extragaláctica, Gastão Lima Neto, cap 11
- ▶ Seção “Galáxias” em <http://astro.if.ufrgs.br/>



REALIZAÇÃO

