



# Astrofísica - Galáxias

Júlio C. Fabris

Cosmo-ufes/PPGCosmo/Universidade Federal do Espírito Santo

Inverno Astrofísico, setembro de 2022



## Definição

- Galáxias são sistemas auto-gravitantes formado por estrelas e gás.
- As galáxias menores tem massa da ordem de dezenas de milhões de massas solares, contendo um número semelhante de estrelas.
- As galáxias maiores tem massa da ordem de centenas de bilhões de massas solares, contendo um número semelhante de estrelas.





# Galáxia barrada















# Galáxias

- Apenas no século XX se percebeu, depois de detalhes acalorados, que algumas destas *nebulosas* estavam a uma distância de nós muito maior que as das estrelas conhecidas.
- A distância era da ordem de megaparsecs (Mpc)!
- A hipótese de Kant se confirmou.



# Galáxias

## Andrômeda



# Estrutura das galáxias espirais





## Estrutura das galáxias espirais

- O disco tem um raio de 10 kpc ou mais, mas com uma espessura de dezenas de pc. Logo é um disco fino.
- Ele contém braços espirais cuja origem ainda não é perfeitamente compreendida.
- Os braços espirais contêm muito gases e são regiões de formação de novas estrelas.

## A Via Láctea, nossa galáxia

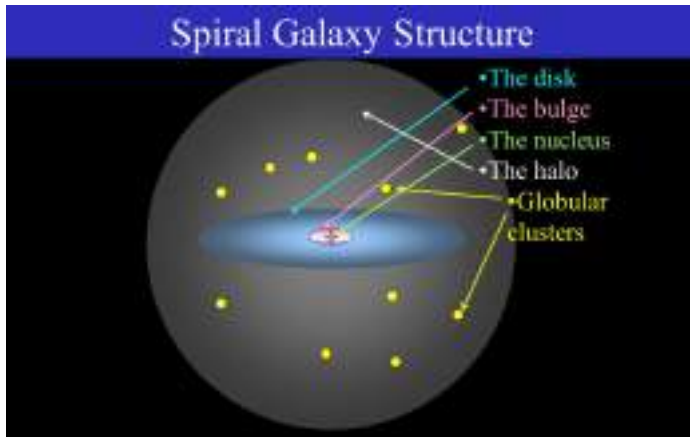
- Nossa galáxia é um espiral barrada.
- O raio do disco é da ordem de 12 kpc.
- O Sistema Solar se encontra mais próximo da borda, a 8 kpc do centro.

## Outras propriedades

- As galáxias espirais são envolvidas por um *halo de matéria escura*, matéria ainda não detectada diretamente.
- E é também envolvido por um aglomerado estelares *globulares* formados por estrelas muito velhas, que *nasceram* no momento de formação da galáxia.



# Estrutura das galáxias espirais

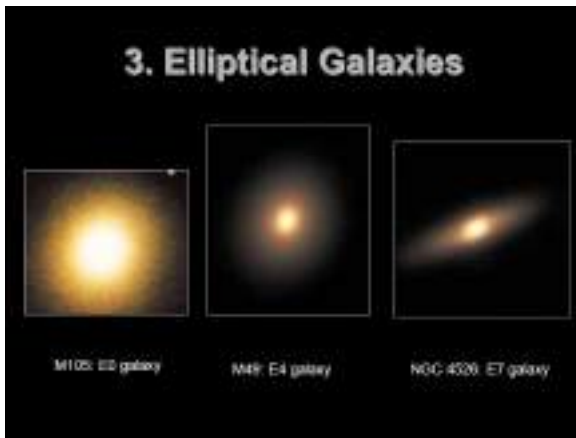




## Rotação

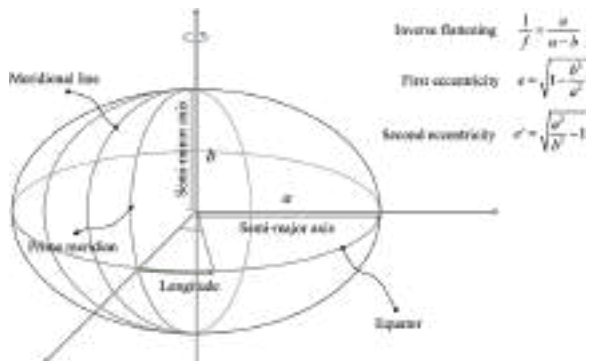
- Uma propriedade importante das galáxias espirais é que o disco *gira* em um sentido bem definido.
- Uma galáxia espiral se comporta quase como um disco rígido girante. O *quase* é importante...
- Isto terá consequências importantes para a inferência da possível existência da *matéria escura*.

# Estrutura das galáxias elípticas





# Elipsóide





# Galáxias elípticas

- Características:

- ① Não há um sentido definido em que as estrelas giram em torno do seu centro: alta dispersão de velocidade;
- ② Pouco gás;
- ③ Estrelas mais velhas em geral.





# Classificação de Hubble





## Curvas de rotação de galáxias espirais

- Usando a mecânica e gravitação podemos estimar esta velocidade de rotação.
- Primeiro ponto importante: para um objeto que gira em trajetória circular, a aceleração é dada por

$$a = \frac{v^2}{r}, \quad (1)$$

onde  $v$  é a velocidade de rotação e  $r$  é a distância ao centro.



## Curvas de rotação de galáxias espirais

- Essa aceleração é provocada pelo campo gravitacional no interior da esfera definida pelo raio  $r$ .

## Curvas de rotação de galáxias espirais

- Consideremos que a galáxia tem um raio  $R$  e massa  $M$ .
- Então é possível mostrar que,
  - Se  $r < R$ , então a aceleração provocada pelo campo gravitacional é dada por

$$a = G \frac{Mr}{R^3}; \quad (2)$$

- Se  $r > R$ , então a aceleração provocada pelo campo gravitacional é dada por

$$g = G \frac{M}{r^2}. \quad (3)$$

## Curvas de rotação de galáxias espirais

- Combinando as expressões anteriores:
  - Se  $r < R$ ,

$$\frac{v^2}{r} = G \frac{Mr}{R^3} \Rightarrow v \propto r; \quad (4)$$

- Se  $r > R$ ,

$$\frac{v^2}{r} = G \frac{M}{r^2} \Rightarrow v \propto \frac{1}{\sqrt{r}}. \quad (5)$$

## Curvas de rotação de galáxias espirais

- Logo, no interior das galáxias espirais a velocidade de rotação deve crescer com o raio, e a partir de certo ponto que pode ser caracterizado como sua "borda", a velocidade deve decrescer com o inverso da raiz quadrada da distância ao centro.

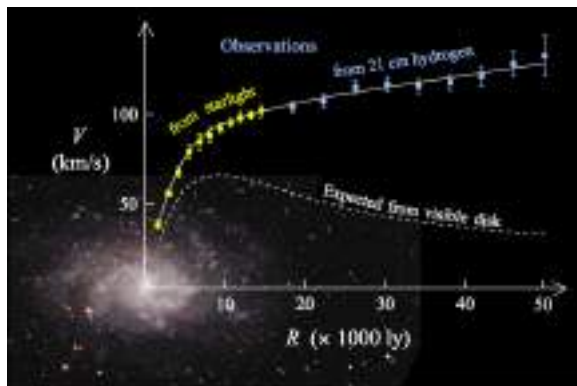


## Curvas de rotação de galáxias espirais

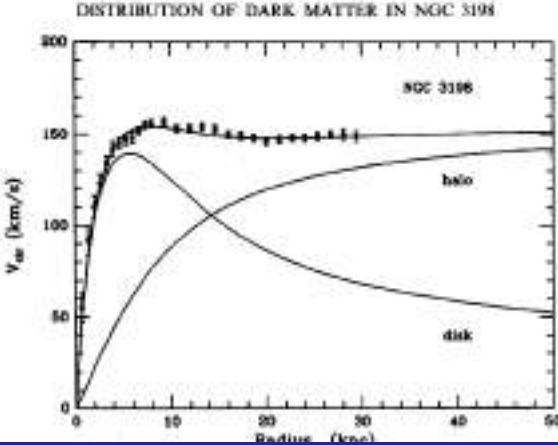
- Mas...não é isto que se observa!
- Estranhamente, a velocidade permanece constante na região externa da galáxia.



## Curva de rotação



# Curva de rotação



## Tully-Fisher

- Uma interessante relação que emerge da análise da curva de rotação das galáxias espirais é a chamada *relação de Tully-Fisher*:

$$L \propto V^4. \quad (6)$$

- Tully-Fisher é uma relação entre a luminosidade total de uma galáxia (espiral) e a velocidade do plateau da curva de rotação.

## Tully-Fisher

- Ela pode ser convertida em uma relação entre a massa (bariônica) total da galáxia e a velocidade no plateau.

$$M \propto V^4. \quad (7)$$

- Tal conversão requer uma relação massa/luminosidade.



## Curvas de rotação de galáxias espirais

- Se a mecânica e gravitação newtonianas não estão erradas, a única opção parece supor que existe um halo de matéria escura envolvendo a galáxia.

# Halo de matéria escura



# Matéria escura

- Este halo de matéria escura resolveria a curva de rotação das galáxias espirais.
- No entanto, há um problema: essa matéria escura parece não emitir nem absorver radiação eletromagnética em nenhuma faixa do espectro.
- Não pode ser a matéria que conhecemos e da qual somos formados (átomos, com prótons, nêutrons e elétrons).
- Que matéria é esta? Mistério...



# Matéria Escura

- Outro aspecto importante do problema: a quantidade de matéria escura necessária para resolver o problema da curva de rotação das galáxias espirais é algumas vezes maior que a matéria usual, que emite e absorve radiação eletromagnética.

# Matéria Escura

- Quem é esta matéria escura?
- Esta é uma das maiores discussões hoje em Astronomia e Física.

# Matéria Escura

- Uma característica importante (e mesmo crucial, que a define) da Matéria Escura: não emite nem absorve nenhuma forma de radiação eletromagnética, em nenhuma faixa do espectro eletromagnético.
- Logo, etende-se o nome *Matéria Escura*.

## Matéria Escura

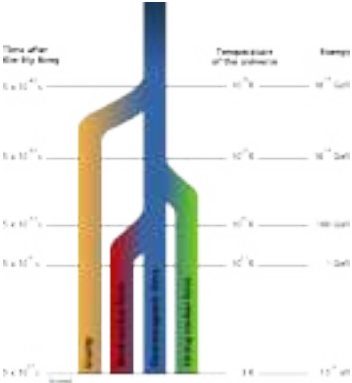
- Existem muitas propostas teóricas que ainda não receberam suportes experimentais, mas que são muito atraentes por vários motivos.
- Estas propostas resolveriam vários problemas que afligem as teorias existentes.

## Matéria Escura

- Teorias de Grande Unificação: unificaria as interações forte, fraca e eletromagnéticas, em uma única teoria.
- Essa unificação seria efetiva à energia de  $10^{15} GeV$ .
- Essa energia seria alcançada no início da história do Universo (no CERN se consegue hoje  $10^4 GeV$ ).
- As teorias de Grande Unificação (GUT) prevêm a existência de novas partículas, como o *áxion*, que tem todas as boas propriedades para ser a Matéria Escura.
- Mas o áxion ainda não foi detectado: seção de choque muito pequena.



# Matéria Escura



# Matéria Escura

- Supersimetria: associa a cada férmion um bóson e a cada bóson um férmion.

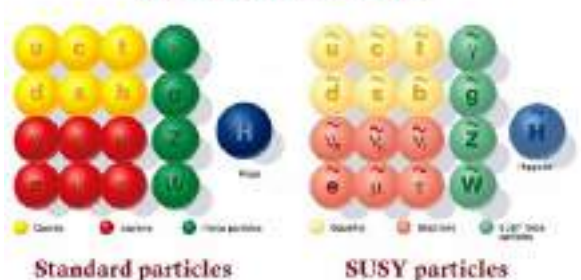
# Matéria Escura

		fermions (3 gérations de la matière)			bosons (force)
		I	II	III	
quarks	charge →	2/3	2/3	2/3	0
	spin →	1/2	1/2	1/2	0
masse →	→	→	→	→	→
		<b>u</b> <small>up</small>	<b>c</b> <small>charm</small>	<b>t</b> <small>top</small>	<b>γ</b> <small>photon</small>
		<b>d</b> <small>down</small>	<b>s</b> <small>strange</small>	<b>b</b> <small>bottom</small>	<b>g</b> <small>gluon</small>
		<b><math>\nu_e</math></b> <small>neutrino électronique</small>	<b><math>\nu_\mu</math></b> <small>neutrino muonique</small>	<b><math>\nu_\tau</math></b> <small>neutrino taupique</small>	<b><math>Z^0</math></b> <small>boson Z<sup>0</sup></small>
		<b>e</b> <small>electron</small>	<b><math>\mu</math></b> <small>muon</small>	<b><math>\tau</math></b> <small>tau</small>	<b><math>W^\pm</math></b> <small>boson W</small>



# Matéria Escura

## SUPERSYMMETRY



## Matéria Escura

- A Supersimetria pode ser restaurada a diferentes energias dependendo do modelo.
- Ela conteria partículas, os neutralinos, que poderiam constituir a Matéria Escura.
- Nenhum sinal direto por enquanto destas partículas.
- Em particular elas ainda não apareceram no LHC (CERN). Seria possível em princípio dependendo da teoria supersimétrica que se considera.

## Matéria escura

- Alguns grandes experimentos tentam detectar sinais característicos desses possíveis candidatos para a matéria escura, sobretudo através do seu decaimento em partículas usais.

# Matéria Escura



# Matéria escura

- Por enquanto nenhum resultado positivo.
- Isto é obviamente é incômodo.
- Mas, todos sabem que não é uma detecção simples.

## Aglomerado de galáxias

- O número de galáxias presentes em um aglomerado pode variar muito.
- Alguns, como o aglomerado de *Coma*, podem ter mais de mil galáxias.
- Outros, como o aglomerado local ao qual pertence a Via Láctea, podem ter algumas dezenas de galáxias, ou ainda menos.



# Aglomerado de galáxias

local.jpg



# Aglomerado de galáxias







# Aglomerado de galáxias



## Aglomerado de Coma

- Um aglomerado de galáxia particularmente importante por vários motivos. é o de *Coma*.
- É um aglomerado *rico* com mais de 1000 galáxias formando um sistema ligado autogravitante.

# Aglomerado de galáxias - Coma



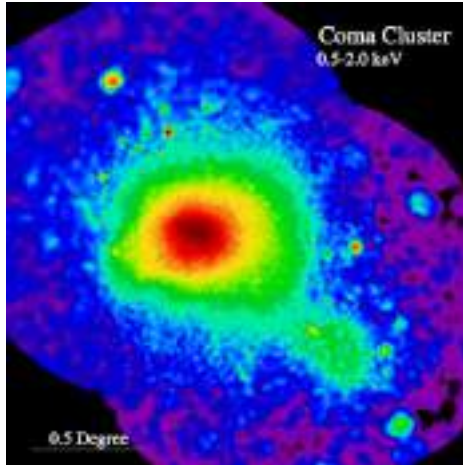
# Aglomerado de galáxias - Coma



## Aglomerado de Coma - Raio X

- O gás em aglomerados, como o de Coma, emitem fortemente raios X, que podemos detectar.

# Aglomerado de galáxias - Coma



# Aglomerado de galáxias - Coma



## Aglomerado de Coma

- O astrônomo Fritz Zwicky estudou com detalhes o aglomerado de Coma na década de 30.
- Ele fez uma análise usando o teorema do Virial.















# Matéria Escura em Aglomerado de galáxias



# Matéria Escura em Aglomerado de galáxias

