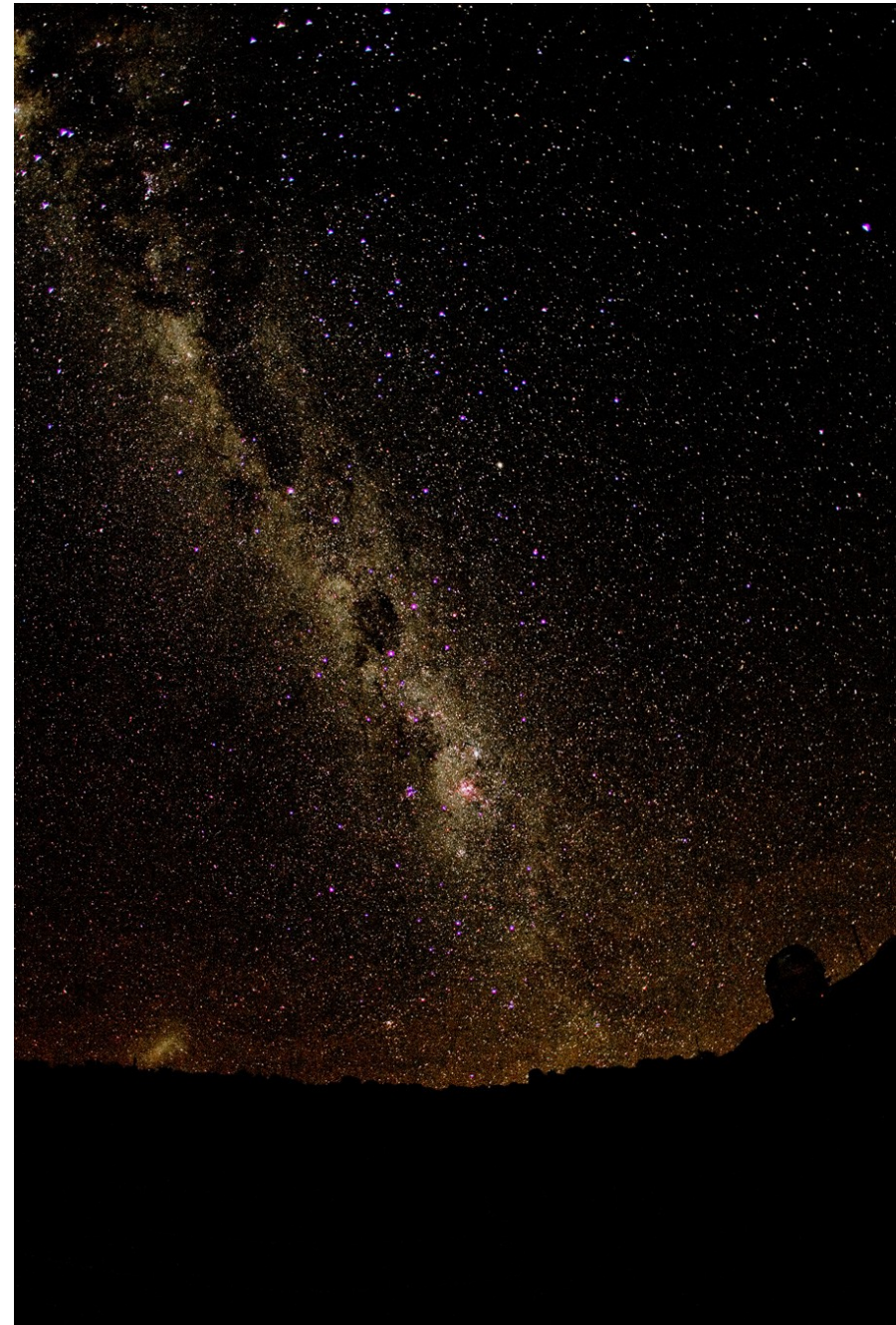


# **1. História da Astronomia Extragaláctica**

- Via Láctea (latim) =  
Galáxia (grego) =  
caminho de leite:  
o leite derramado por Hera



- **G**aláxia = Via Láctea
- **g**aláxia : as outras galáxias

# Galáxias visíveis a olho nu

- Andrômeda (M31)
- Grande Nuvem de Magalhães (LMC)
- Pequena Nuvem de Magalhães (SMC)
- (Omega do Centauro)



# As nuvens de Magalhães



# A natureza da Via Láctea

- Anaxágoras (~500-428 a.C.), Demócrito (~450-370 a.C.): a Via Láctea é constituída de estrelas distantes
- Aristóteles (384-322 a.C.): a Via Láctea é constituída por muitas estrelas muito próximas entre si no alto da atmosfera
- Alhazen (965-1037): não consegue medir a paralaxe da Via Láctea e conclui que ela está distante, fora da atmosfera

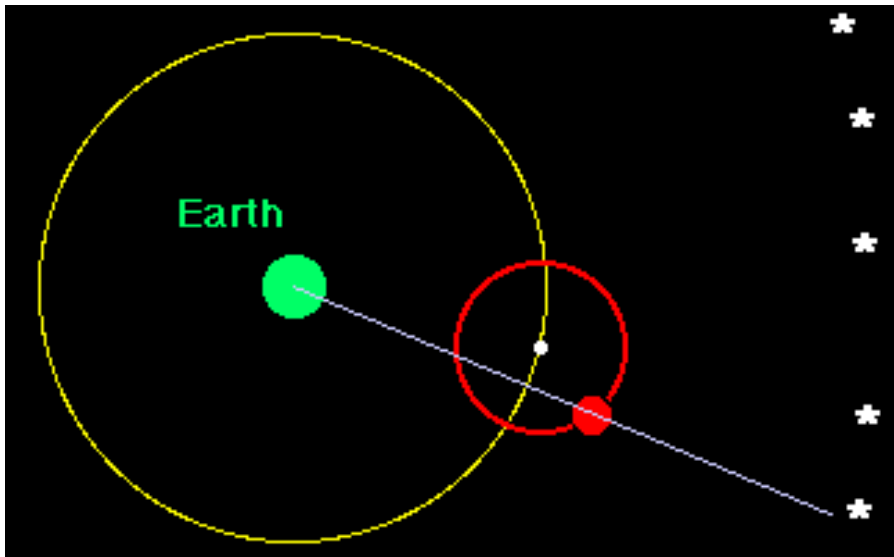


# ~100: Ptolomeu



## Modelo geocêntrico

- modelo geométrico
- apenas movimentos circulares (“perfeitos”)
- explica o movimento retrógrado dos planetas
- prevê as posições dos planetas



# ~960: Al-Sufi: *O livro das estrelas fixas*

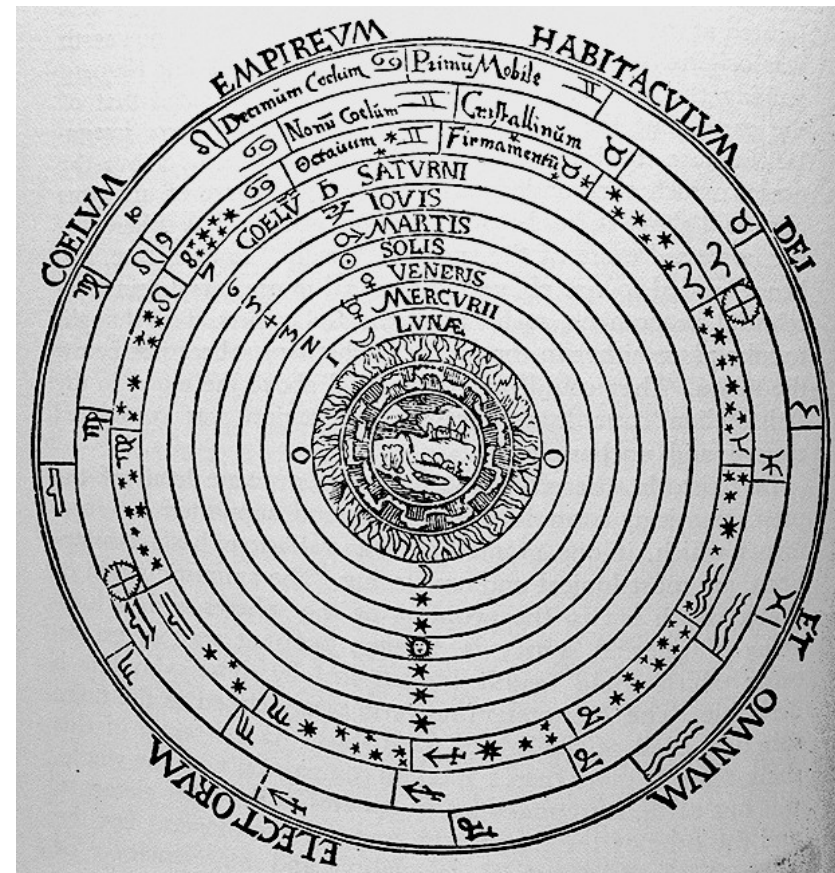
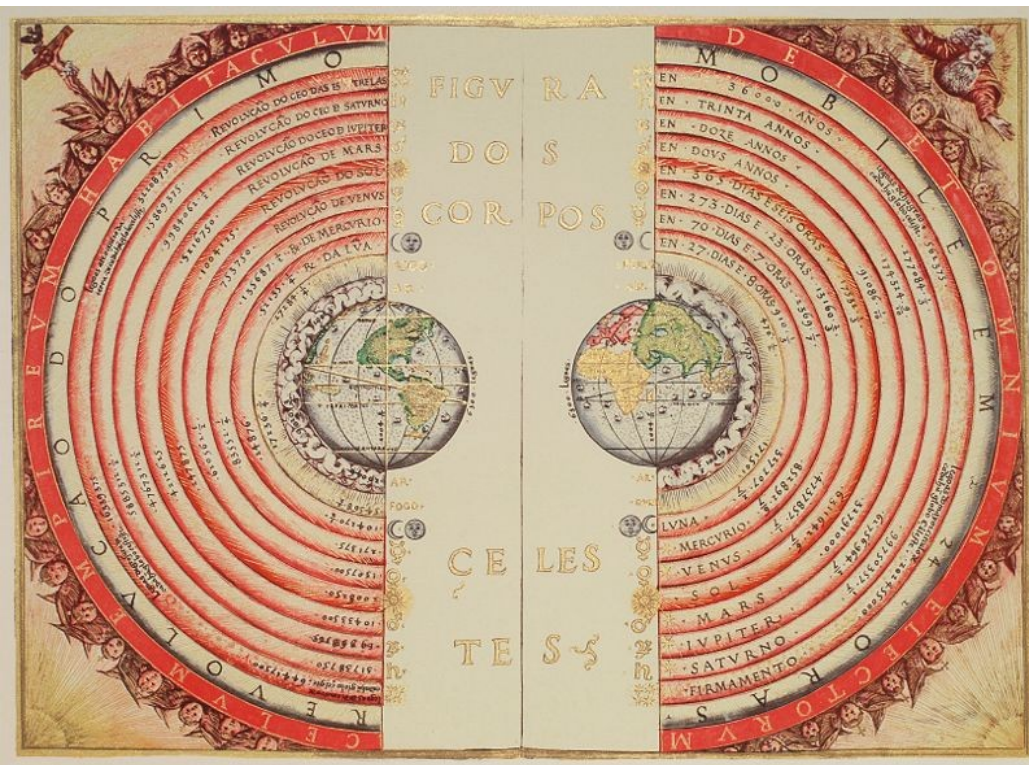


Primeira representação conhecida de Andrômeda  
(assinalada com a letra A: *uma pequena nuvem*)

Primeira menção conhecida à LMC: Al Bakr, a *Vaca Branca*

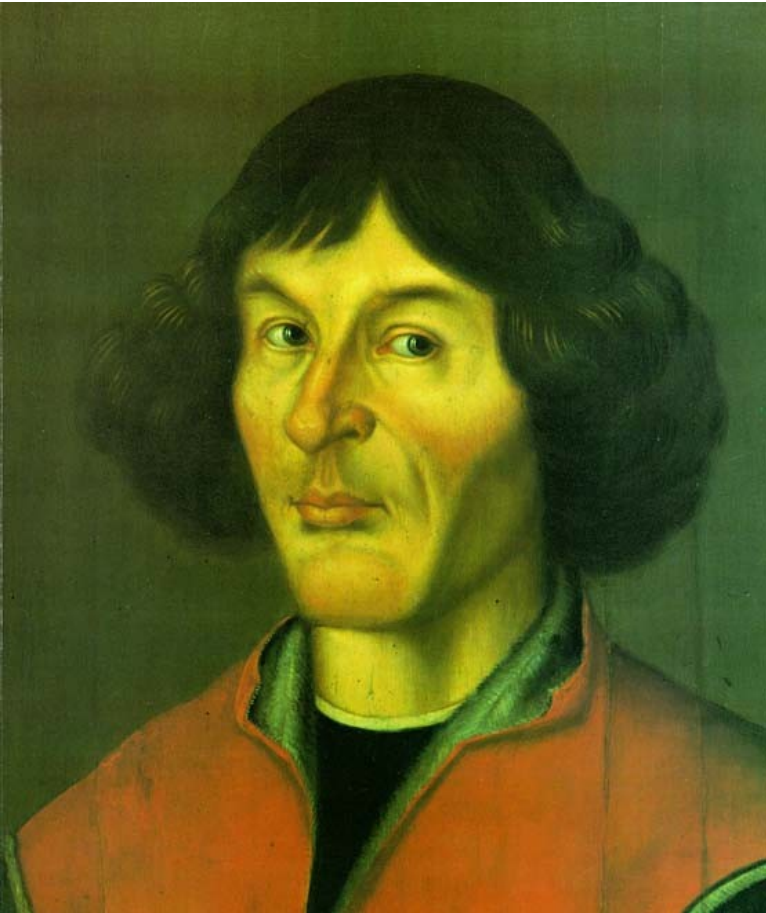


# ~1500: a Terra no centro do universo

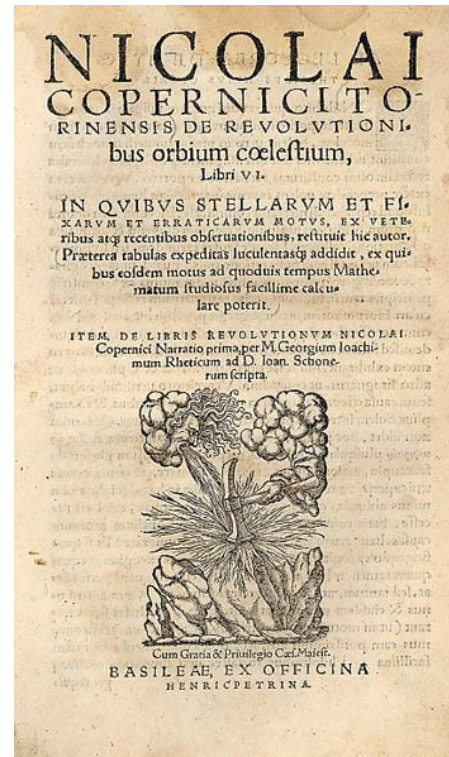


Bartolomeu Velho, 1558

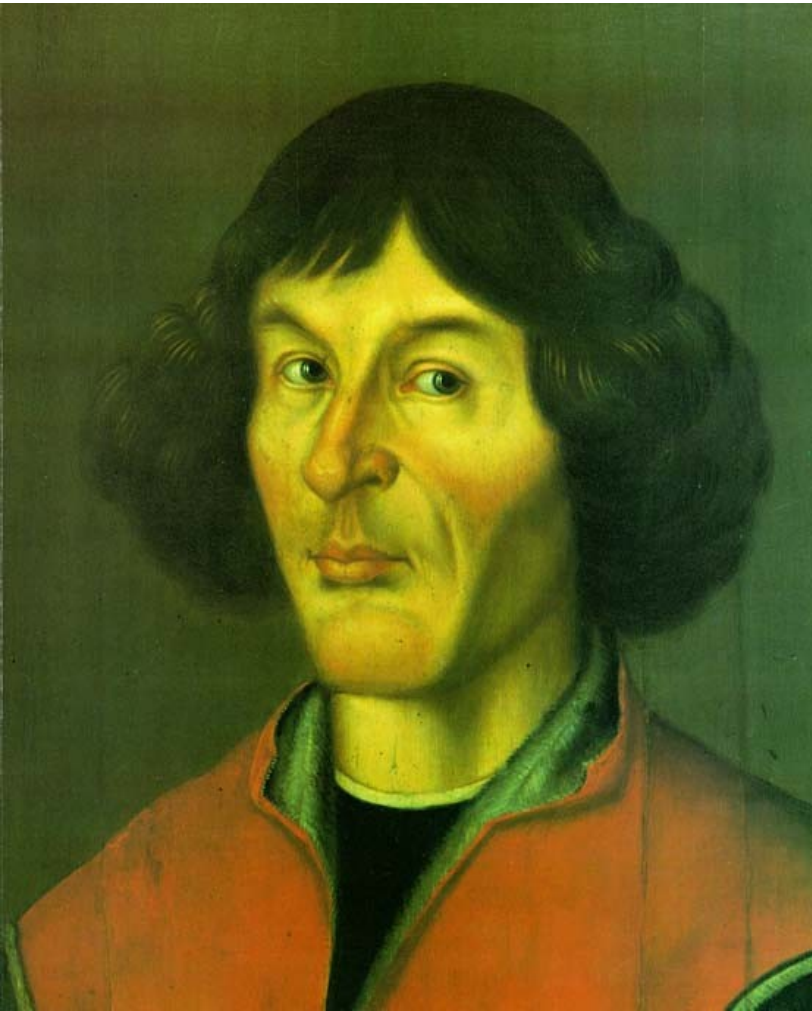
# 1543: Copérnico



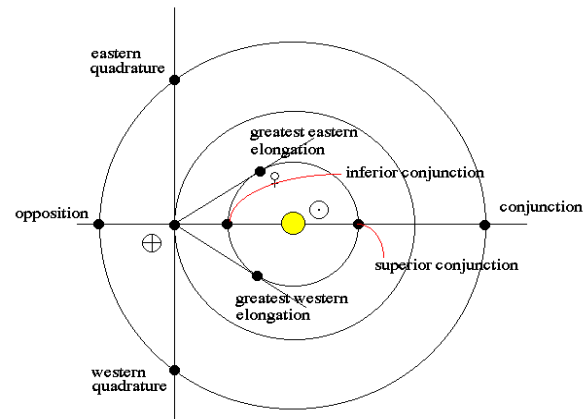
A publicação do *De revolutionibus orbium coelestium* marca o início da revolução científica moderna



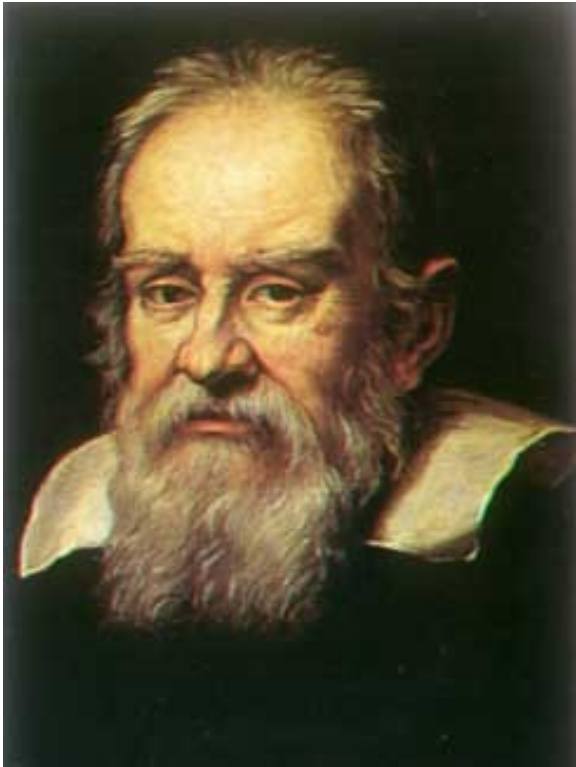
# 1543: Copérnico



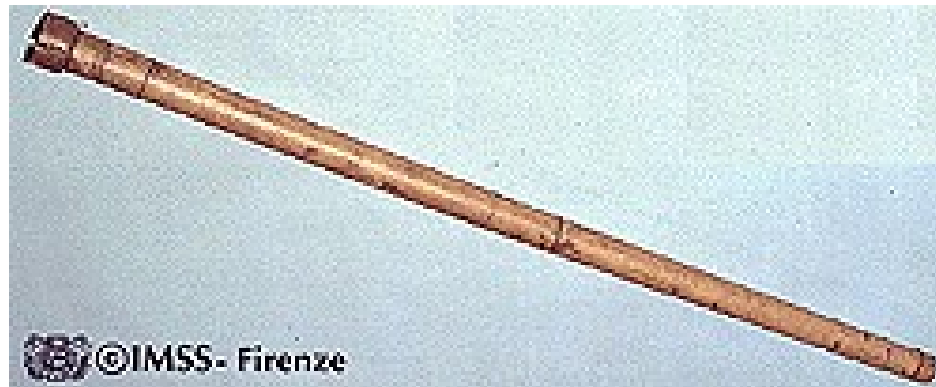
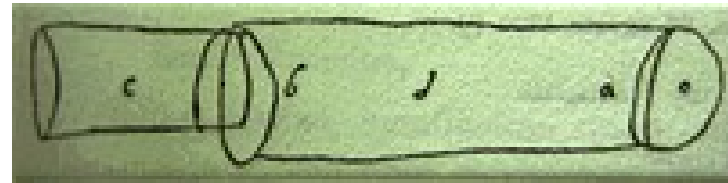
- modelo heliocêntrico
- explicação simples para os movimentos retrógrados dos planetas
- muda a perspectiva com que vemos o universo!



# ~1600 - Galileu



O telescópio trouxe uma revolução científica!



1610: a Via Láctea é constituída por estrelas!

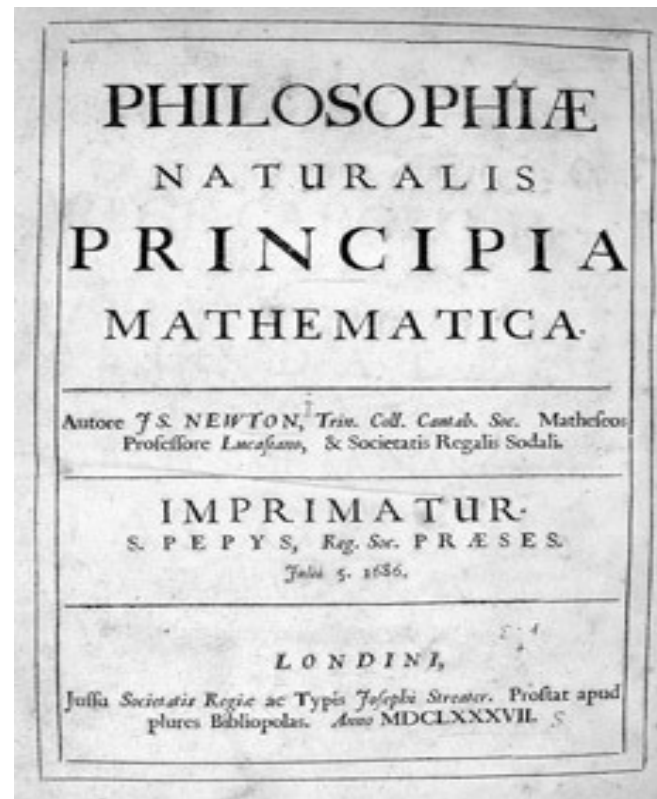
(c.f., Anaxágoras e Demócrito)

Começa a descoberta da natureza da Via Láctea!



# 1687: Newton

Publicação dos *Principia*:  
fundamentos da mecânica e da teoria  
da gravitação universal





# 1755: Kant

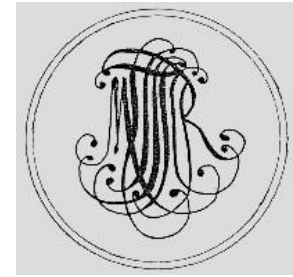
*Allgemeine Naturgeschichte und Theorie des Himmels*  
(História Geral da Natureza e Teoria dos Céus)

*Qual é a natureza das nebulosas?*

- Propõe que a Via Láctea é um disco de estrelas que teria se formado a partir de uma nuvem gasosa em rotação
- Propõe que outras nebulosas poderiam ser sistemas como a Via Láctea:  
**os *universos - ilha***



# 1781: Messier

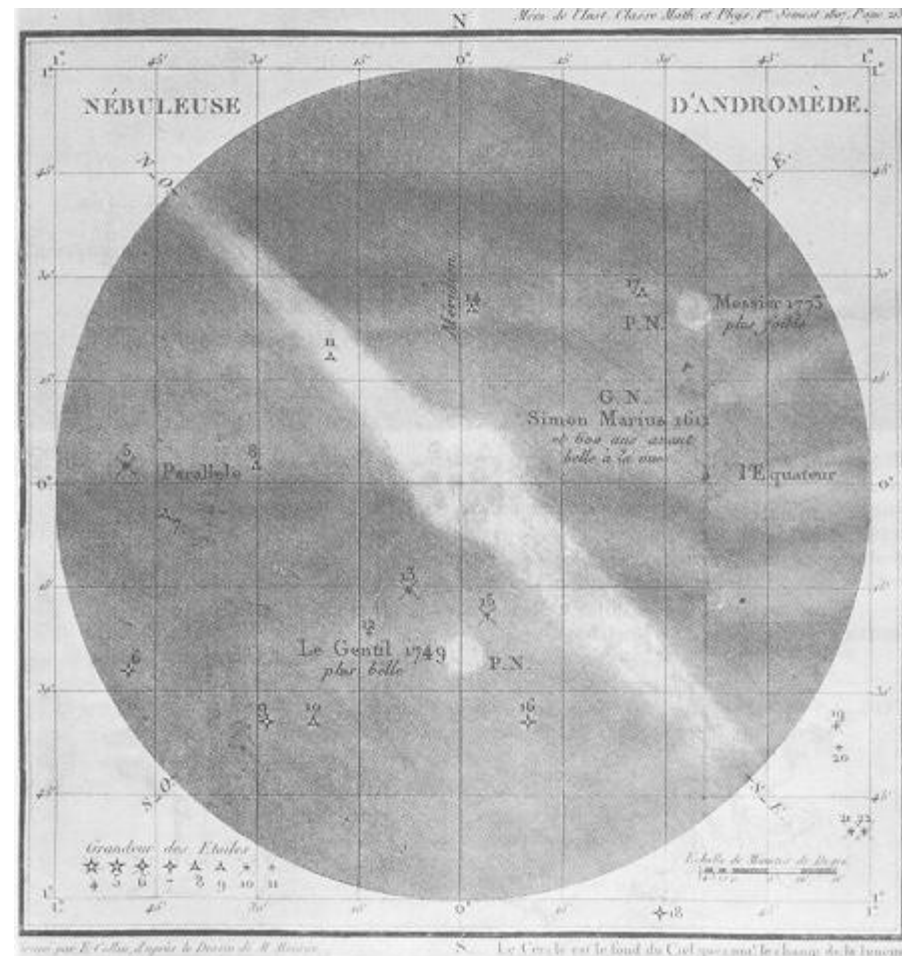


## Catalogue des Nébuleuses

DATE des OBSERVATIONS.	Ascension Droite. En Temps.	Ascension Droite. En Degrés.		DECLINAISON. En Degrés.		N <sup>o</sup> des Néb.
		H. M. S.	D. M. S.	D. M. S.	D. M. S.	
1772. Avril. 5	50.	6. 51. 50	102. 57. 28	7. 57. 42 A		50.
1774. Janv. 11	51.	13. 10. 13	200. 5. 48	48. 24. 24 B		51.
1774. Sept. 7	52.	23. 14. 38	348. 39. 17	60. 22. 12 B		52.
1777. Fêvr. 26	53.	13. 21. 8	195. 30. 26	19. 22. 44 B		53.

Détails des Nébuleuses & des amas d'Étoiles.	
Les positions sont rapportées ci-contre.	
lumière. M. Messier a rapporté cette nébuleuse sur la Carte de la route de cette Comète, qui paroitroit dans le volume de l'Académie de la même année 1779. Revue le 10 Avril 1781.	
50. Amas de petites étoiles plus ou moins brillantes, au-dessous de la queue droite de la Licorne, au-dessus de l'étoile β de Foreille du grand Chien, & près d'une étoile de 7 <sup>e</sup> grandeur. C'est en observant la Comète de 1772, que M. Messier observa cet amas. Il l'a rapporté sur la Carte de cette Comète, qu'il en a tracé. <i>Mém. Acad. 1772.</i>	
51. Nébuleuse très-faible, sans étoiles, près de Foreille des Léviérs, la plus septentrionale, au-dessous de l'étoile α 2 <sup>e</sup> grandeur de la queue de la grande Ourse: M. Messier découvrit cette nébuleuse le 13 Octobre 1773, en observant la Comète qui parut cette année. On ne peut la voir que difficilement avec une lunette ordinaire de 3 pieds ½: près d'elle est une étoile de la 8 <sup>e</sup> grandeur. M. Messier a rapporté la position sur la Carte de la Comète observée en 1773 & 1774. <i>Mémoires de l'Académie 1774. planche III.</i> Elle est double, ayant chacune un centre brillant, éloigné l'un de l'autre de 4' 35". Les deux atmosphères se touchent. L'une est plus faible que l'autre. Revue plusieurs fois.	
52. Amas de très-petites étoiles, mêlé de nébulosité, qu'on ne peut voir qu'avec une lunette achromatique. C'est en observant la Comète qui parut cette année que M. Messier vit cet amas qui étoit près de la Comète le 7 de Septembre 1774: il est au-dessous de l'étoile α de Cassiopee: cette étoile α servit à déterminer l'amas d'étoiles & la Comète.	
53. Nébuleuse sans étoiles, découverte au-dessous & près de la cheville de Bérenice, à peu de distance de l'étoile α 2 <sup>e</sup> de cette constellation, suivant Flamsteed. Cette nébuleuse est ronde & apparente. La Comète de 1779 fut comparée directement à cette nébuleuse, & M. Messier l'a	

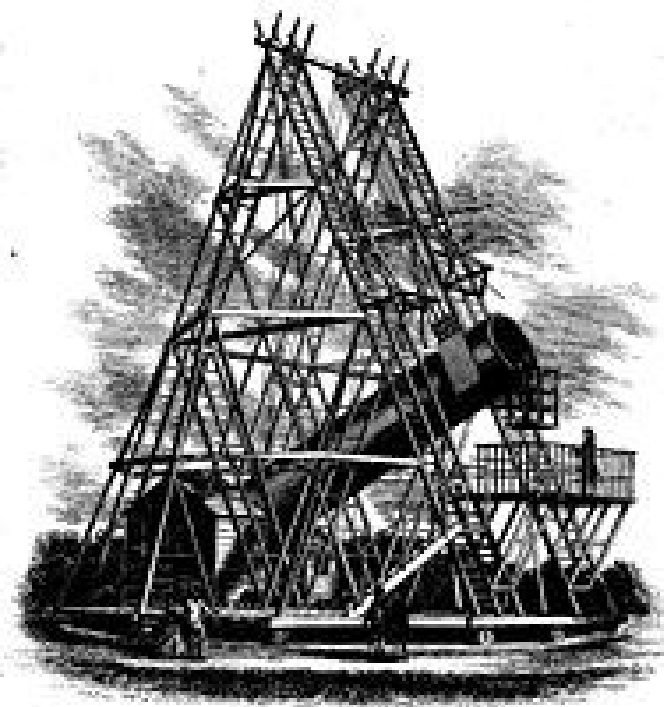


A galáxia de Andrômeda (M31) e dois de seus satélites: M32 e M110



# ~ 1800: William Herschel

- Descubridor de Urano (1781)
- 1786: *Catalogue of One Thousand New Nebulae and Clusters of Stars*



telescopio de 12m

[ 457 ]

XXVII. *Catalogue of One Thousand new Nebulae and Clusters of Stars.* By William Herschel, LL.D. F. R. S.

Read April 27, 1786.

THE following Catalogue, which contains one thousand new Nebulae and Clusters of stars, is extracted from a series of observations (or Sweeps of the heavens), which was begun in the year 1783, and which I am still continuing till the whole be completed. As I may, perhaps, find an opportunity hereafter to publish these observations at full length, I shall now only mention such circumstances, relating to the instrument and apparatus with which they were made, as will be necessary to shew what degree of accuracy may be expected in the determination of the places of these Nebulae and Clusters of stars; and also to serve any astronomer, who wishes to review them, to form a judgment what instrument will suffice for this purpose.

The telescope I have used, as has been observed on a former occasion\*, is a Newtonian reflector of 20-feet focal length, and  $18\frac{7}{8}$  inches aperture. The sweeping power has been 157, except where another is expressly mentioned. The field of view  $15' 4''$ .

My eye-glass is mounted on that side of an octagon tube, which, in the horizontal position of the instrument, makes an angle of  $45^\circ$  with the vertical; having found, by experience, that this position, resembling the situation of a reading desk, is

\* Philosophical Transactions, vol. LXXIV. p. 437.

pre-



# ~1800: William Herschel

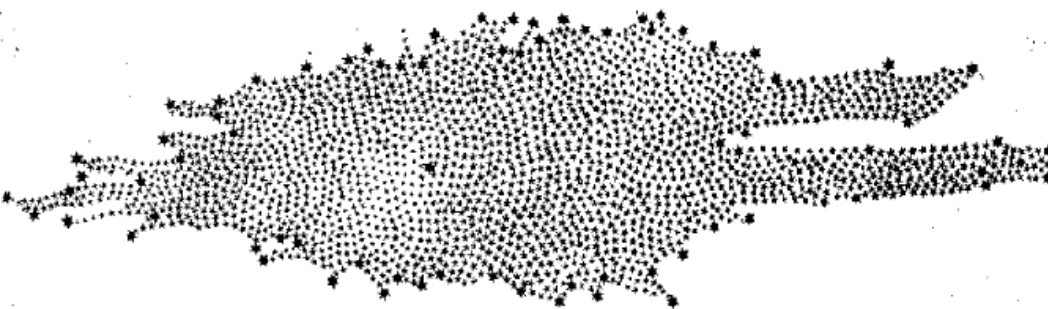


## ***Modelo da Galáxia:***

*técnica:* contagem de estrelas

*hipótese:* todas as estrelas têm a mesma luminosidade que o Sol

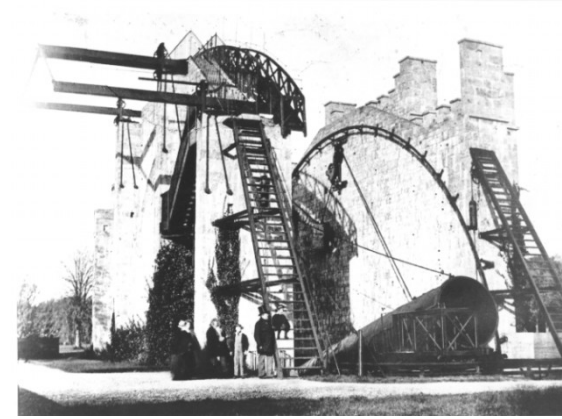
*método:* o brilho aparente cai com o inverso do quadrado da distância- medindo-se o brilho, determina-se a distância  
(não considerou a absorção da luz estelar)



Ele “viu” os bordos da VL:  
concluiu que a Galáxia era finita e que o Sol estava próximo do centro

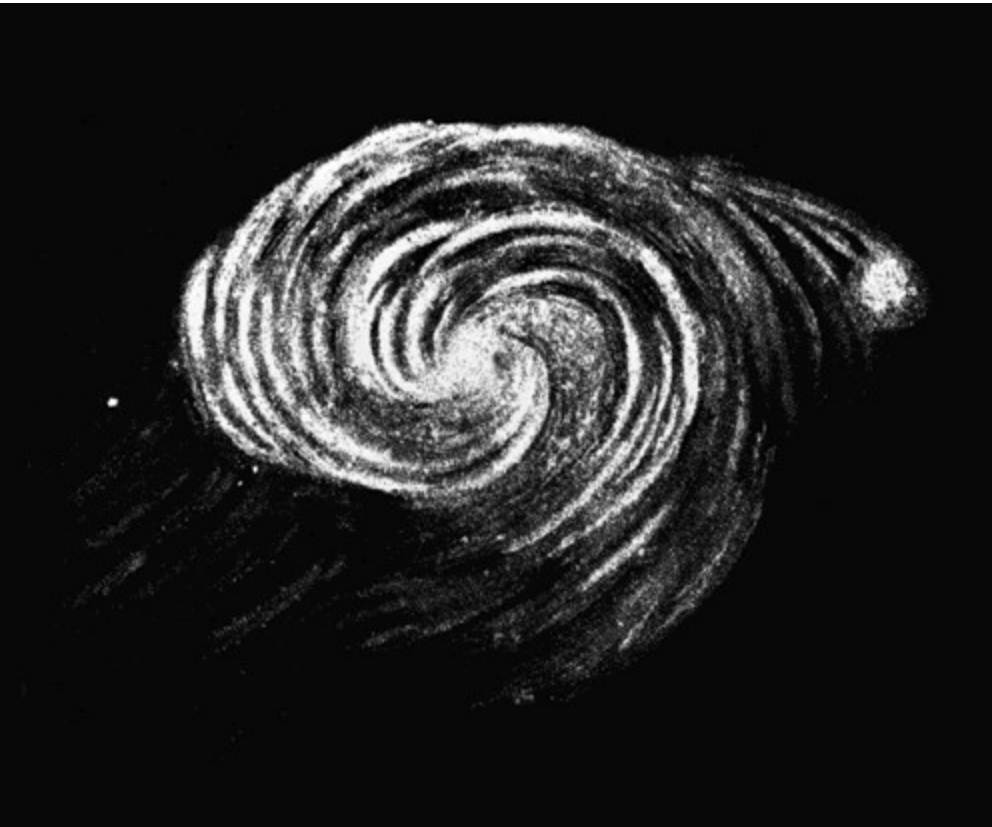


# 1845: Lord Rosse (William Parsons)



descobre a existência das galáxias espirais

classifica as nebulosas em *espirais* e *elípticas*

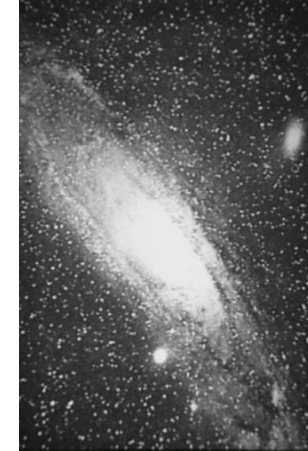


Galáxia do rodamoinho, M51

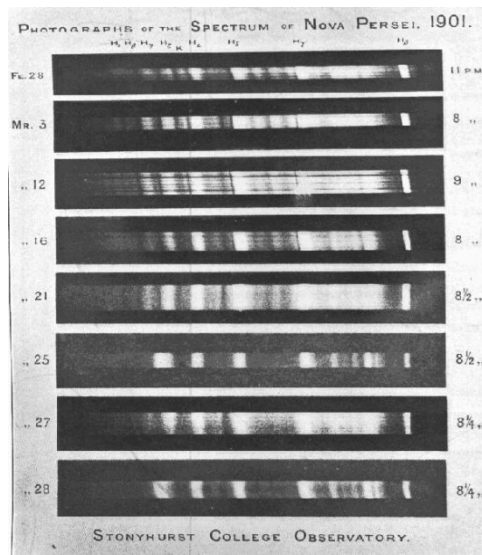


# Final do sec. XIX: duas revoluções na *observação* astronômica

-a fotografia – informação sobre a forma e a estrutura  
(nos anos 1980 em diante é substituída pelos detectores  
CCD)



-a espectroscopia – informação sobre velocidades, composição química, etc

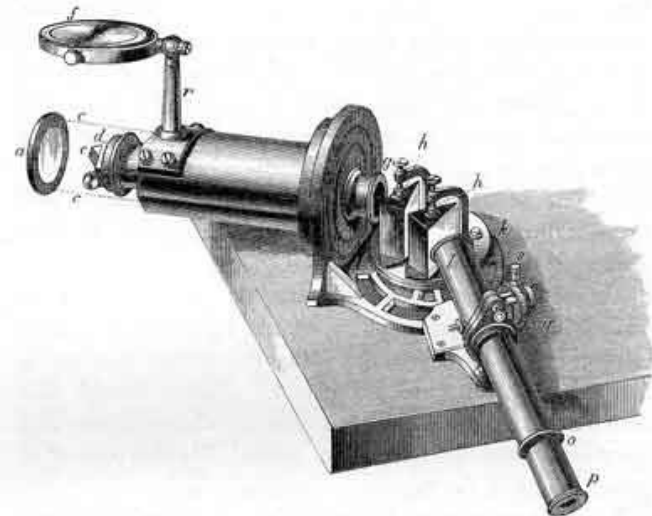
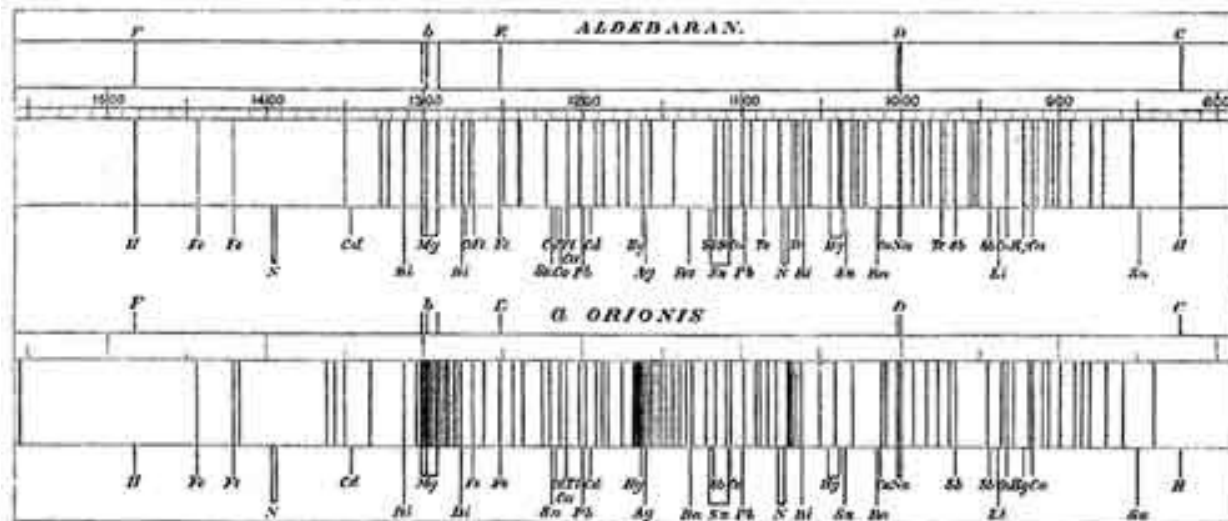




## 1864-68: William Huggins

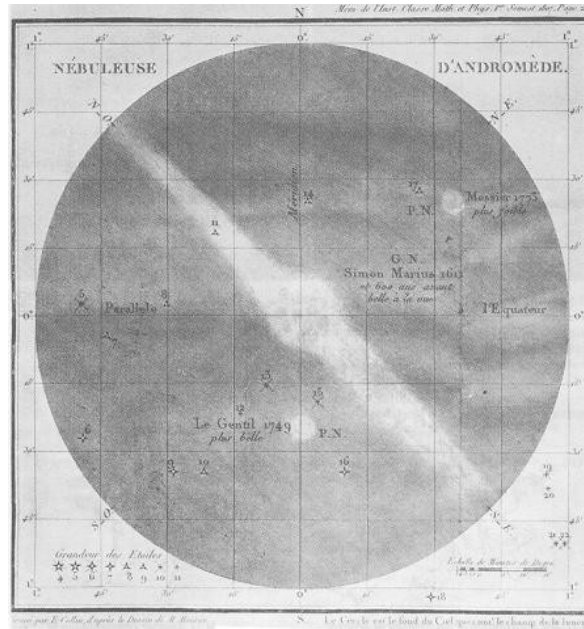
Primeiras observações espectroscópicas de nebulosas  
(visuais!)

Primeiros espectros fotográficos de estrelas: ~1910 (Fath, Wolf)



# Imagens de Andrômeda

Messier, 1781



Primeira foto: 1887, por Isaac Roberts





# 1888: Dreyer

Publicação da primeira versão do *New General Catalogue of Nebulae and Clusters of Stars* (NGC), bem como de dois Suplementos: os *Index Catalogues* (IC)

título do artigo original:

*A New General Catalogue of Nebulae and Clusters of Stars, being the Catalogue of the late Sir John F.W. Herschel, Bart., revised, corrected, and enlarged.*

# ~1900: Kapteyn

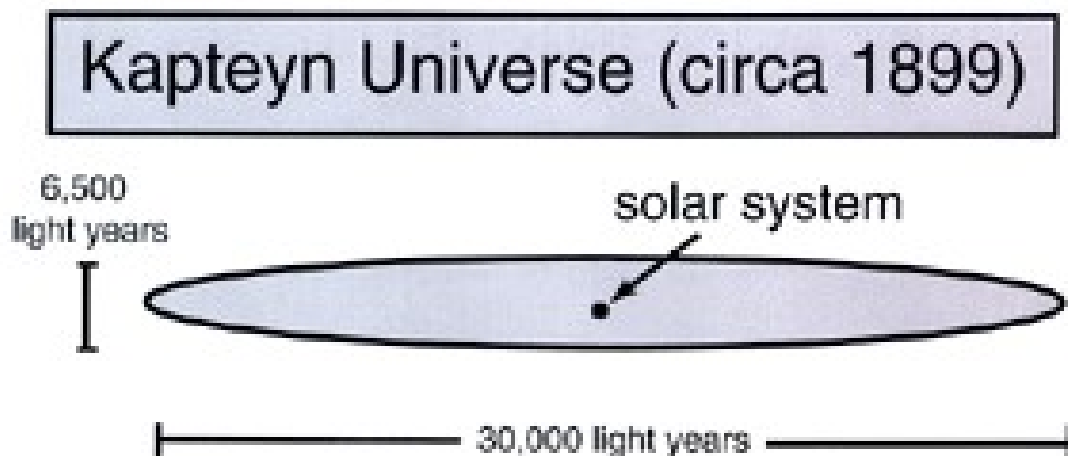


Descobre a primeira evidência da rotação galáctica: medindo a paralaxe verifica que o movimento das estrelas próximas é mais ou menos ordenado.

Usa a fotografia para fazer contagens de estrelas e medidas de paralaxe para estimar o tamanho da Galáxia (não considera a absorção da luz estelar)

## O *universo de Kapteyn*

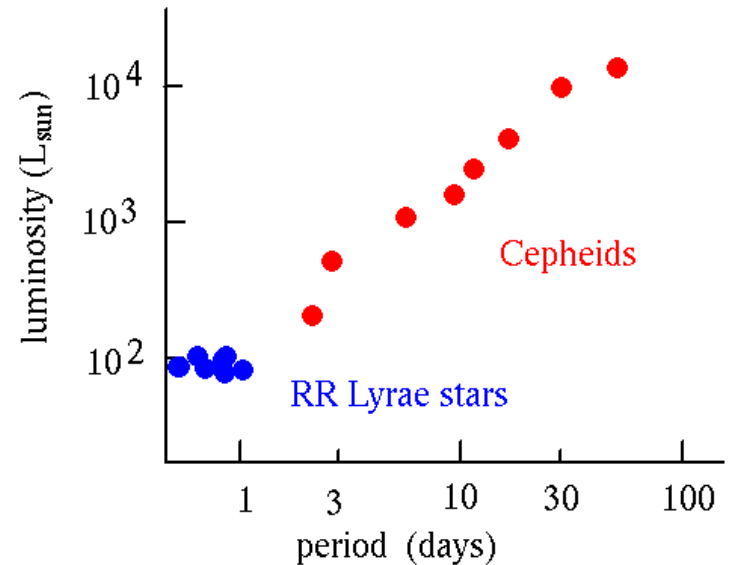
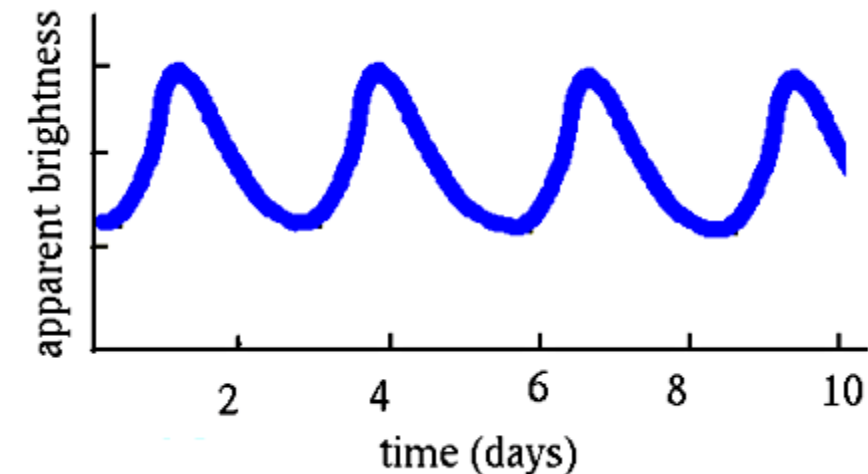
tipo uma lente, com  $\sim 10$  kpc de diâmetro, 2 kpc de espessura e com o Sol muito próximo do centro (modelo praticamente heliocêntrico!)



# 1912: Henrietta Leavitt



- Relação período-luminosidade para cefeidas nas Nuvens de Magalhães: *indicador de distâncias*







# 1914 - Slipher

- Espectro de espirais (80 horas!)
- Primeira determinação do desvio espectral
- Descoberta da rotação das galáxias espirais

RADIAL VELOCITIES OF TWENTY-FIVE SPIRAL NEBULÆ.

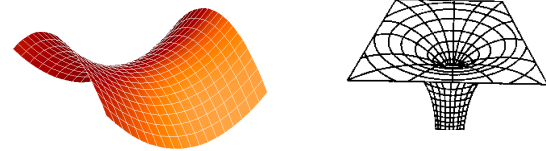
Nebula.	Vel.	Nebula.	Vel.
N.G.C. 221	- 300 km.	N.G.C. 4526	+ 580 km.
224	- 300	4565	+ 1100
598	- 260	4594	+ 1100
1023	+ 300	4649	+ 1090
1068	+ 1100	4736	+ 290
2683	+ 400	4826	+ 150
3031	- 30	5005	+ 900
3115	+ 600	5055	+ 450
3379	+ 780	5194	+ 270
3521	+ 730	5236	+ 500
3623	+ 800	5866	+ 650
3627	+ 650	7331	+ 500
4258	+ 500		

# Einstein

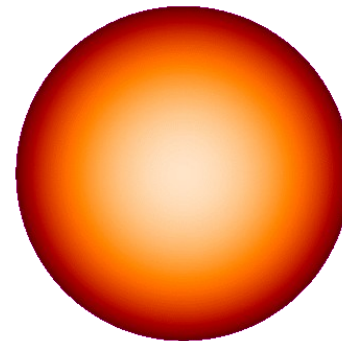


Annus Mirabilis, 1905: o efeito fotoelétrico; movimento browniano, a relatividade especial

1915- a Teoria da Relatividade Geral: base da cosmologia contemporânea



1917- primeiro modelo cosmológico físico – o universo de Einstein – estréia da constante cosmológica



# 1916: van Maanen

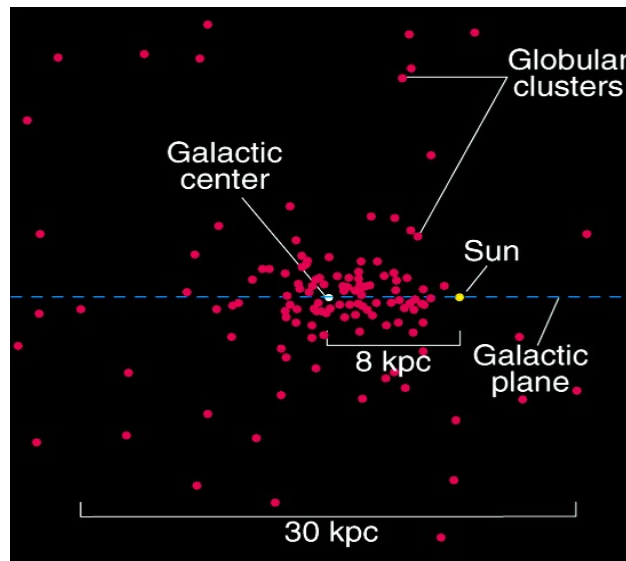
- Mede a rotação de M101 via movimentos próprios (!!)
- Conclui que M101 (e as demais nebulosas espirais) eram parte da Galáxia





## 1917: Shapley

- Estuda a distribuição dos *aglomerados globulares*
- 
- Verifica que sua distribuição no céu é assimétrica
- 
- Conclui que, se eles estiverem distribuídos isotropicamente em torno da Galáxia, o Sol não poderia estar no centro
- 
- Verificou que a Galáxia era maior do que se imaginava (umas 5 vezes maior que o valor de Kapteyn) e que seu centro estava a uns 10 kpc do Sol.

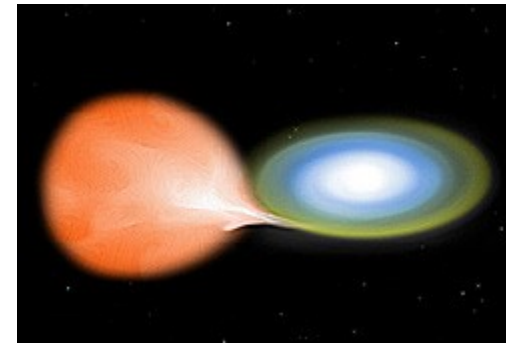
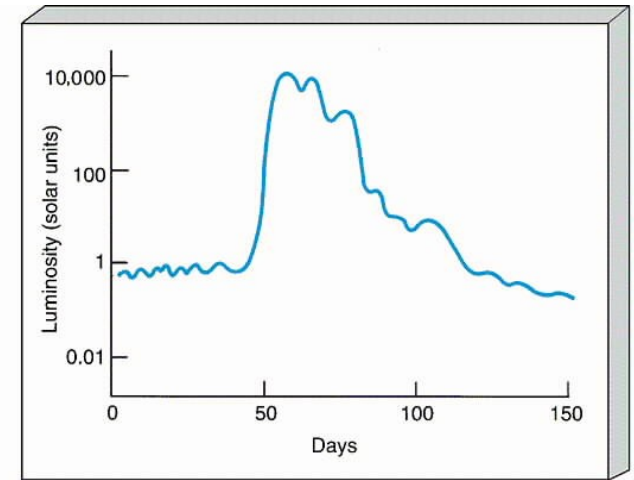
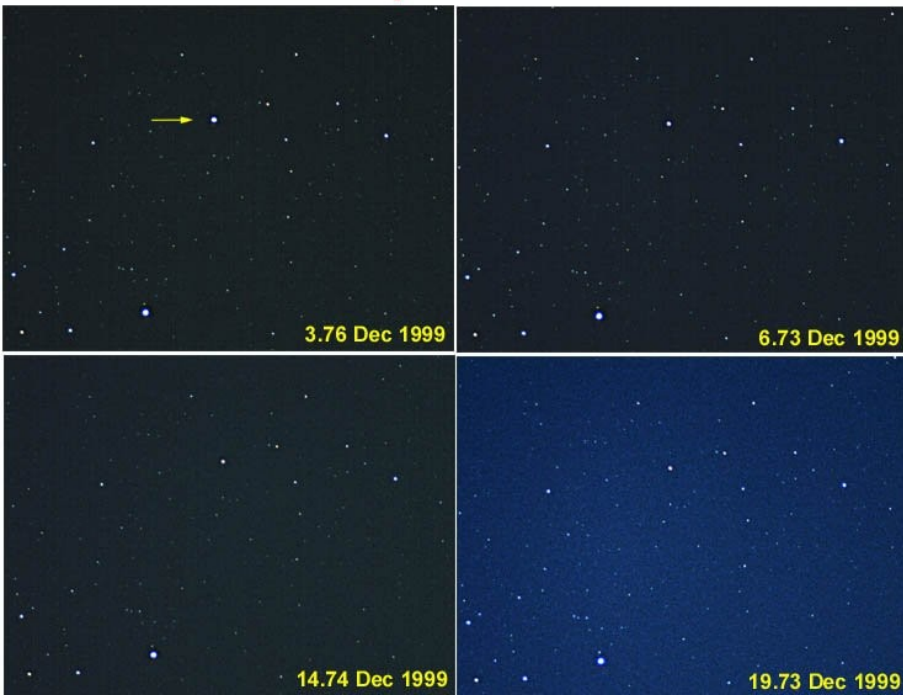


# 1917: Curtis

- Observa *novas* em galáxias espirais
- Conclui que elas estão umas 100 vezes mais longe que as observadas na Galáxia

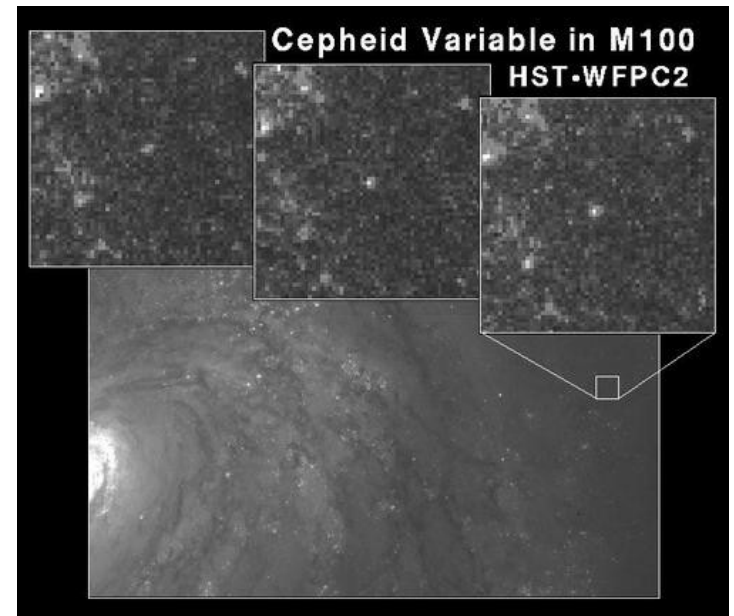
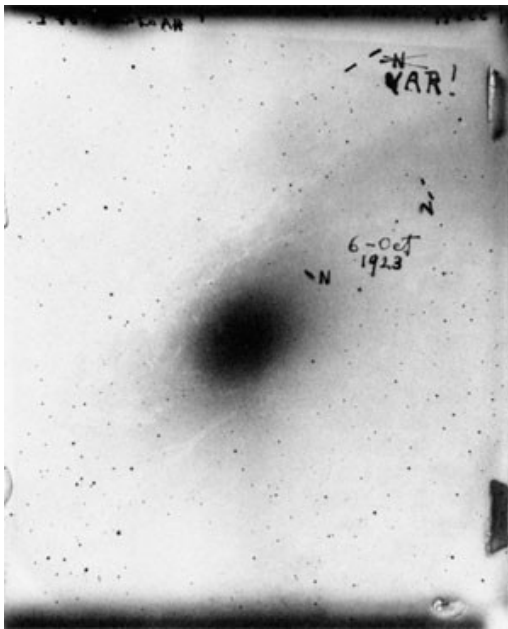


**Nova Aquilae 1999 No.2**



# 1920: *O Grande Debate* Shapley x Curtis

- Discussão sobre o tamanho da Via Láctea, a distância do Sol ao centro da Via Láctea e a natureza das nebulosas espirais
- Shapley: a Via Láctea é o universo; as outras nebulosas espirais eram parte da Via Láctea
- Curtis: Andromeda e outras nebulosas espirais eram galáxias separadas, ou universos-ilha
- Shapley “venceu” o debate, mas quem tinha razão era Curtis
- Solução: Hubble, em 1923, mede a distância de M31 usando cefeidas





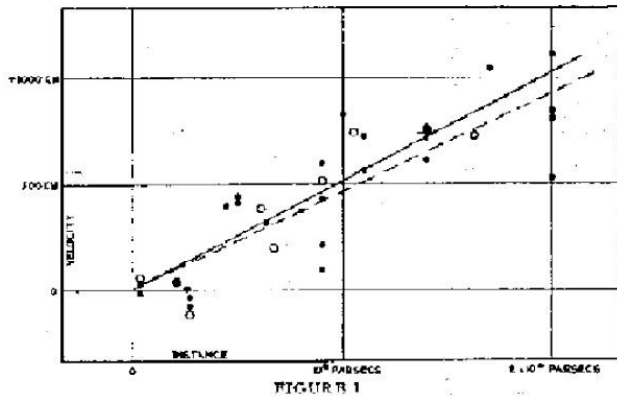
© Copyright California Institute of Technology. All rights reserved. Commercial use or modification of this material is prohibited.

# Hubble

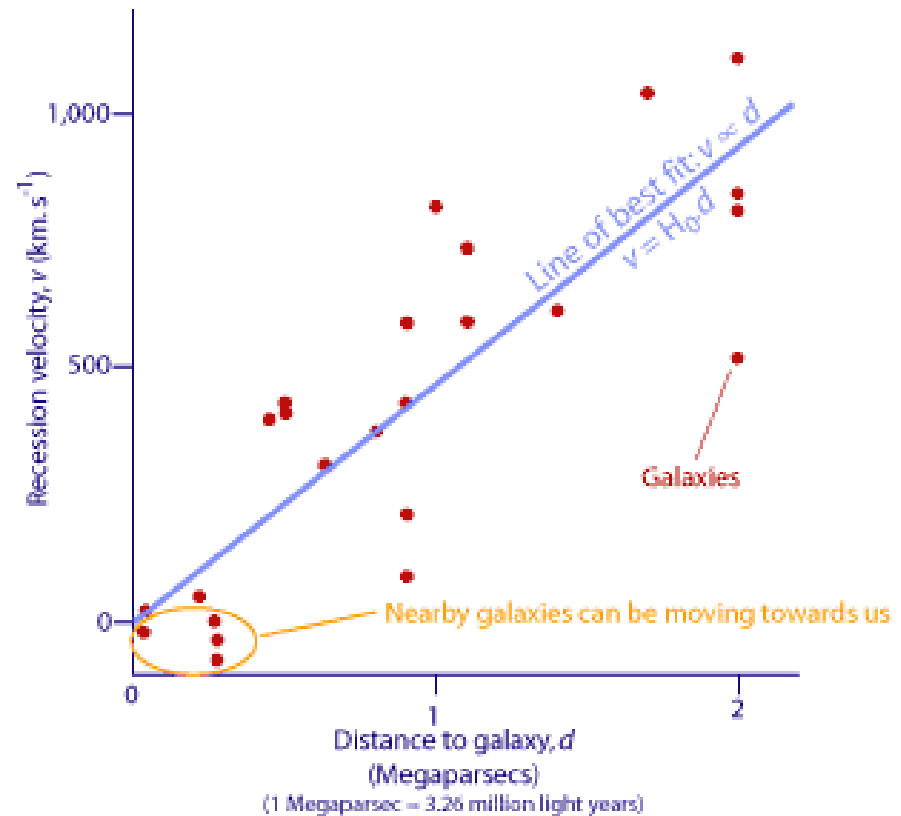
1923- demonstra a existência das galáxias usando cefeidas

1929: Lei de Hubble- evidência de que o Universo está em expansão

## Hubble's Plot of Galaxy Velocity & Distance



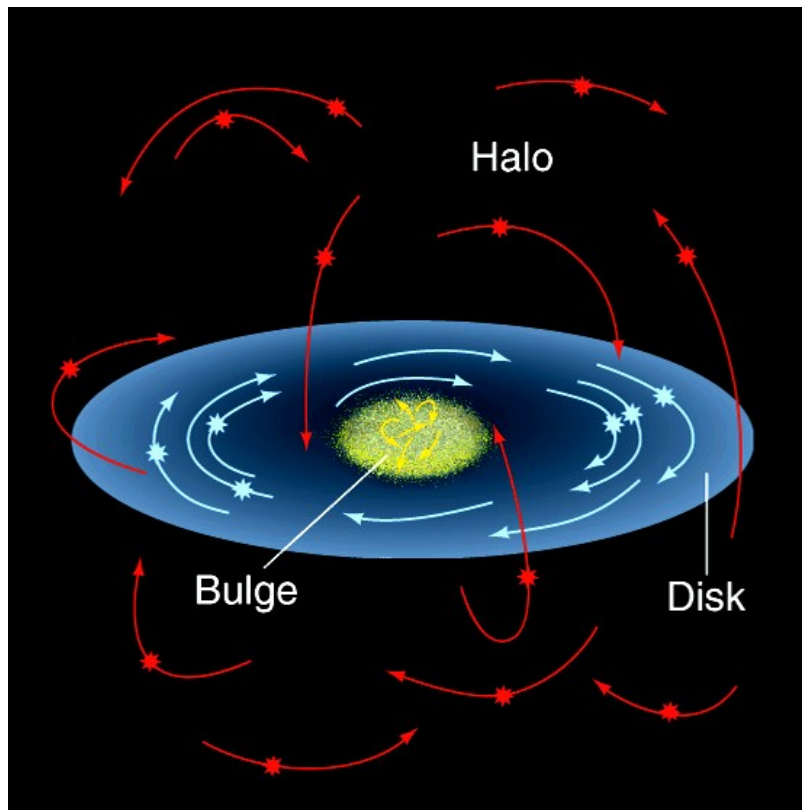
Hubble's original 1929 data, from which a linear velocity-distance relation was proposed.



# Modelos cinemáticos para a Via Láctea

1927: Lindblad desenvolve o primeiro modelo cinemático da Via Láctea, com duas componentes:

- halo: componente esferoidal, com as estrelas apresentando movimentos aleatórios
- disco: componente achatada, em rotação



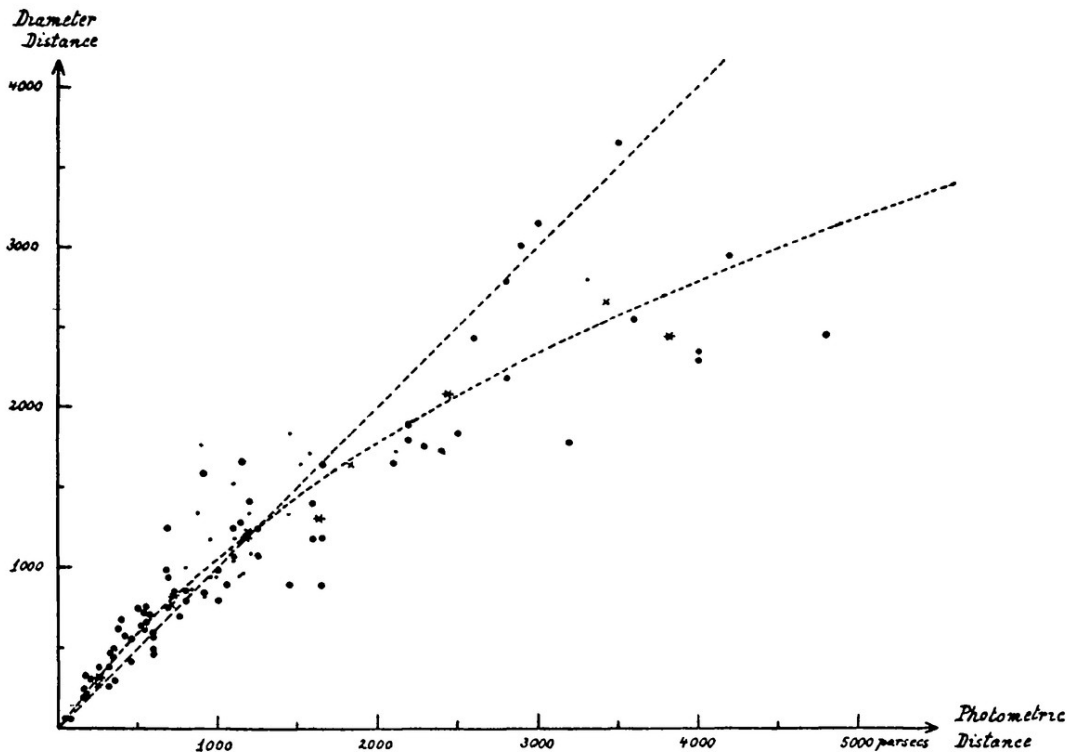
1927, 1928: Oort desenvolve uma teoria completa para a cinemática estelar





## 1930: Trumpler

- Estudando o tamanho e luminosidade de aglomerados estelares, conclui que a luz estelar é parcialmente absorvida: existe “poeira” no meio entre as estrelas
- Estima uma absorção de  $\sim 0.5$  mag/kpc



A poeira foi descoberta, independentemente, por Vorontsov-Velyaminov



## 1931: Jansky

Descoberta de ondas de rádio cósmicas provenientes da região central da Via Láctea

Abre-se outra janela para a astronomia: acesso a outros comprimentos de onda

Unidade de fluxo:  $1 \text{ Jy} = 10^{-23} \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ Hz}^{-1}$



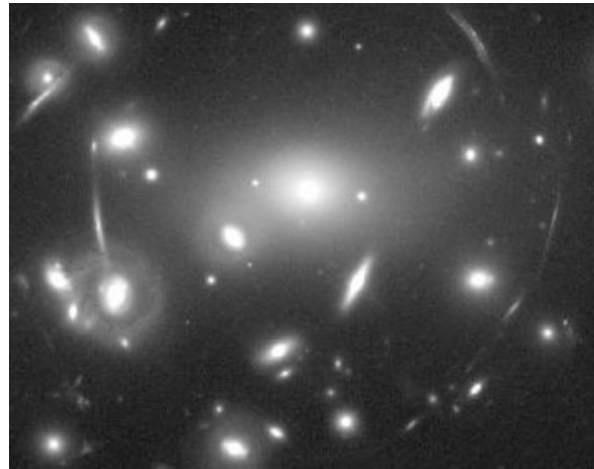
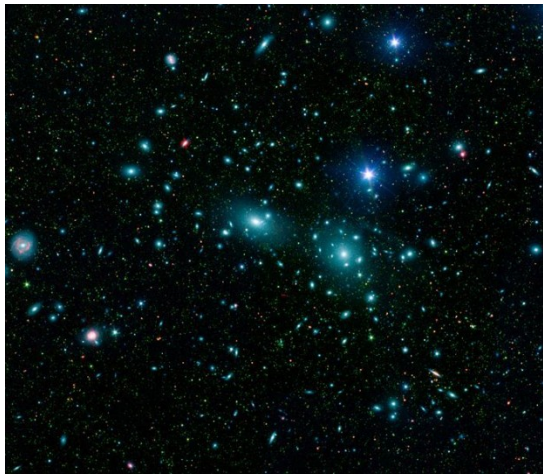


## Zwicky

1933: descoberta da *matéria escura* no aglomerado galáxias de Coma

1937: propõe que os aglomerados de galáxias podem servir de *lentes gravitacionais*

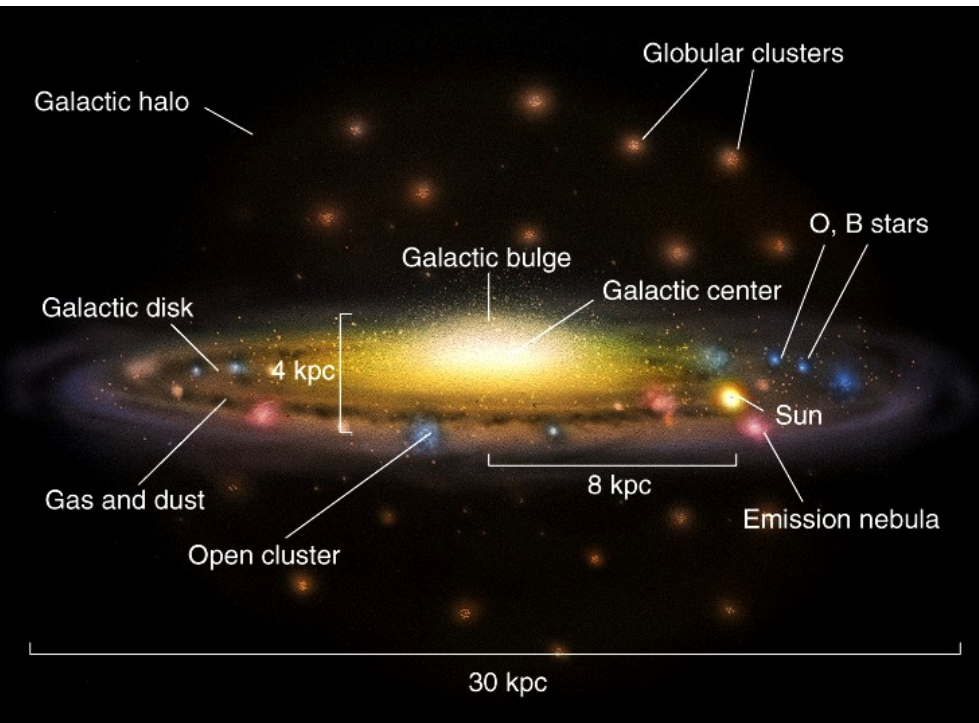
1961-1968: *Catalogue of galaxies and of clusters of galaxies*





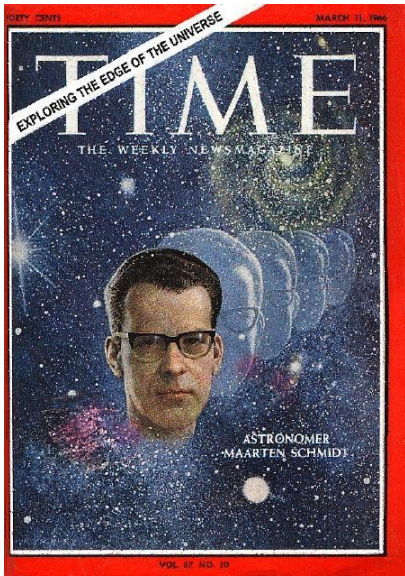
## 1944: Baade – conceito de populações estelares

Resolve estrelas em galáxias próximas: as elípticas e bojos de espirais contêm gigantes vermelhas, enquanto que o disco das espirais contém supergigantes azuis



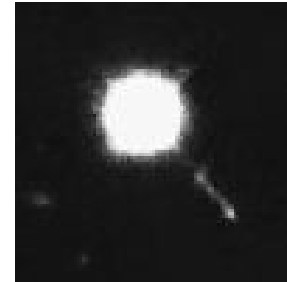
Pop. I: estrelas azuis, jovens  
(+nuvens de gás, aglomerados abertos)  
ricas em metais

Pop. II: estrelas vermelhas, velhas  
(+ aglomerados globulares)  
pobres em metais



## 1963: M. Schmidt – descoberta dos quasares

Objetos distantes, emitindo uma enorme quantidade de energia a partir do núcleo



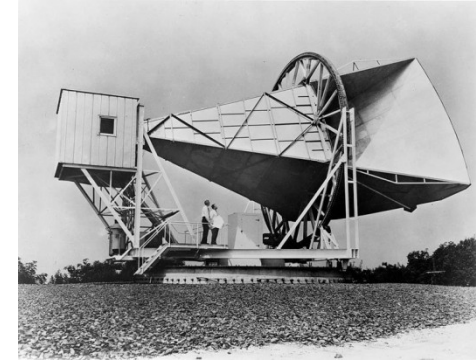
3C273 – o primeiro quasar descoberto



Acredita-se que a energia emitida pelos quasares provém da acreção de matéria por buracos negros super-massivos

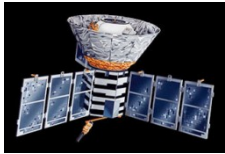


# 1965: Penzias & Wilson descoberta da radiação cósmica de fundo (RCF)

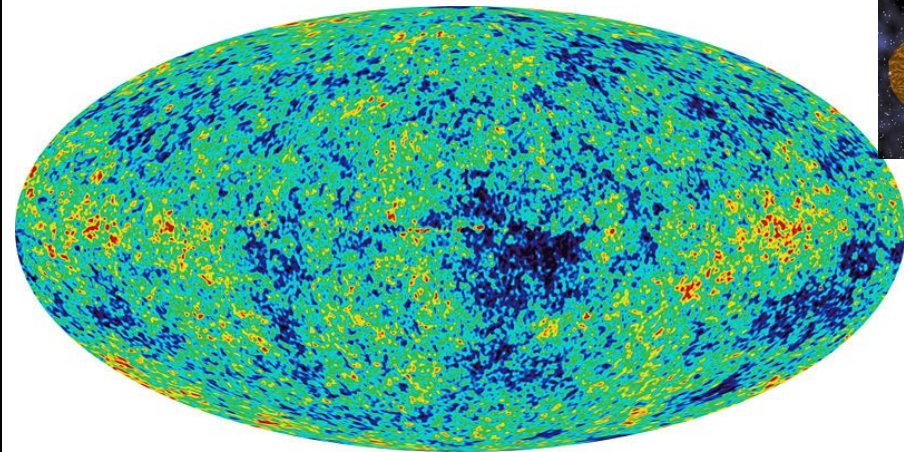
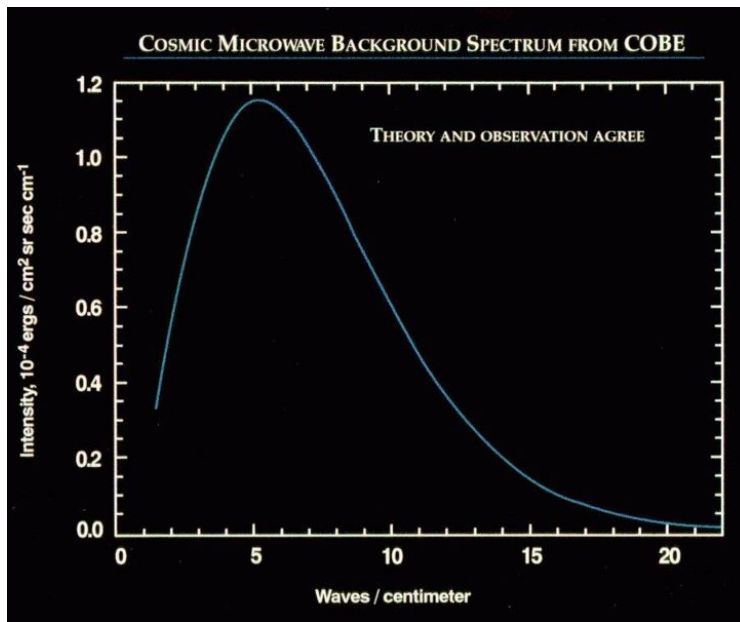
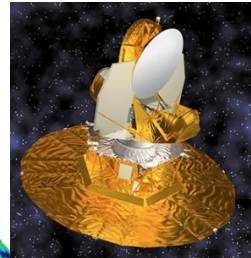


Prevista em 1948 (Gamow, Alpher, Herman): uma relíquia do começo do universo

1993: satélite COBE – mede a temperatura e descobre a anisotropia de dipolo



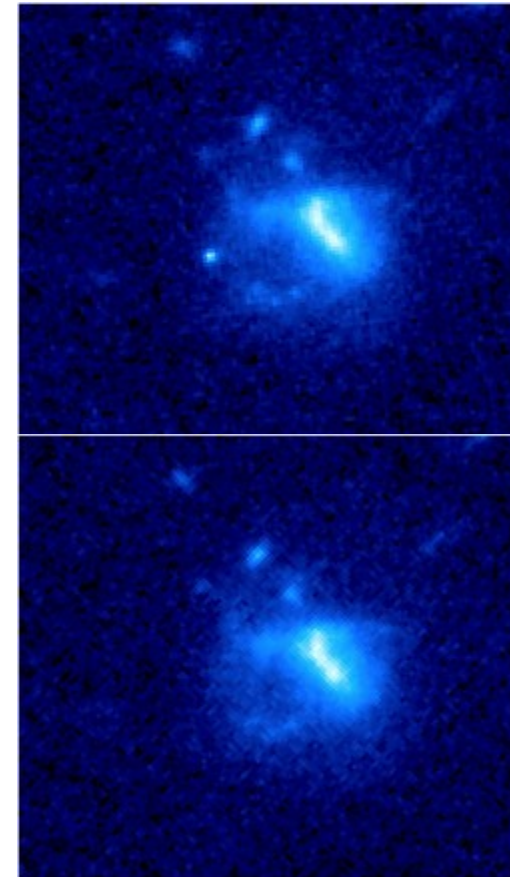
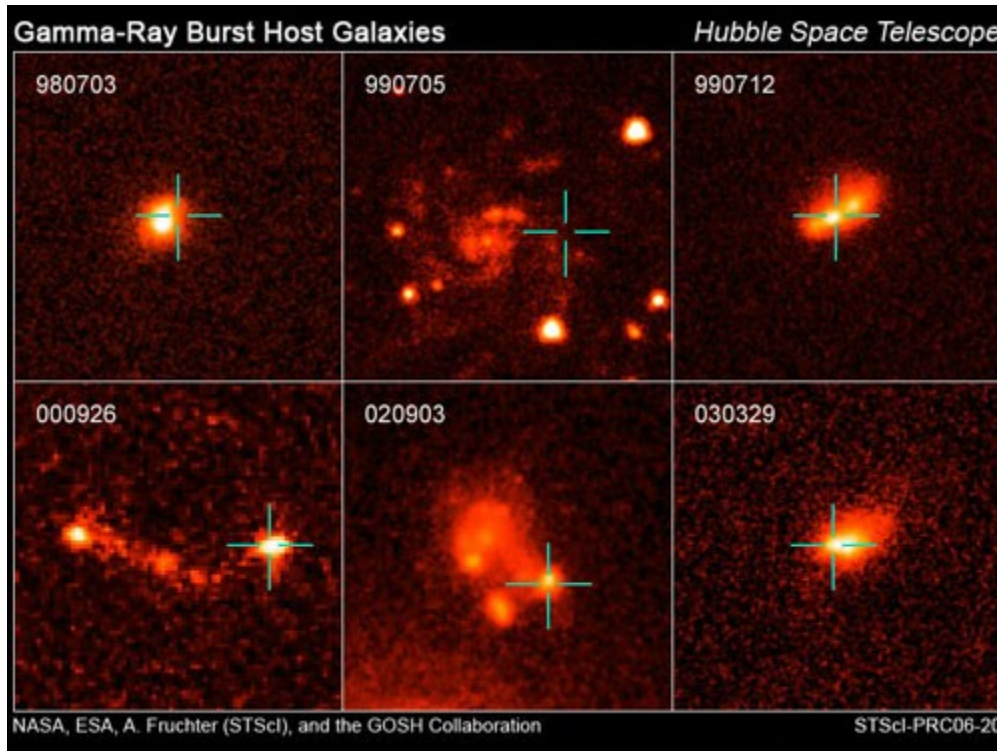
2003: satélite WMAP – mede as flutuações  
de temperatura da RCF



# Descoberta dos raios gama

1967: descoberta pelos satélites militares americano VELA  
(para detecção de explosões nucleares) – só anunciada em 1973!

GRB: *gamma ray burst* – surto/explosão de raios-gama  
a explosão mais energética descoberta!

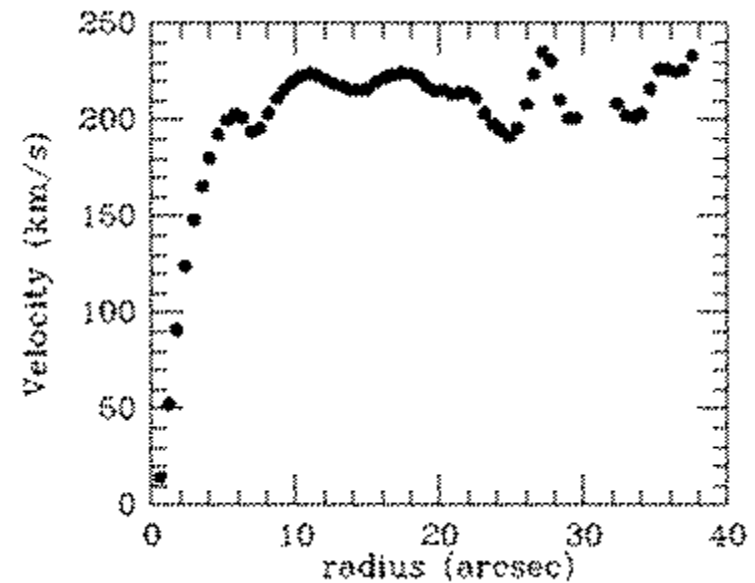
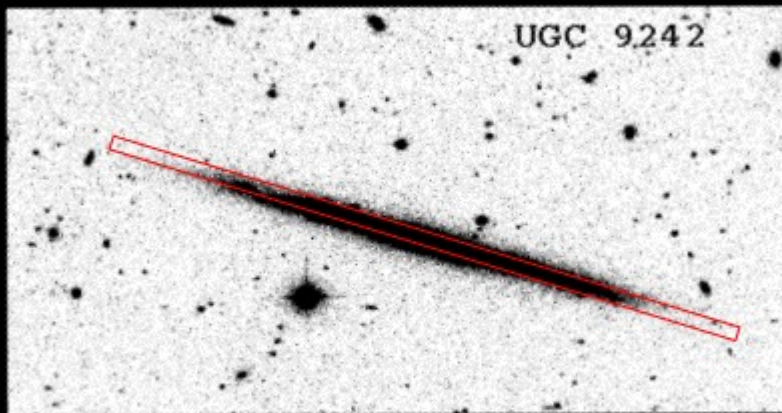


# ~1970: Vera Rubin – curva de rotação de galáxias espirais



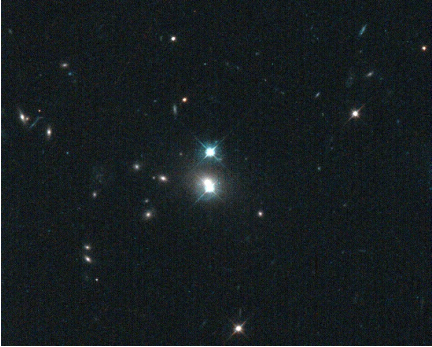
As curvas de rotação são chatas!  
Evidência de matéria escura nas galáxias.

Freeman: a matéria escura se distribui num halo esferoidal





# 1979: descoberta da primeira lente gravitacional um quasar duplo

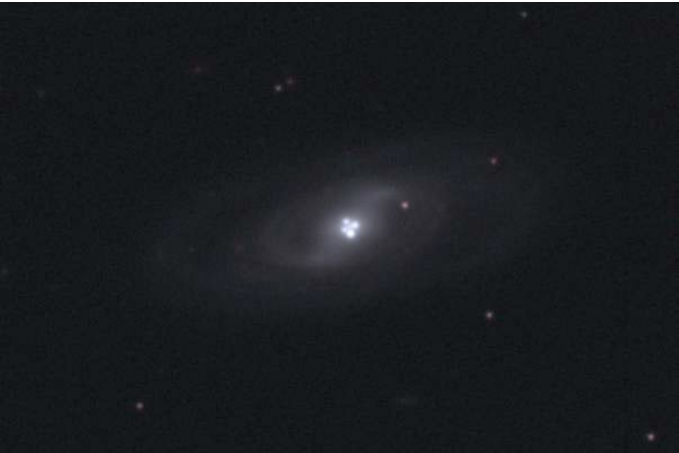


quasar 0957+561

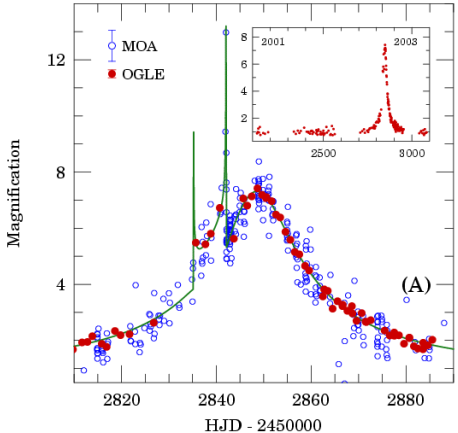
Vários tipos de lentes: anéis de Einstein, aglomerados de galáxias, microlentes



Aglomerado de galáxias

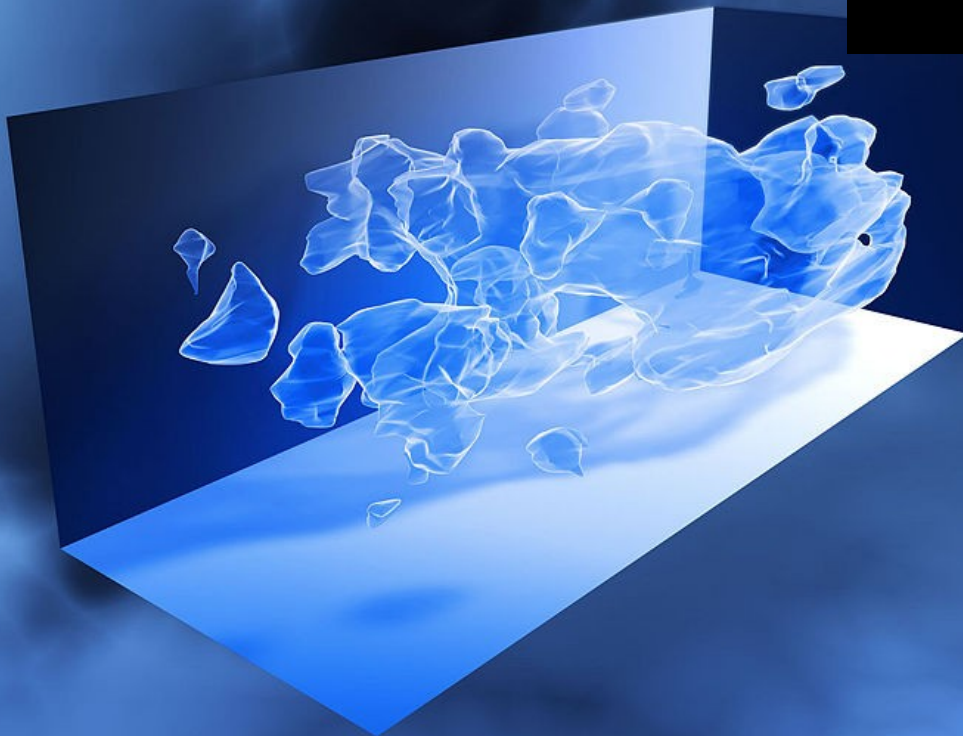
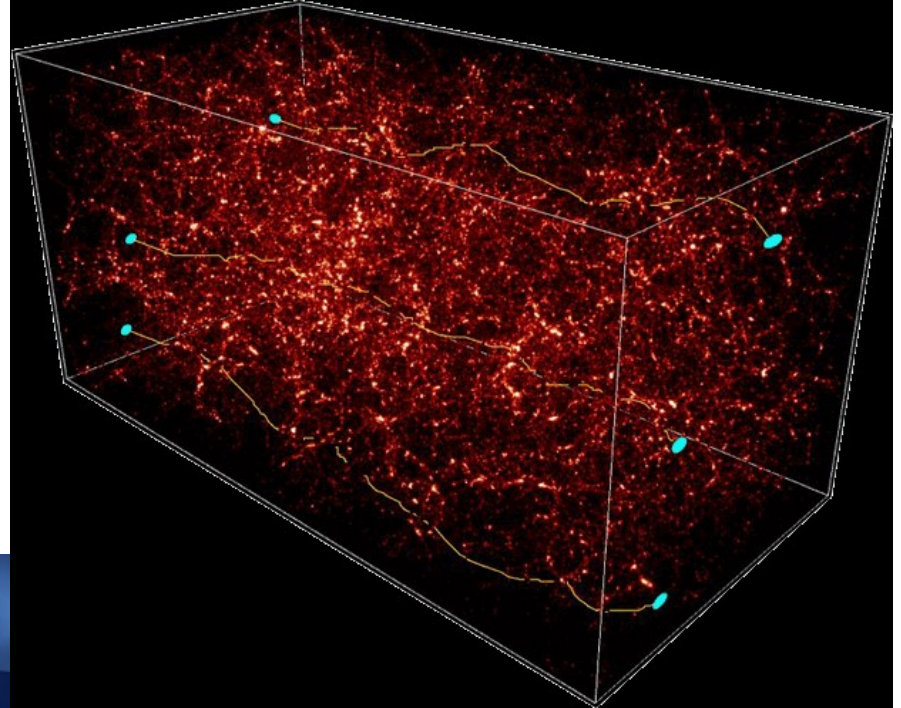


Gravitational Lens G2237+0305

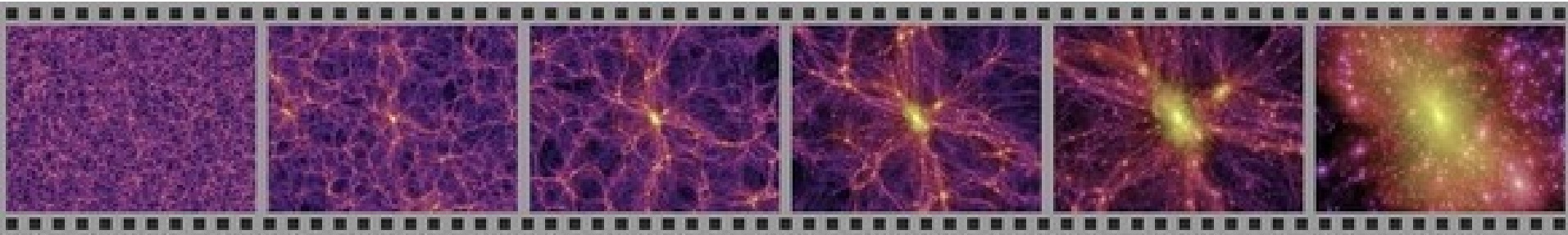


Lentes gravitacionais permitem  
determinar a quantidade e distribuição  
de massa:

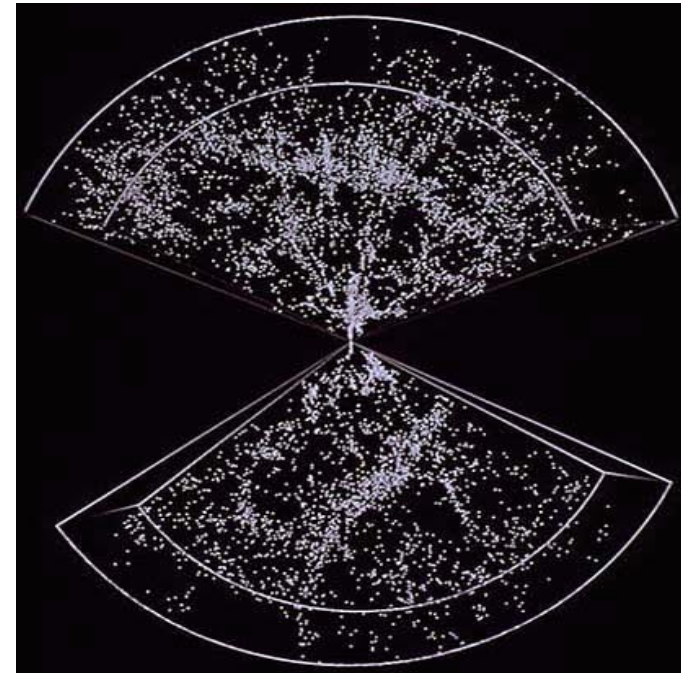
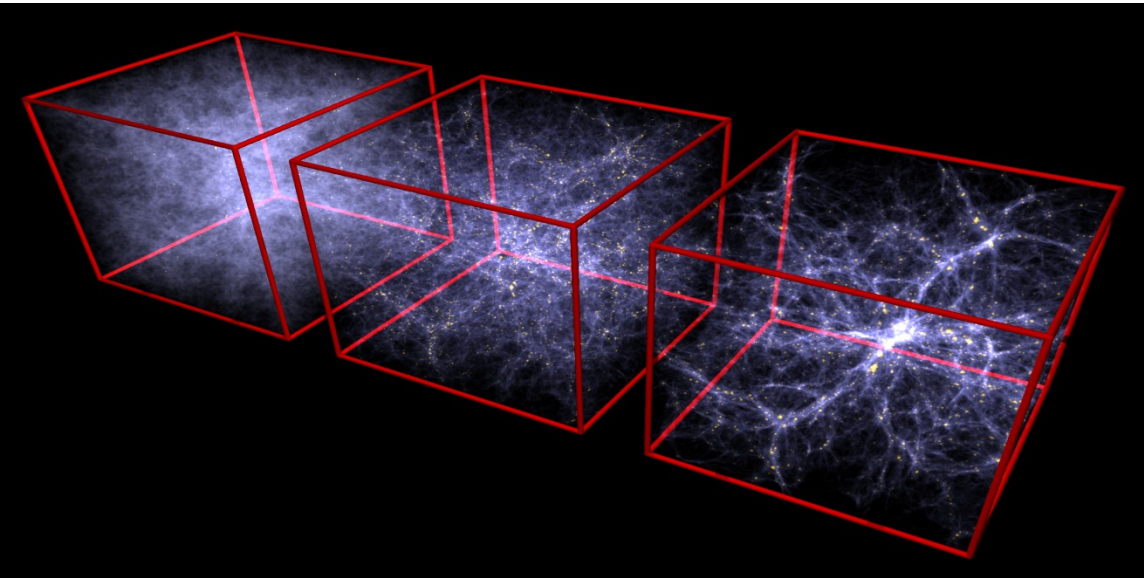
**A maior parte da massa é escura!**



# 1980 em diante: estabelecimento do modelo da Matéria Escura Fria (CDM)



Simulação numérica de formação de estruturas: em grandes escalas, o universo tem uma estrutura filamentar, com aglomerados nas junções dos filamentos

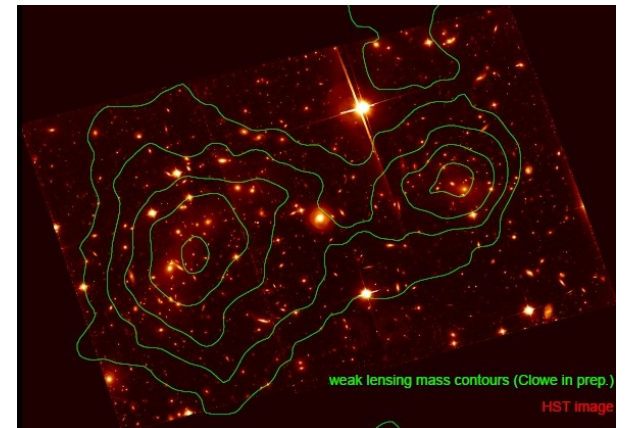


observações:

# 2006: Clowe et al. observação do *bullet cluster*

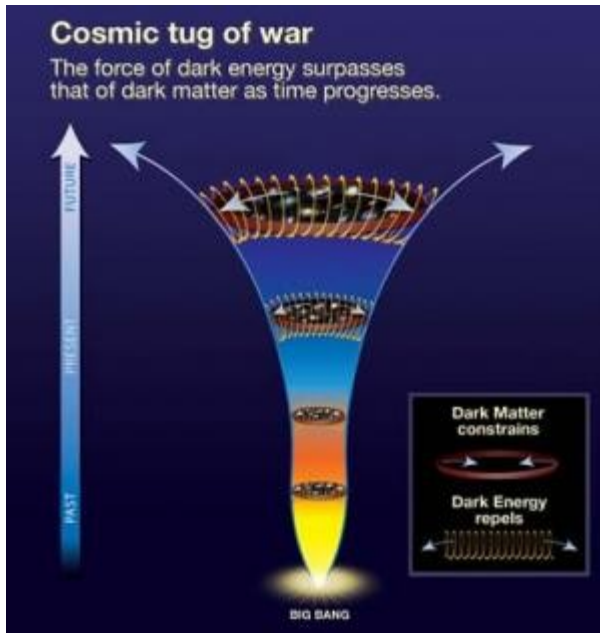
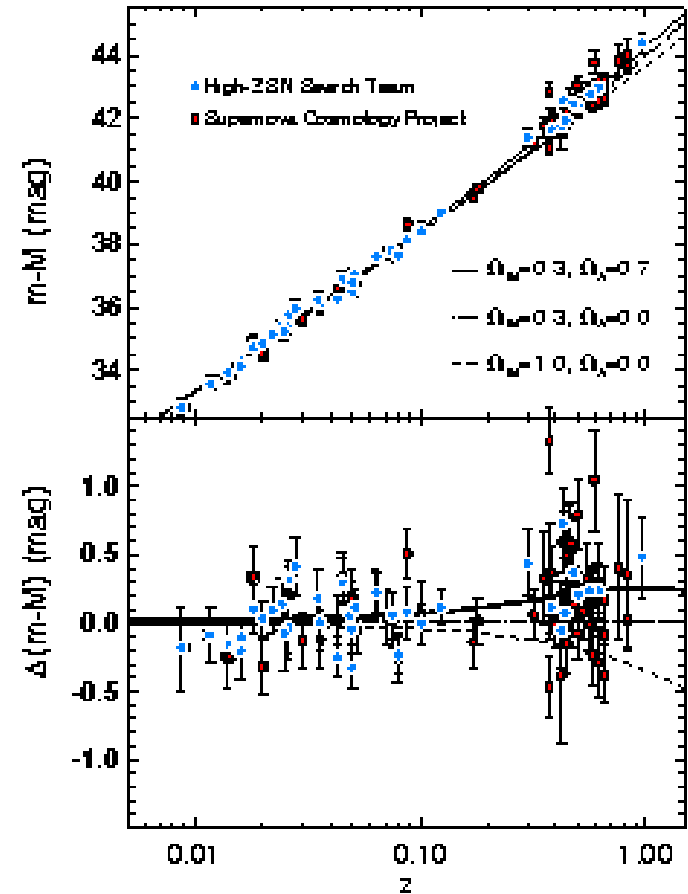
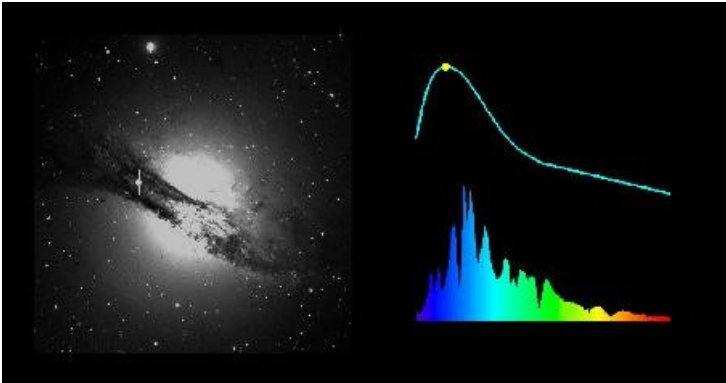
Matéria escura: partículas ou gravitação modificada?

O bullet cluster mostra que a ME deve ser constituída por partículas



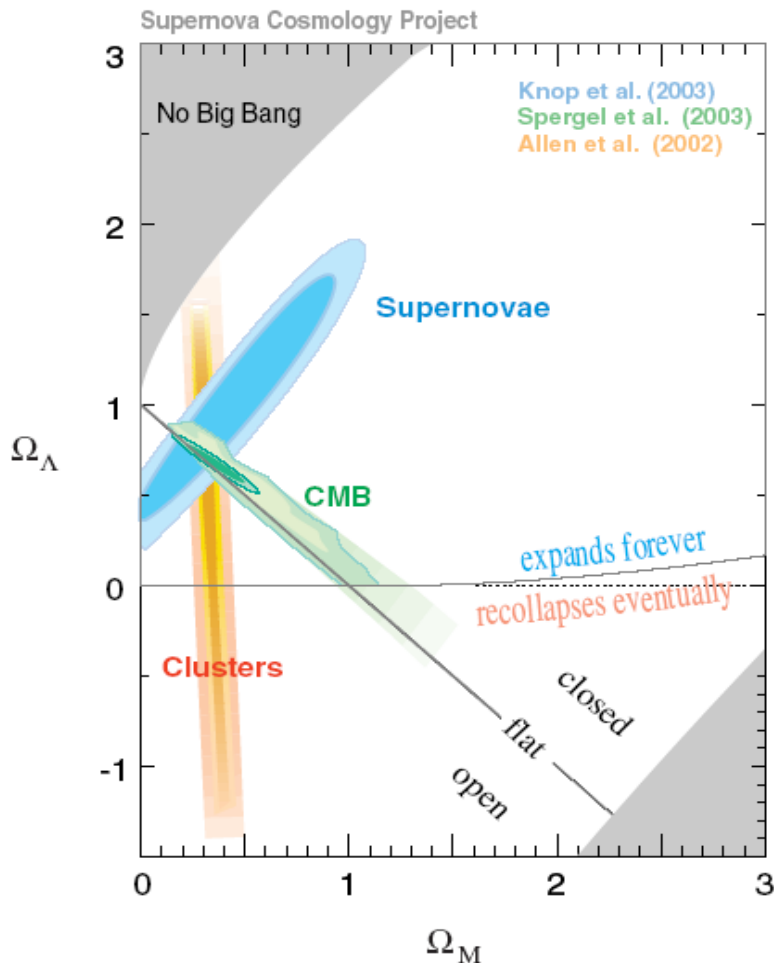
# A energia escura

1998: observações de supernovas Ia sugerem que o universo está acelerando



A aceleração seria produzida pela *energia escura*

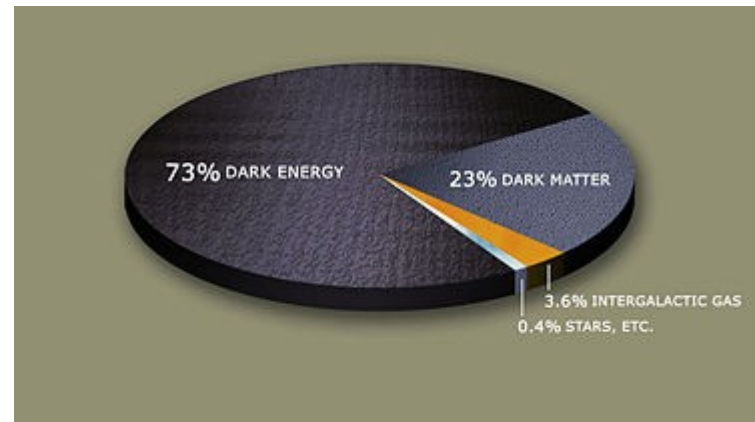
# Sec. XXI: Cosmologia de *Precisão*



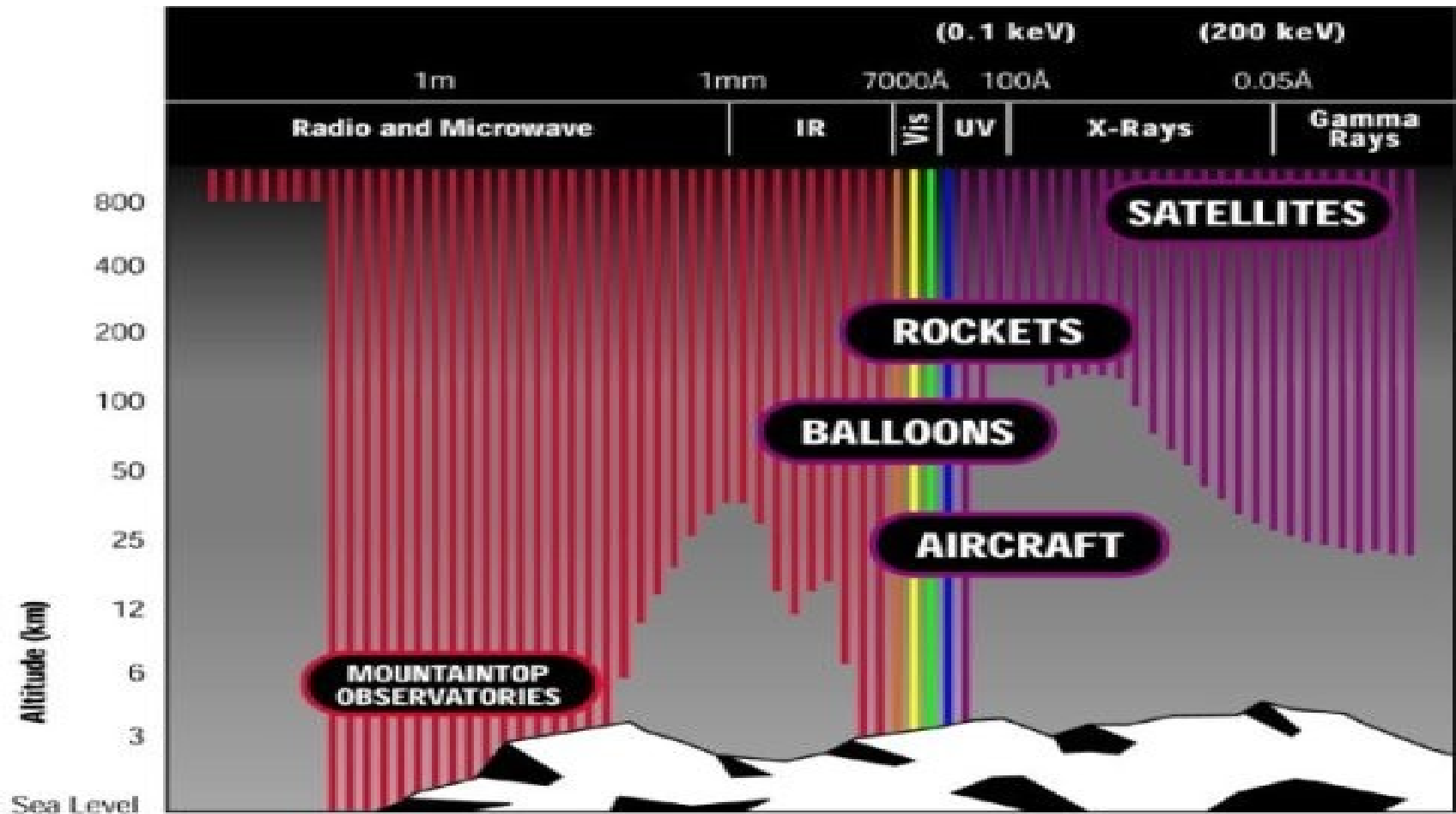
Combinação do WMAP com várias outras observações:

- energia escura:  $0.73 \pm 0.04$
- matéria escura:  $0.27 \pm 0.04$
- matéria bariônica:  $0.044 \pm 0.004$

- O que é a matéria escura?
- O que é a energia escura?



# Astronomia Espacial



Profundidade da penetração da radiação na atmosfera

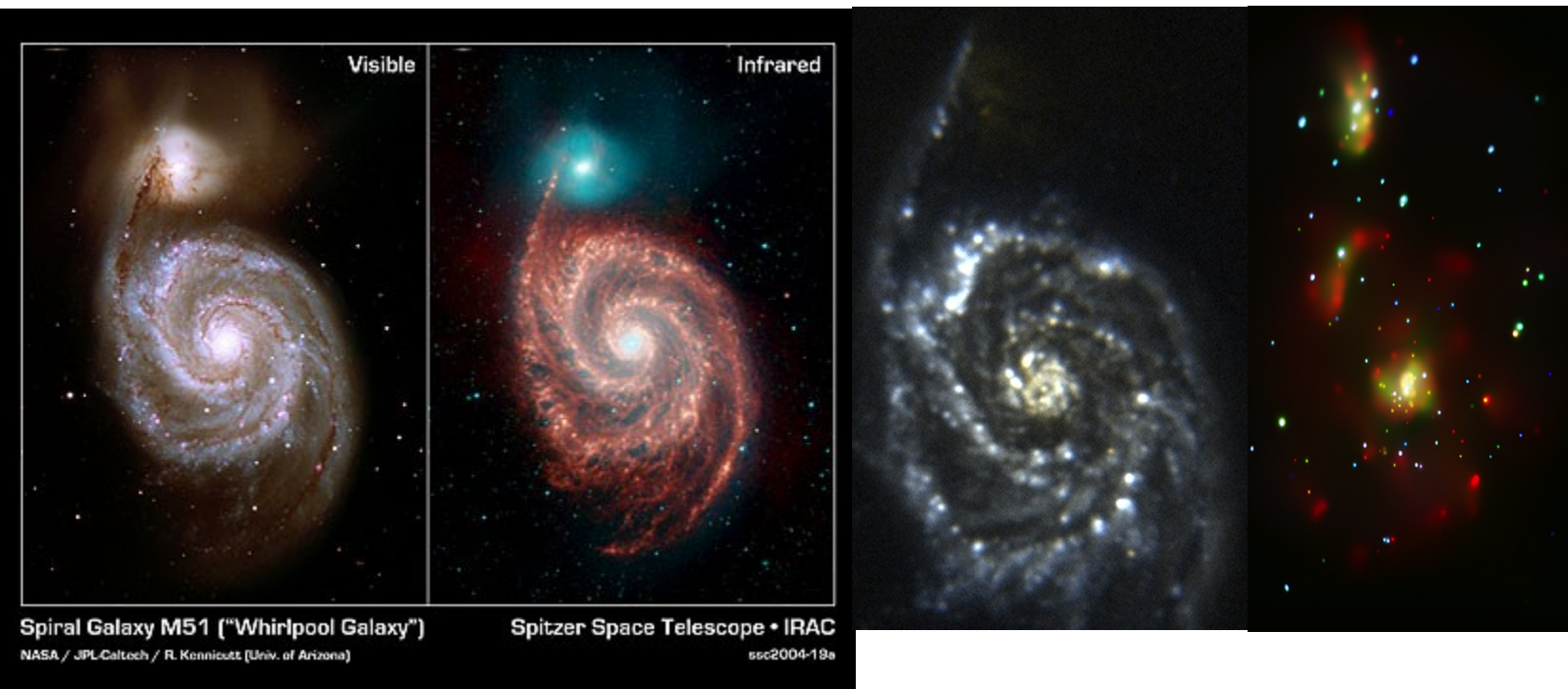
# Astronomia Espacial

- Raios-gama: 1967 – satélite Vela  
2008 – satélite GLAST/FERMI
- Raios-X: ~1970- Uhuru, HEAO-1, etc  
1990- ROSAT  
1999- XMM-Newton  
1999- Chandra
- 1990: Hubble Space Telescope (HST)  
visível, UV, IR
- UV: 1968 – OAO-2  
1978: IUE (International Ultraviolet Explorer)  
2003: GALEX
- IR: 2003- Spitzer Space Telescope  
2008: Herschel





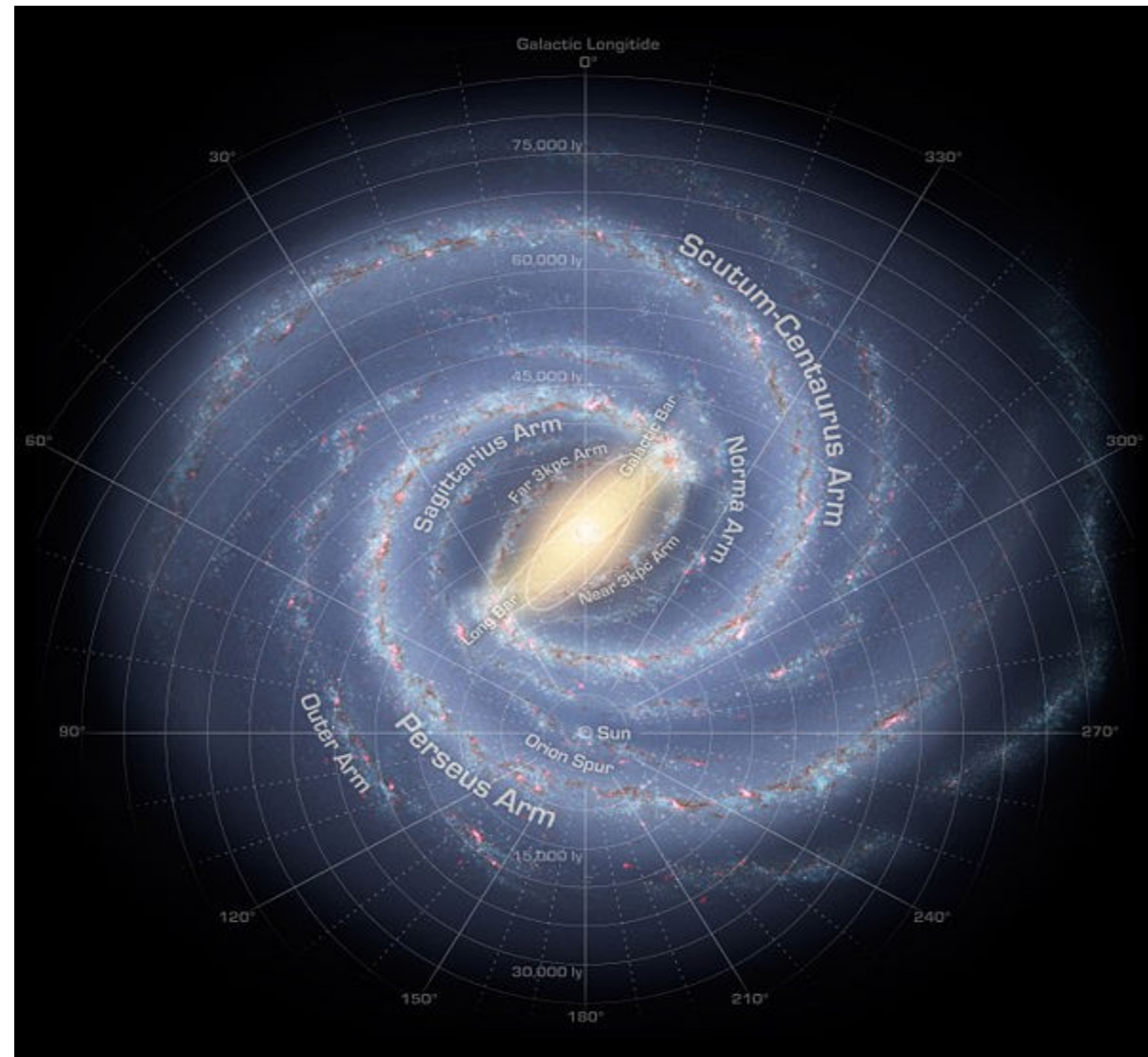
# M51 em vários comprimentos de onda



Ótico, IR, UV, raios-X

# A Via Láctea, de acordo com o Spitzer

Modelo: contagens de estrelas no infravermelho (a absorção é muito menor que no ótico)

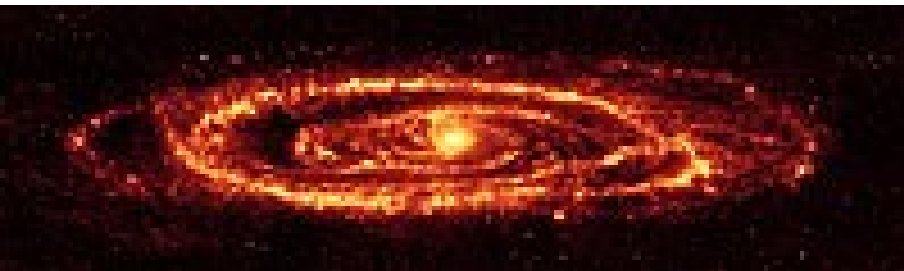


## Via Láctea:

- galáxia espiral barrada
- diâmetro do disco estelar:  
~31 kpc
- espessura do disco:  
~600 pc
- distância do Sol ao centro:  
~8 kpc
- número de estrelas:  
> 100 bilhões

# Exercícios

1. Onde nasceu Alhazen? Explique o seu resultado e sua importância.
2. Comente a importância de se observar a Via Láctea com um telescópio, como fez Galileu. O que ele observou que não se conhecia? O que essa observação implica para nossa posição no universo?
3. Comente como a absorção de luz por poeira pode afetar a determinação da distância das estrelas e, em consequência, a estimativa do tamanho da Galáxia.
4. Qual é a forma da Via Láctea?
5. O resultado de van Maanen foi usado por Shapley no Grande Debate. Porquê?
6. Qual era o problema sobre a natureza das nebulosas? Como Hubble o resolveu?
7. Quais são as componentes estruturais da Via Láctea identificadas por Lyndblad?
8. Em que tipo de estrutura a matéria escura foi detectada pela primeira vez?
9. Que tipo de observação levou à descoberta de que o universo está acelerando?
10. Descreva o que você vê nessa imagem de M31 obtida no IR com o satélite Spitzer:



IR



IR + ótico

