

Universidade Federal do Espírito Santo

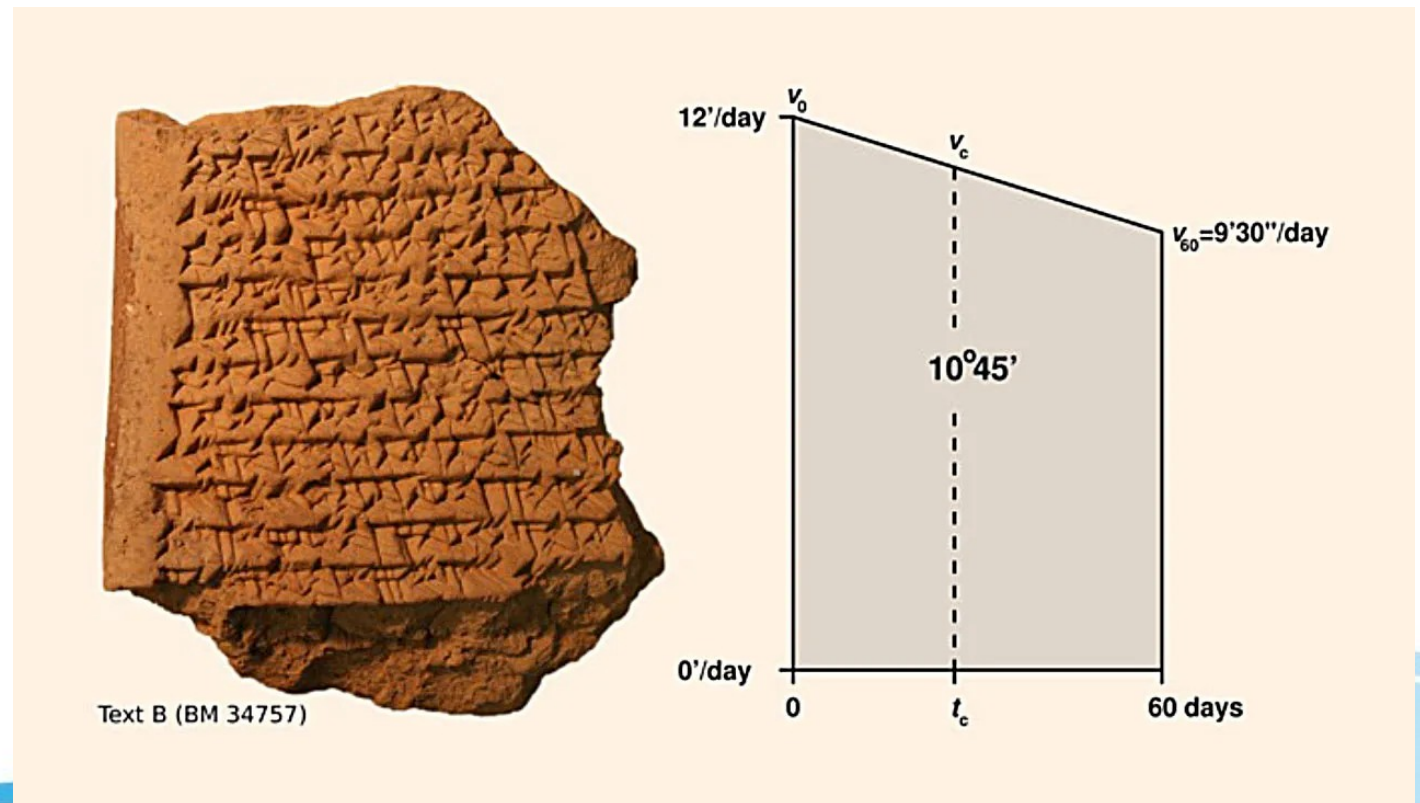
Cosmologia Observacional

Alan Miguel Velásquez Toribio
Núcleo-cosmo ufes
Departamento de Física
Centro de Ciências Exatas



Primórdios observacionais

Os primeiros observadores sistemáticos dos fenômenos celestes foram os Babilônicos
Recentemente Mathieu ossendrijver mostrou que tabuas cuneiformes apresentam cálculos cinemáticos



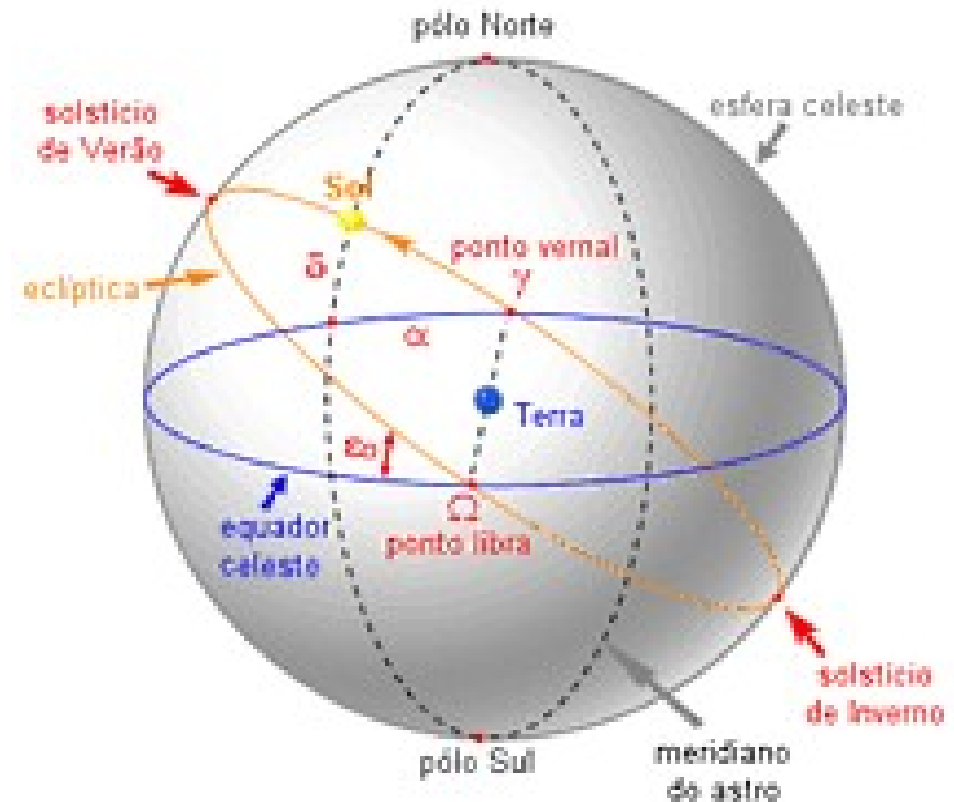
Crédito: Mathieu Ossendrijver, Humboldt University / British Museum.

Hiparco

- Hiparco é do século II A.C construiu um observatório e é considerado como o maior astrônomo do mundo antigo.
- Aperfeiçoa as medidas feitas sobre os calendários, cataloga estrelas e constrói novos aparelhos de observação.
- Nossas fontes para seu trabalho são principalmente os livros de Ptolomeu, um pequeno comentário sobre Eudoxo e Aratus e os comentários de Geminus de Rodas.
- Hiparco usa a matemática de Apolônio de Perga, isto é, círculos excêntricos e epiciclos para determinar o movimento dos objetos celestes.
- Hiparco estudou as observações babilônicas e comparou com as novas observações feitas por ele mesmo e colocou um modelo matemático para explicar estas observações, podemos falar de um modelo moderno de ciência.

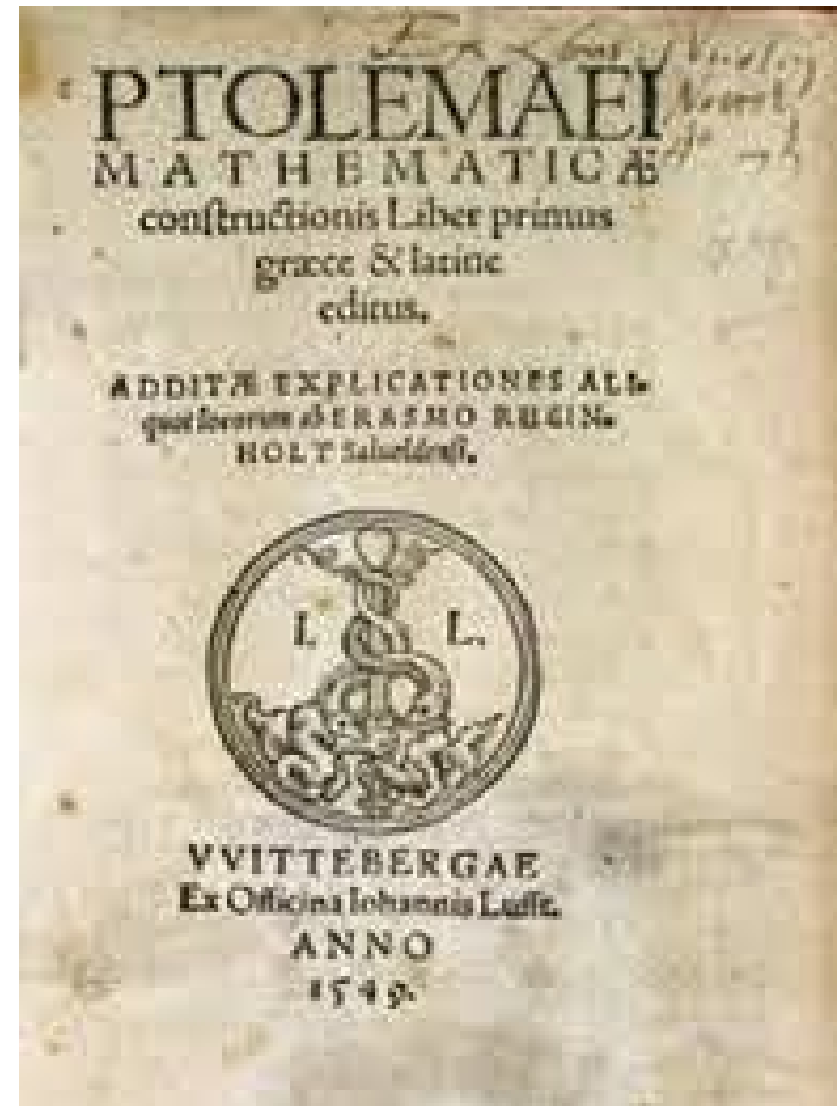
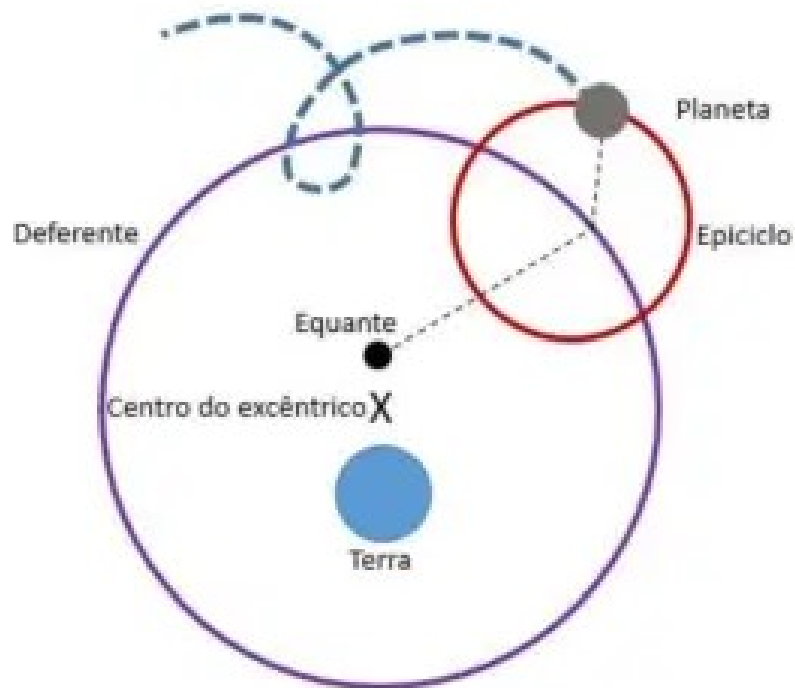
Hiparco

- Entre suas descobertas mais notáveis está a observação da precessão do equinócios:
- Timócaris registro a estrela spica a 172° do ponto vernal no ano 273 A.C
- Hiparco resgistro a posição da estrela spica a 170° do ponto vernal no ano 129 A.C
- Então como Hiparco assumiu que a Terra está fixa ele interpretou que a esfera celeste se movimentava isto é tinha um movimento que fazia que os equonocios futuros precedam os passados.



Ptolomeu

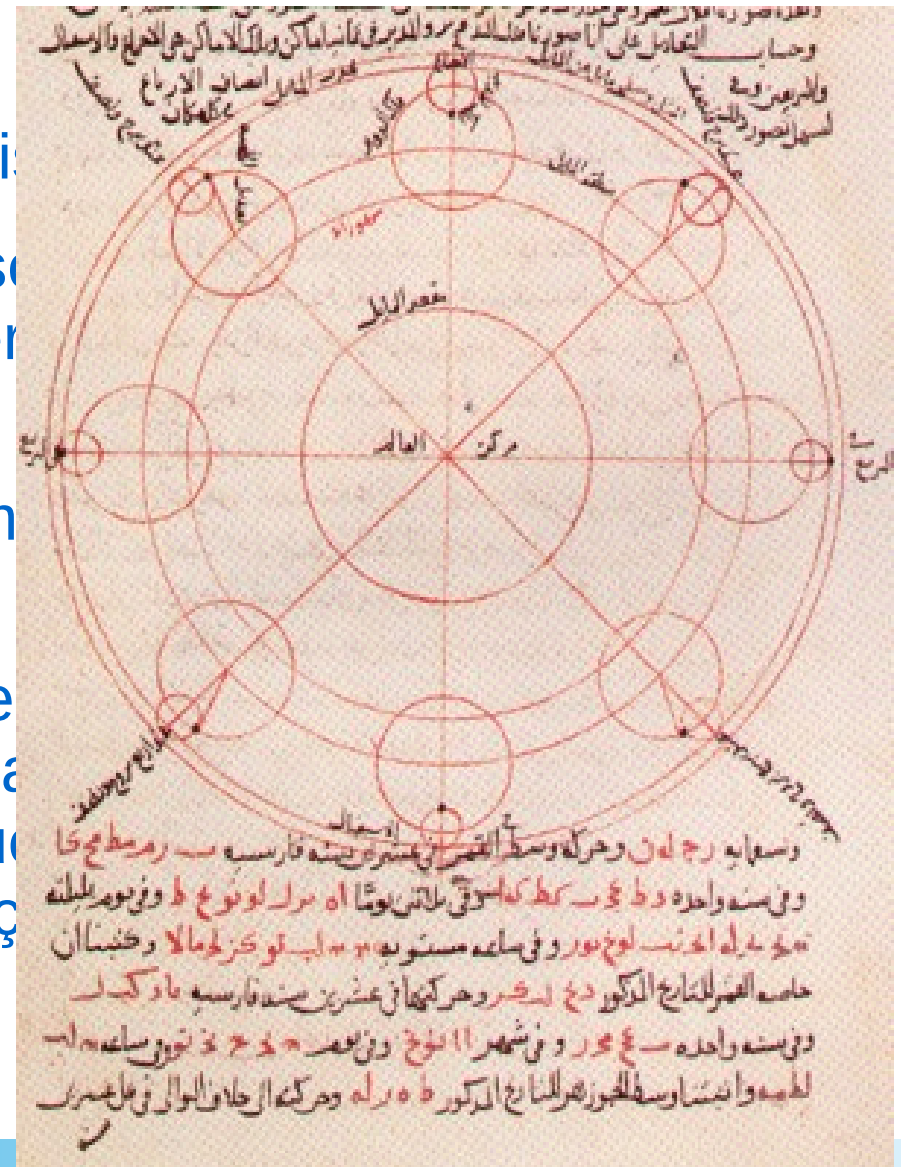
Almagesto é o livro que compila todo o conhecimento astronômico da época dos gregos incluindo contribuições originais de Ptolomeu como o conceito de Equante



Astronomia Árabe

Os três grandes centros de pesquisa

- Casa da Sabiduria: Al-Battani no século IX desenvolveu um modelo com a Terra no centro.
- Cairo: destaca o cientista Alhazen que pesquisou fenômenos ópticos como a refração e o horizonte.
- No sul de Espanha: Arzaquel desenvolveu tabelas matemáticas que permitiam calcular a posição dos planetas com maior precisão verificando que os modelos anteriores tinham pequenos erros na comparação com observações.



Astronomia Matemática na Idade Média Ocidental

- As primeiras versões do Almagesto ao latim surgem no século XII, em Toledo, com o trabalho do tradutor Gerardo de Cremona (1114-1187). Ele foi um dos mais famosos tradutores da escola de tradutores de Toledo.

Escolástica

- A escolástica é a filosofia Aristotélica adaptada à filosofia da Igreja: Tomas de Aquino, Alberto Magno estão entre os maiores representantes.
- Astronomia podemos destacar a Nicolau de Oresme (Le Livre du Ciel): quem especulou usando os recursos da logica aristotélica que as razões propostas por Aristóteles para manter a Terra fixa eram razões fracas.
- Estudou o movimento da queda livre dos corpos e os movimentos uniforme e variado chegando a resultados similares aos determinados depois por Galileu.



Idade Média no Ocidente

- Adicionalmente no século XII surgem as primeiras traduções das obras de Aristóteles ao Latim para o mundo ocidental.
- Alfonso X o sábio do reino de Castela foi fundamental para o desenvolvimento da astronomia matemática no ocidente.
- Alfonso X encargou organizar novas tábuas aos astrônomos, de origem Judaica, Yehuda ben Moshe e Isaac ben Sid estas tábuas foram conhecidas como Tábuas Alfonsinas.
- Com estas traduções e tábuas astronômicas o modelo geocêntrico do Almagesto entra completamente ao ocidente. Comentadores e críticos do modelo de Ptolomeu surgem especialmente durante o século XIV. Em torno do ano de 1320 as Tábuas Afonsinas são estudadas em Paris e traduzidas do castelhano para o latim.

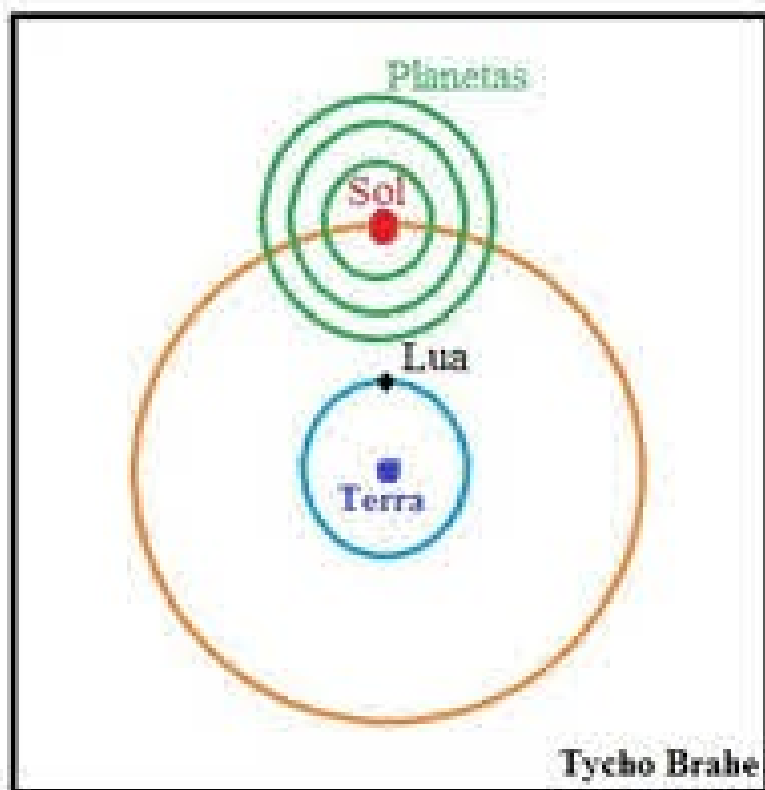
Copérnico

- No livro *Revolutionibus* Copérnico coloca a terra em movimento.
- Primeiro livro que apresenta um modelo alternativo ao modelo do *Almagesto* com todos os detalhes matemáticos requeridos.
- Um livro de receitas de cálculo
- Livro bastante comentado pelos contemporâneos.



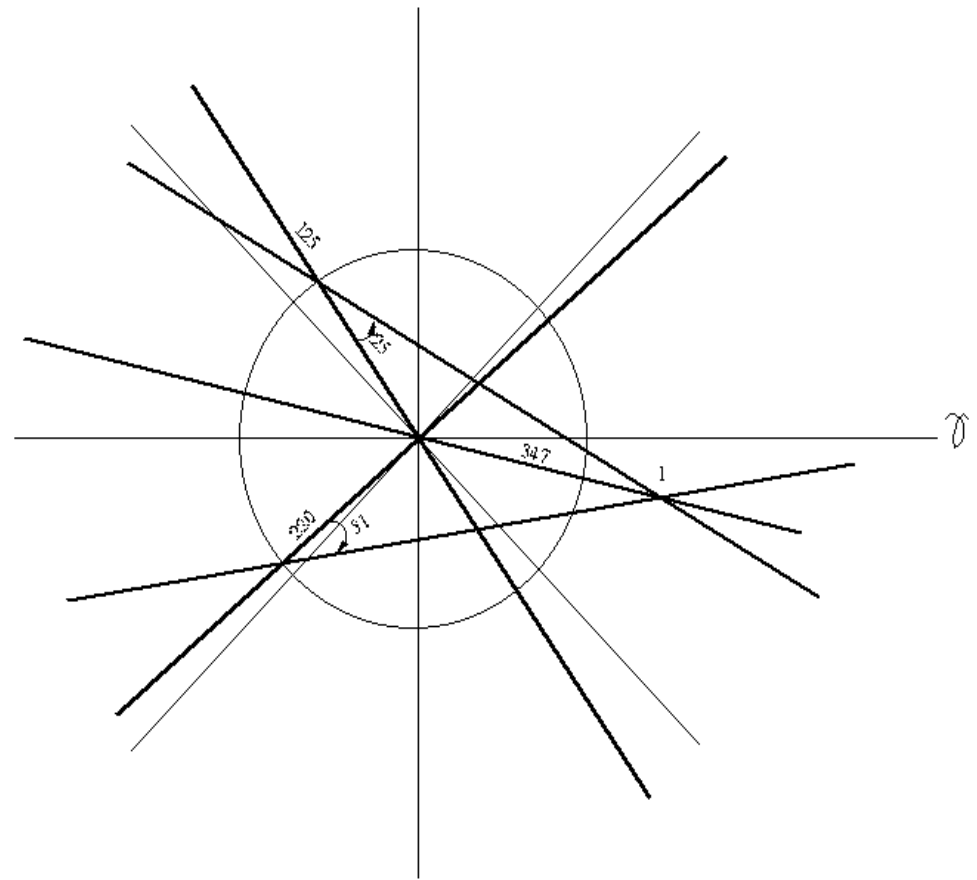
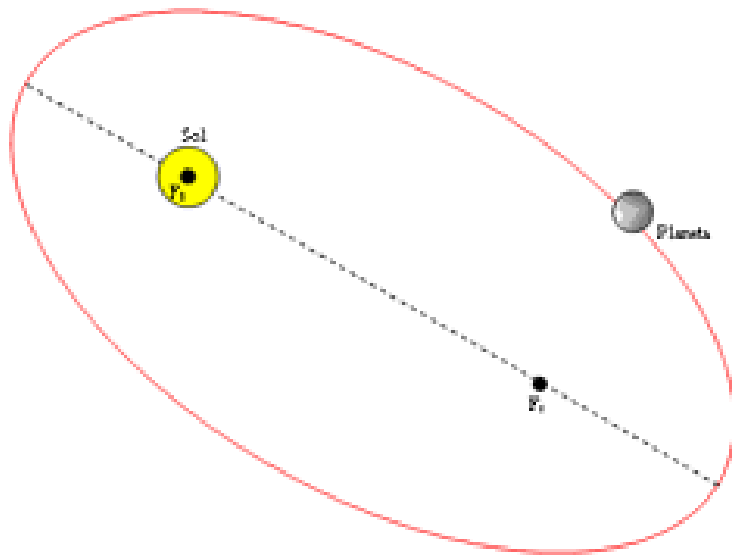
Tycho Brahe

- Um dos maiores astrônomos observacionais depois de Hiparco quem catalogou estrelas e a posição dos planetas com grande precisão.



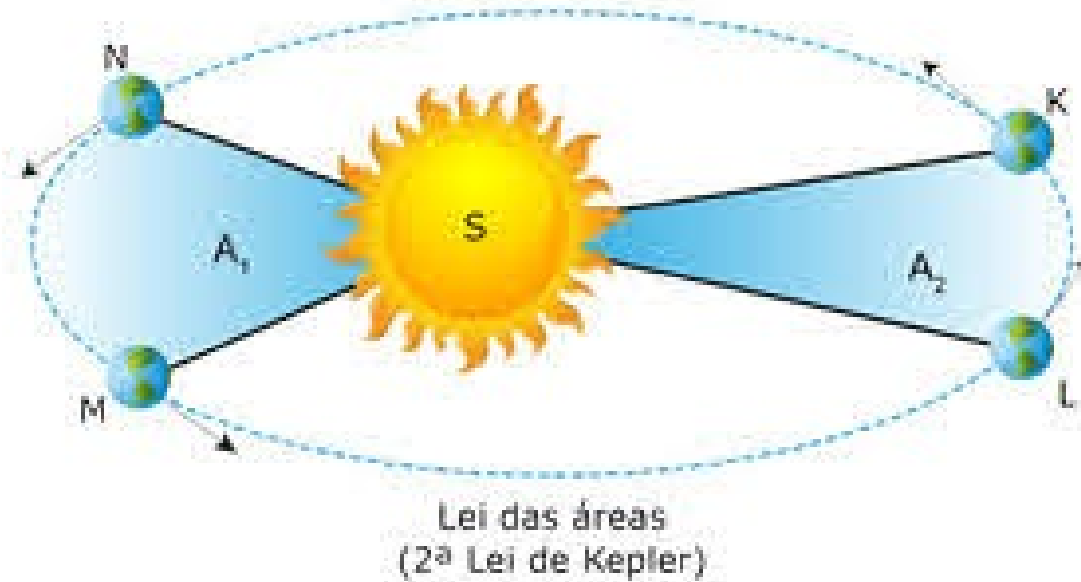
Kepler

- Usando resultados das observações de Tycho sobre o planeta Marte, Kepler tenta ajustar os dados a uma curva geométrica e descobre que a curva que melhor se ajusta é a elipse.



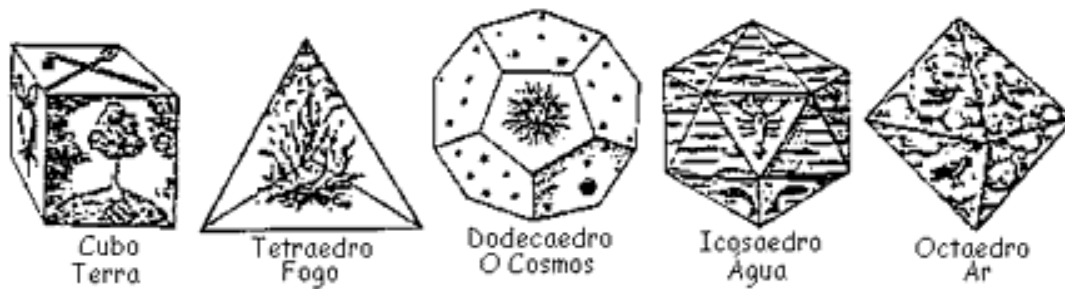
Kepler

- Percorre áreas iguais em tempos iguais



Kepler

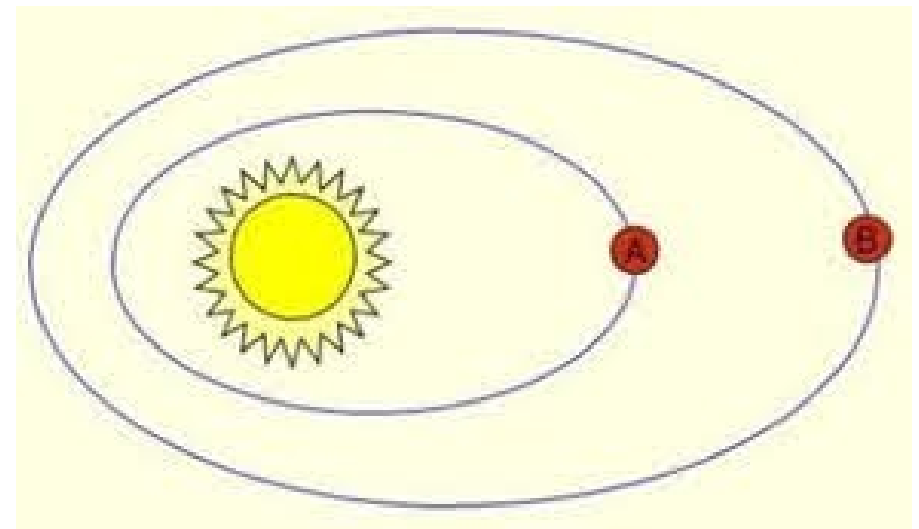
- Kepler era um platônico e pesquisou como usar os sólidos perfeitos de Platão para representar cada planeta.



Kepler

- Terceira lei de Kepler

PLANETA	RAIO MÉDIO DA ÓRBITA (UA*)	PERÍODO EM ANOS TERRESTRES	T^2/R^3
MERCÚRIO	0,387	0,241	1,002
VÊNUS	0,723	0,615	1,001
TERRA	1,000	1,000	1,000
MARTE	1,524	1,881	1,000
JÚPITER	5,203	11,860	0,999
SATURNO	9,539	29,460	1,000
URANO	19,190	84,010	0,999
NETUNO	30,060	164,800	1,000



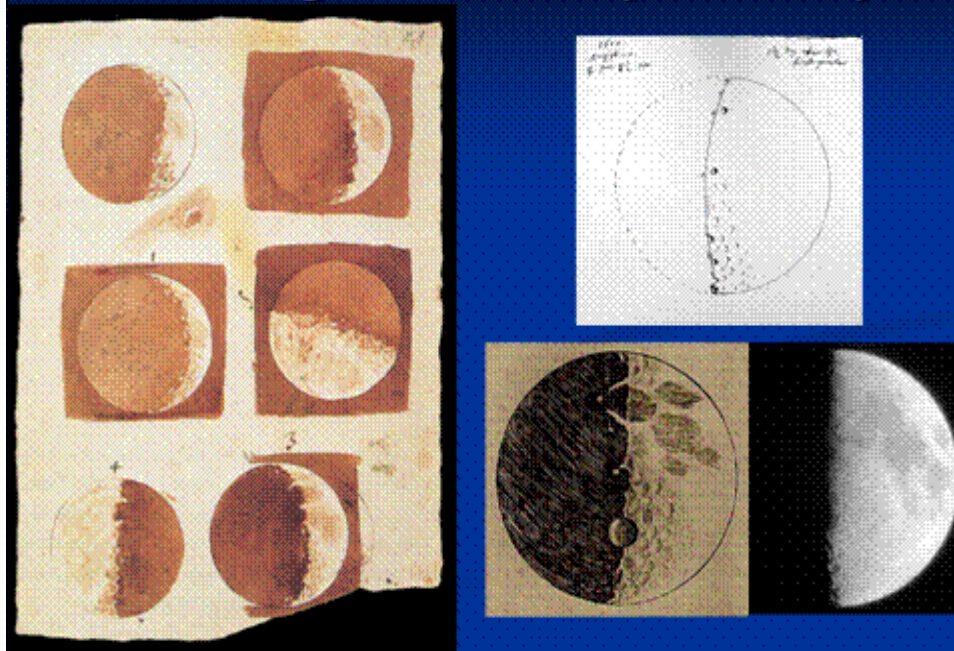
Galileu

- Telescópio de Galileu: nesta etapa das pesquisa nosso Universo se transforma ao ser observado com telescópios, começa uma nova era para entender o Universo.



Observações de Galileu sobre as fases da Lua

Observações da Lua (1609-1610)



A Mensagem das estrelas (1610)

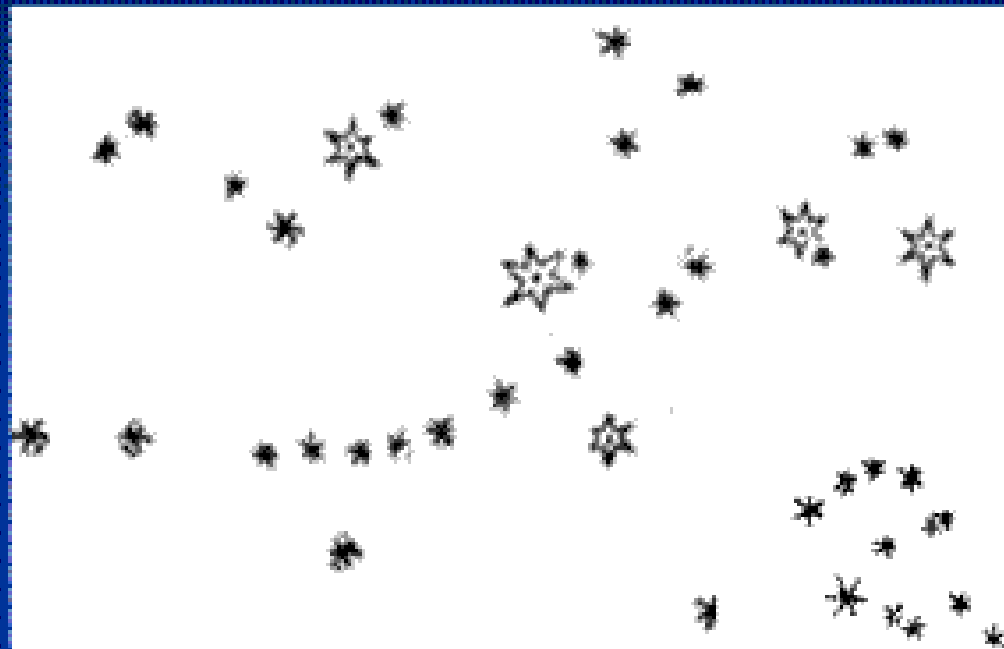
S I D E R E V S
N V N C I V S
MAGNA, LONGEQUE ADMIRABILIA
Spectacula pendens, sapienterque proponens
vnicuique, praeferens vero
PHILOSOPHIS, HQ. ASTRONOMIS, quae 2
GALILEO GALILEO
PATRITIO FLORENTINO
Patuini Gymnasij Publico Mathematico
PERSPICILLI
Nuper ab ipso inventi sunt (sic dicitur) in P. N. S. LACTIS, FIXIS FIX-
Q. MERIS, LACTEO CIRCULO, STELLIS NERPADIS
Agrippae vni
QVATVOR PLANETIS
Circu 10. VII. 15. Solis et 4. Iovis interstitio, quae pericula, et
sunt amabili carceribus, vni a. et vni a. huius vbi
dum cupimus, accipimus Auctores digni
hinc praeferunt argere
MEDICEA SIDERA
NUNCUPANDOS DECREVIT.

VENETIIS, Apud Thomam Baglionum. M. DC. X.
Leptorum Tomae, Editio.



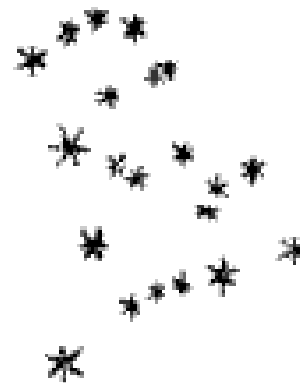
Novas estrelas

Estrelas na Via Láctea e nebulosas

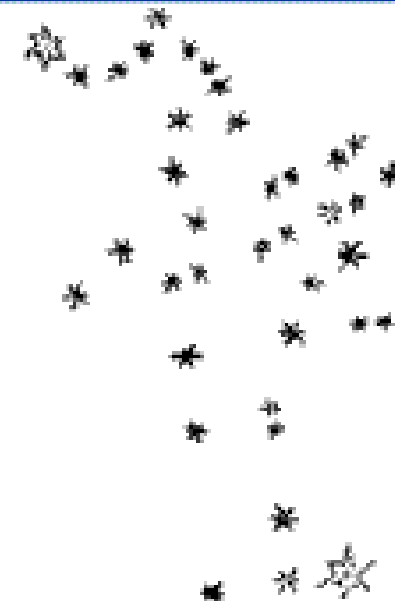


Plêiades

Cabeça de Órion
e Presépio



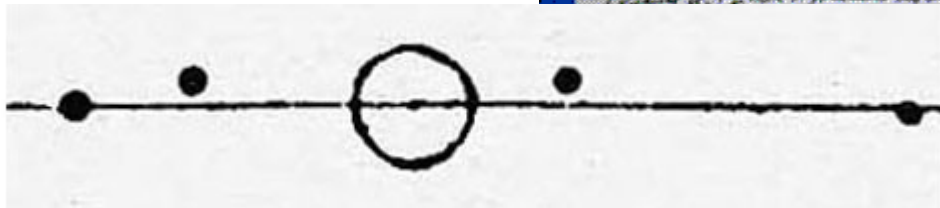
Nebula of Orion



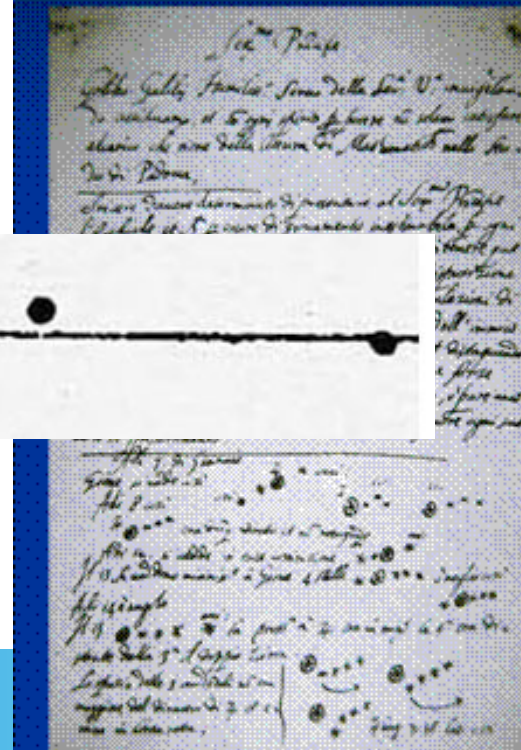
Nebula of Praesepe

Luas de Júpiter

Os Satélites de Júpiter que inicialmente Galileu considerou como novos planetas mostravam as mudanças dos fenômenos celestes contraria à filosofia natural da época.



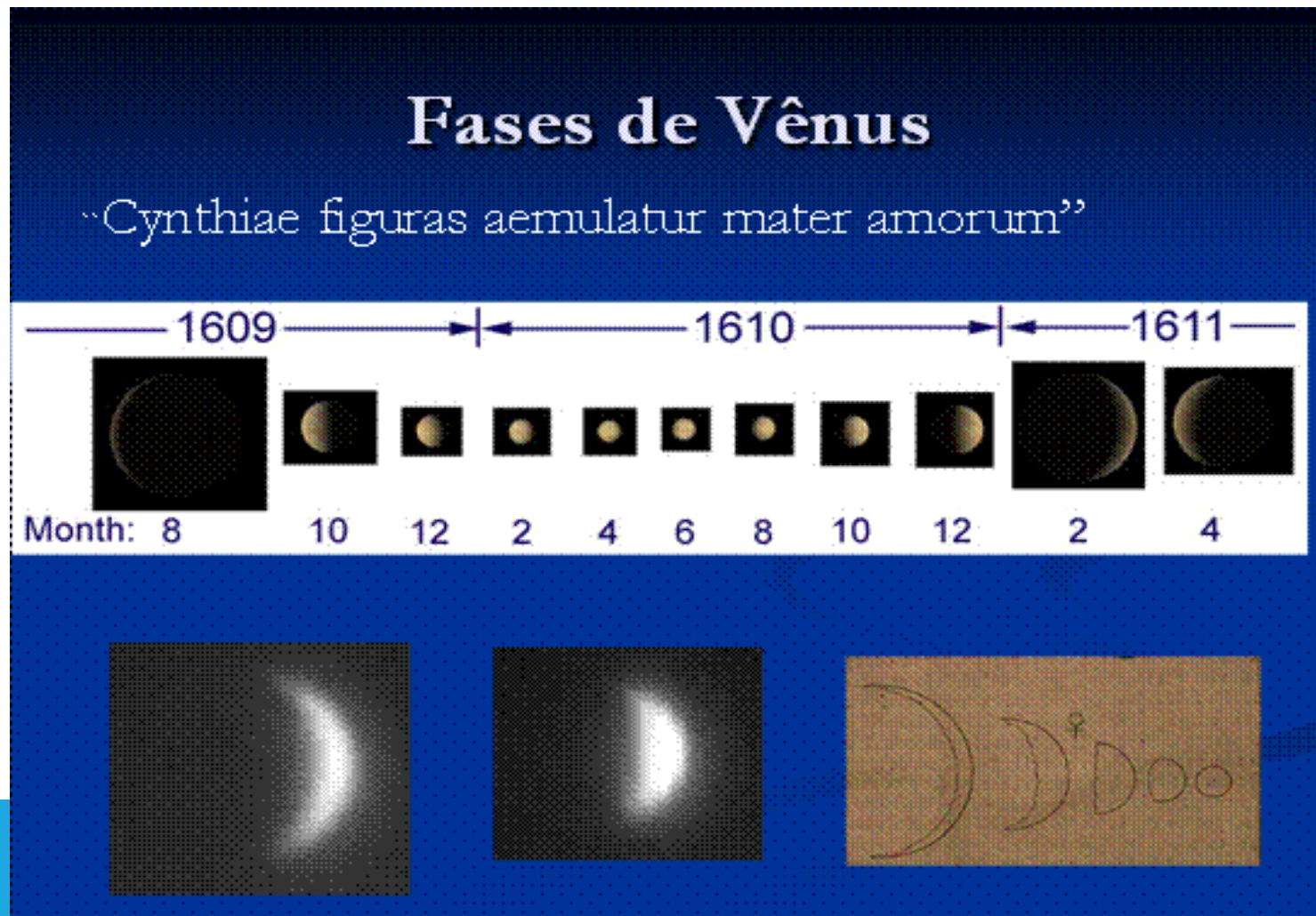
Luas de Júpiter (1609)



Transigunt	
17	11
18	12
19	13
20	14
21	15
22	16
23	17
24	18
25	19
26	20
27	21
28	22
29	23
30	24
31	25
1	26
2	27
3	28
4	29
5	30
6	31
7	1
8	2
9	3
10	4
11	5
12	6
13	7
14	8
15	9
16	10
17	11
18	12
19	13
20	14
21	15
22	16
23	17
24	18
25	19
26	20
27	21
28	22
29	23
30	24
31	25

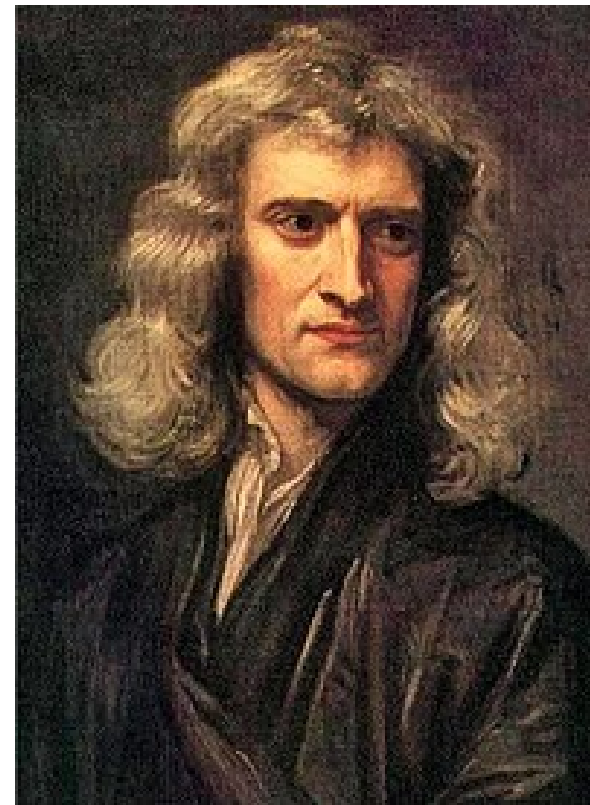
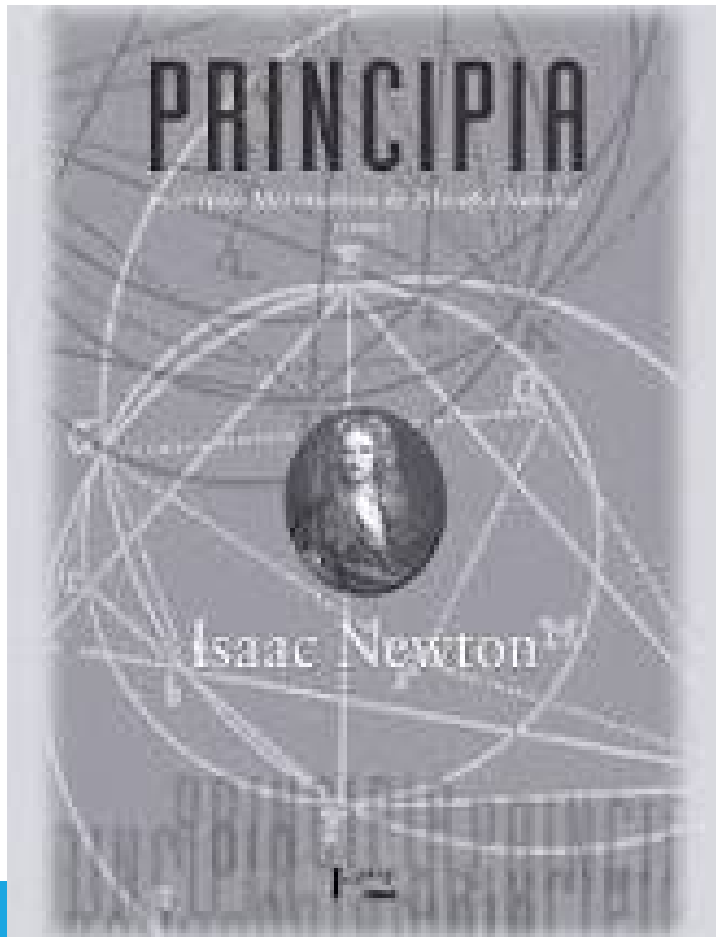
Fases de Vênus

- Galileu interpretou estes resultados como evidencias para considerar que todos os planetas são opacos e estão orbitando o Sol um fato realmente novo na astronomia e cosmologia da época.



Newton

- Os princípios matemáticos de filosofia natural de Newton apresentam as leis do movimento e a lei da gravitação Universal



Wright, I. Kant e Herschel

- Wright (1750): É um pesquisador não acadêmico, mas que chega a uma hipótese interessante: nossa via láctea é uma entre outras no Universo.
- I. Kant (1755): desenvolve esta ideia considerando que as estrelas estariam girando ao redor de um centro comum e via a lei da gravitação de Newton chegariam ao equilíbrio mecânico. Isto explicaria as formas elípticas observadas já na época por Maupertuis.



Wright, I. Kant e Herschel

- Herschel (1773) era inicialmente músico e depois se converte em astrônomo.
- Constrói grandes telescópios chegando a telescópio de 20 polegadas com boa estabilidade.
- Fez a descoberta de um novo planeta: Urano.
- Catalogo Messier: (Catalogue des Nébuleuses et des amas d'Étoiles, que l'on découvre parmi les Étoiles fixes sur l'horizon de Paris, 17): 110 objetos no céu profundo.



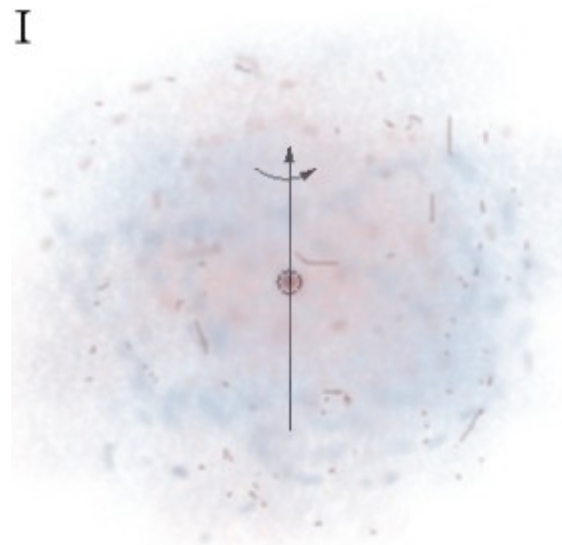
- New General Catalogue:
Produto do trabalho dos
Herschel e de Dreyer.
- Total de mais de 13 000
objetos.
- Por exemplo: NGC5194
- Principalmente galáxias,
aglomerados estelares e
nebulosas.



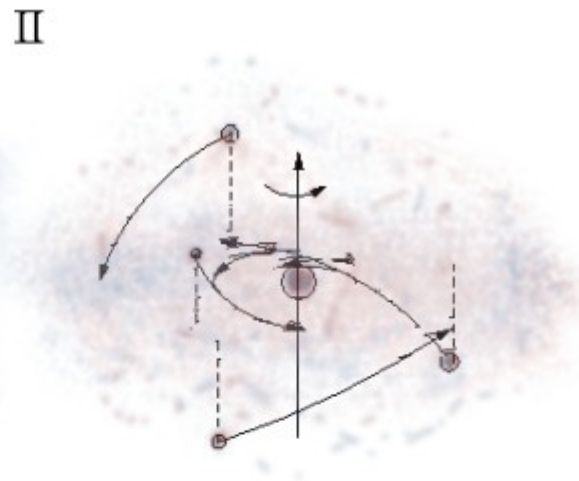
Astronomia Laplace

- Laplace: Sistema solar se formaria em quatro fases
- Primeiro: Contração da nebulosa em direção ao centro e centros menores.
- Segunda: Começam a crescer e por fricção a gira entorno os núcleos.
- Terceira: O futuros planeta acumulam gás residual.
- Quarto: Gás residual se espalha para manter o equilíbrio mecânico.

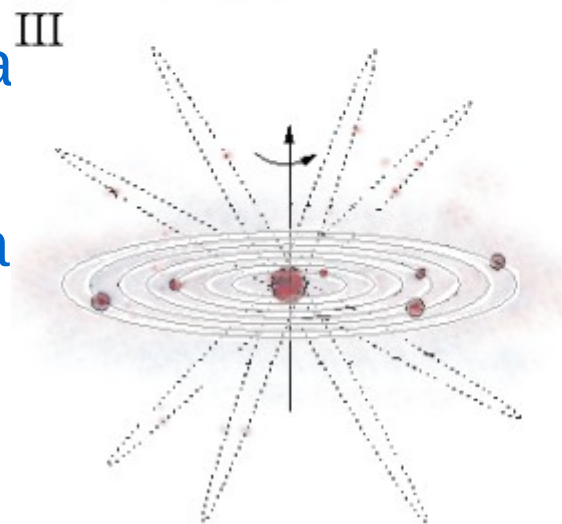
I



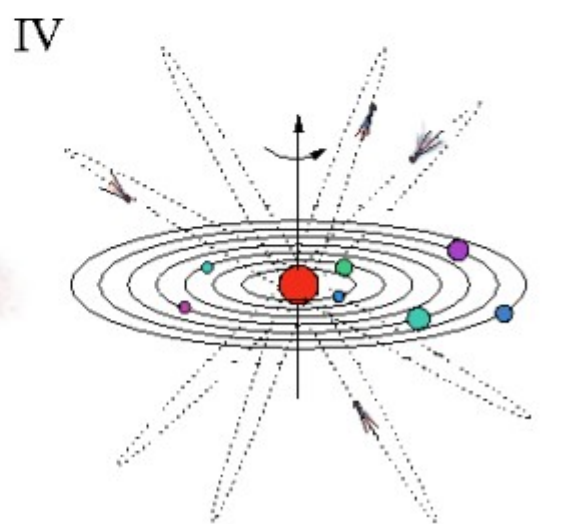
II



III



IV



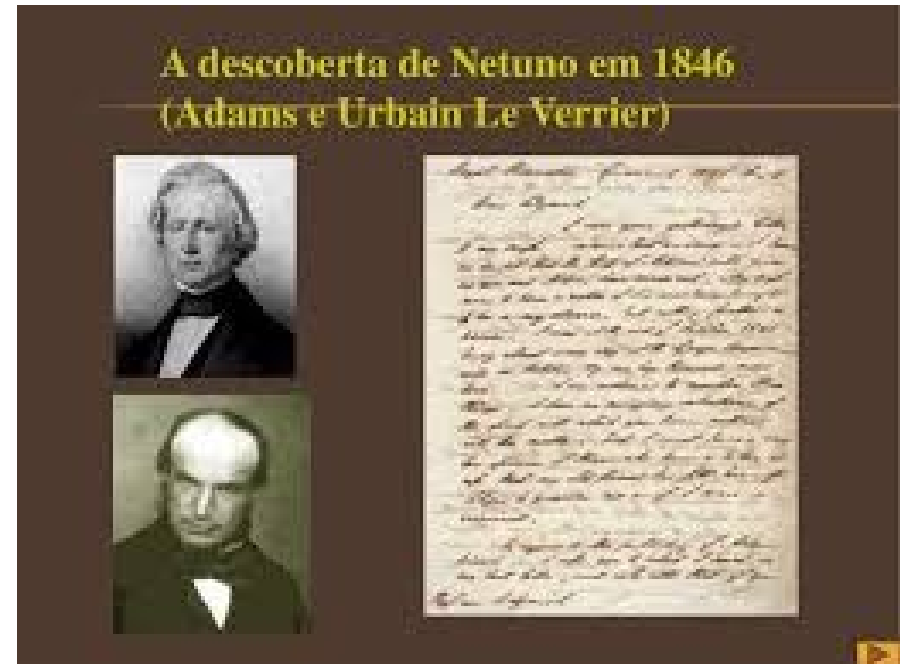
Determinismo na ciência Laplace

- Universo de Newton-Laplace-Kant:
- Um universo onde o tempo é absoluto.
- Um universo causal.
- Se conhecemos todas as variáveis dinâmicas do sistema podemos construir uma equação matemática usando as leis de Newton para predizer como evoluiria o sistema.
- Sistema de Newton foi o protótipo para as demais áreas da ciência: leis do eletromagnetismo, termodinâmica, etc.



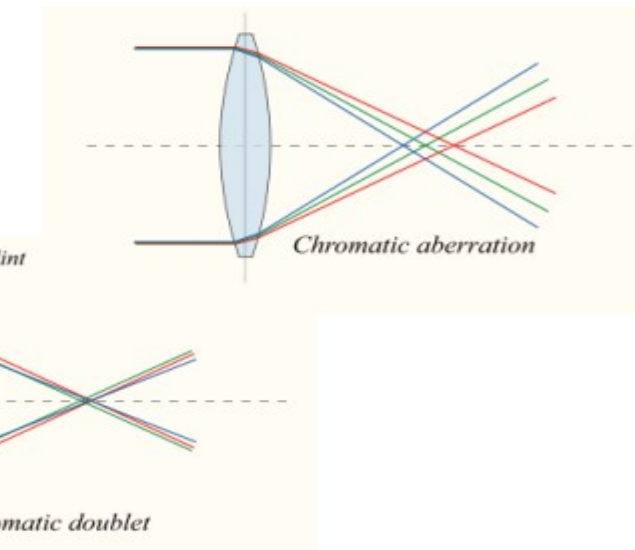
Descoberta de Adams e Leverrier

- Ambos descobrem um novo planeta: netuno
- Descoberta teórica usando a teoria de Newton-Laplace sobre estabilidade do sistema solar.
- Isto confirmou a potencia da teoria determinística de Newton.
- Le Verrier formula também um novo planeta Vulcano para explicar uma anomalia do movimento de Mercúrio



Fraunhofer e Bessel

- Fraunhofer: Desenvolve o espectrógrafo e inventa as lentes acromaticas.
- Assim permite estudar a composição do objetos celeste(elementos químico)
- Com as lentes permite estudar mais nitidamente as imagens.
- Bessel (1838) usando está nova tecnologia determina a paralaxe da estrela 61 cygni pela primeira vez na historia isto tinha sido inferido indiretamente por hiparco interpretado desde o ponto de visto geocêntrico.



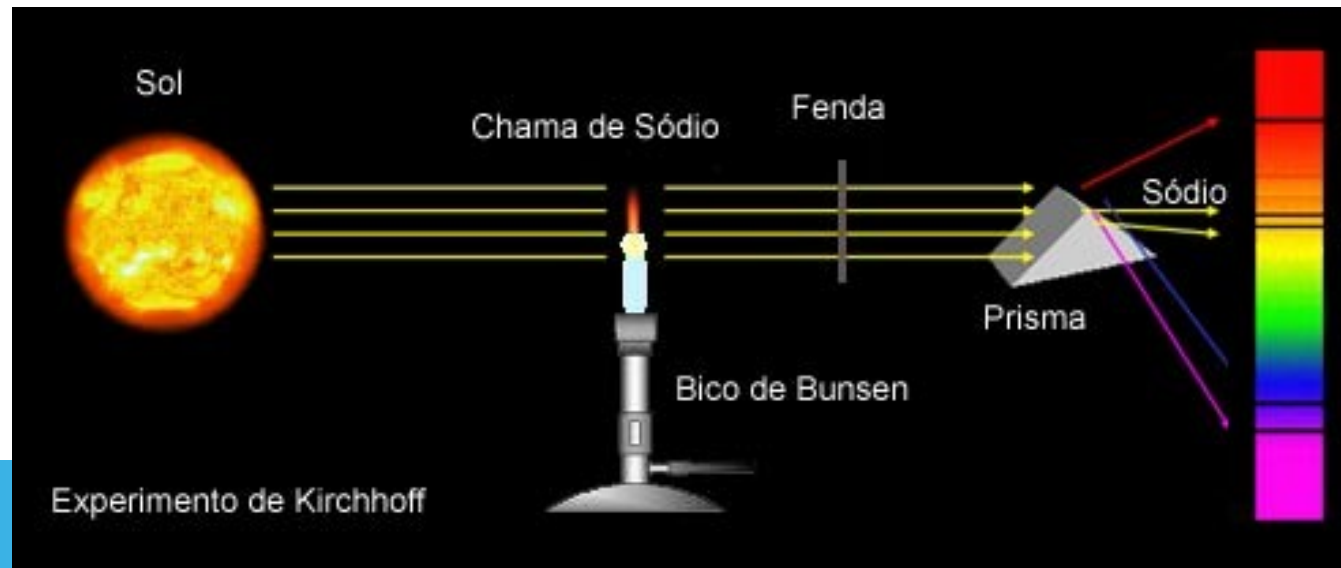
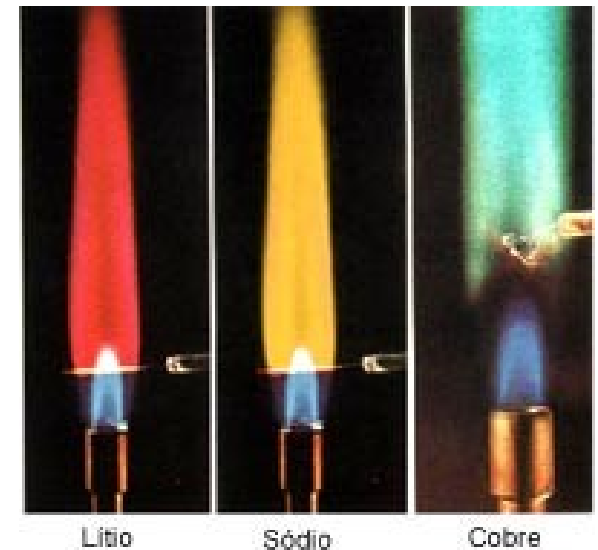
Espectros dos objetos do Universo

- Newton descobre a decomposição dos raios solares em cores.
- William Wollaston observa linha entre as cores.
- Fraunhofer e Huggins estudam e determinam os espectros de absorção das estrelas e nebulosas



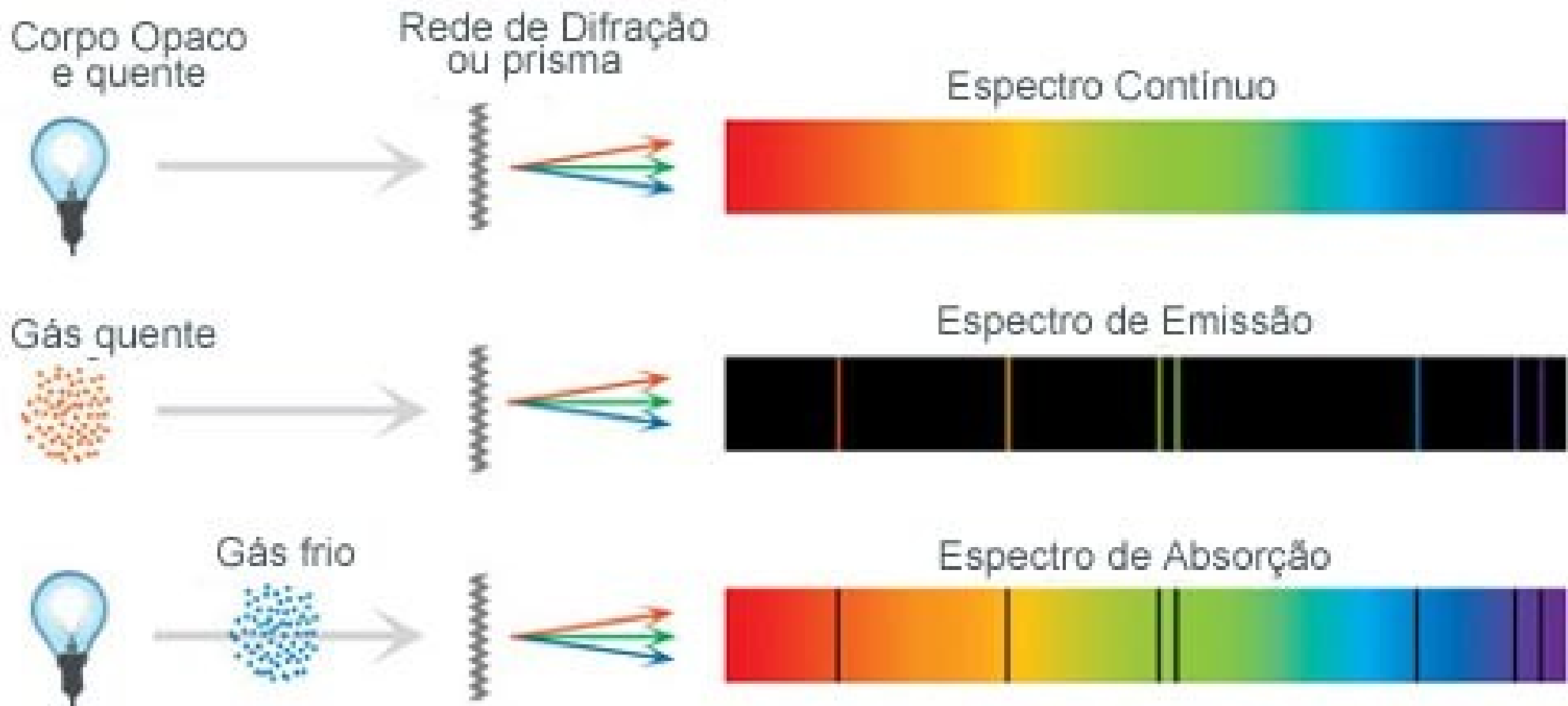
Espectros dos objetos do Universo

- Kirchhoff e Bunsen cada elemento produz um espectro de linhas coloridas.
- Estudaram o Sol e concluíram que o Sol deve ser um corpo formado por gás quente ou deve ser um corpo sólido rodeado de gás quente.
- Também determinaram suas componentes



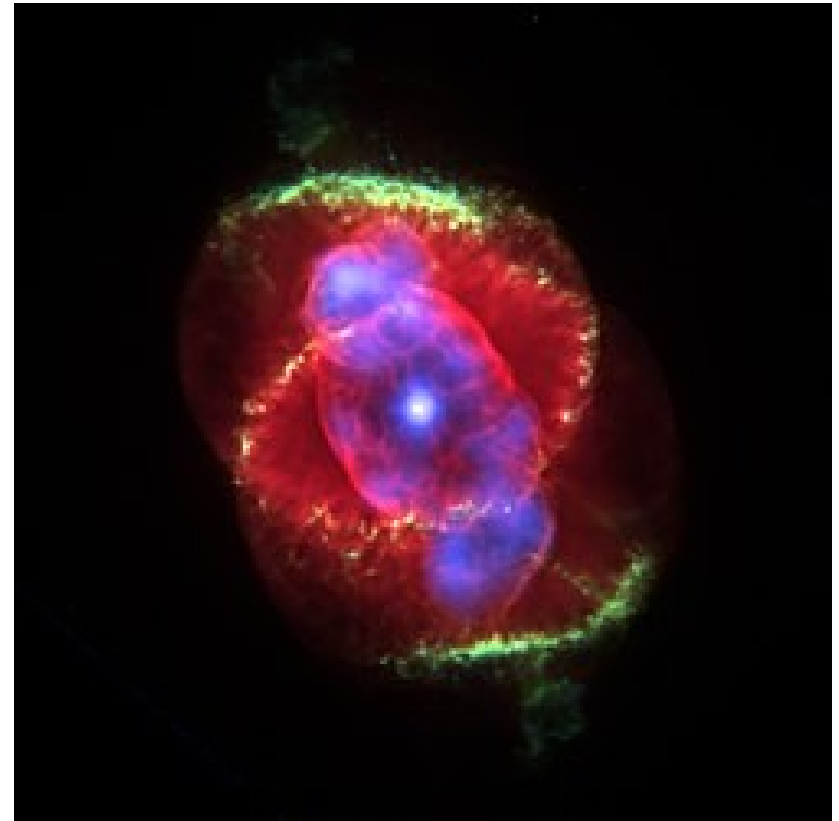
Espectros dos objetos do Universo

- Leis de Kirchhoff dos espectros de emissão e absorção
- Joseph Norman Lockyer faz a descoberta do Hélio no espectro do Sol



Espectros dos objetos do Universo

- Nebulosa descoberta por Herschel.
- Huggins estuda seu espectro em mediados do século XIX e descobre que é diferente das outras nebulosas.
- No século XX se descobre que é uma nebulosa planetária.
- No início do século XX se começa a estudar a classificação estelar usando espectroscopia.



NGC6543

Grande Debate

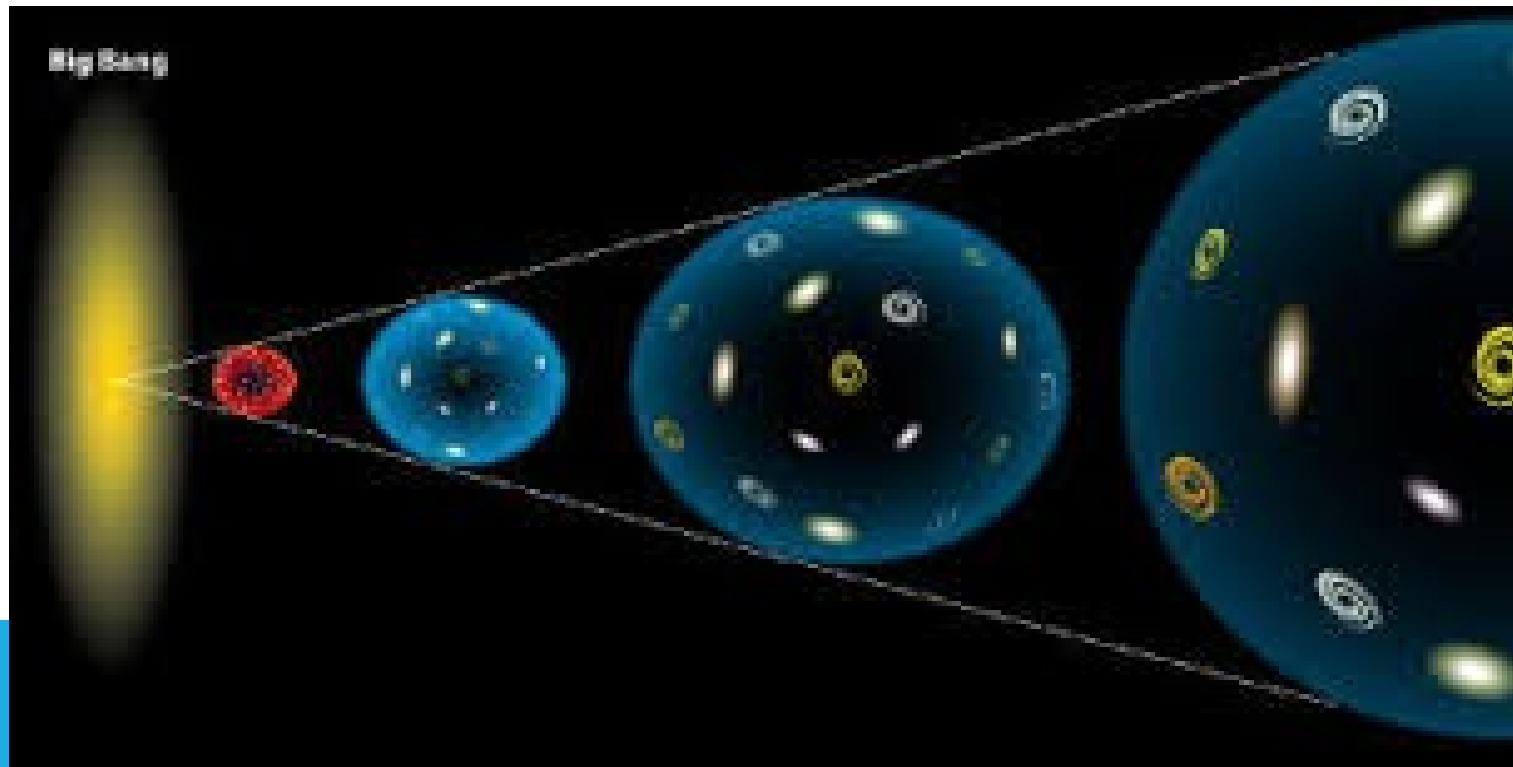
- Que são as Nebulosas?

Estrelas dentro de nossa galáxia ou outras galáxias

- Harlow Shapley : estimou um tamanho de 900 kpc para nossa Via Láctea, atualmente cerca de 30 kpc.
- Curtis: Defendia uma Via Láctea menor da ordem da atual.
- Hubble e outros depois de 1920 fecham o debate em favor de outras galáxias.
- Hubble faz medidas de maior precisão, descoberta da relação distância-velocidade de recessão, e proposta de uma classificação morfológica. Conclusão: descoberta da expansão do Universo isto tinha sentido na teoria de Einstein.

Expansão do Universo

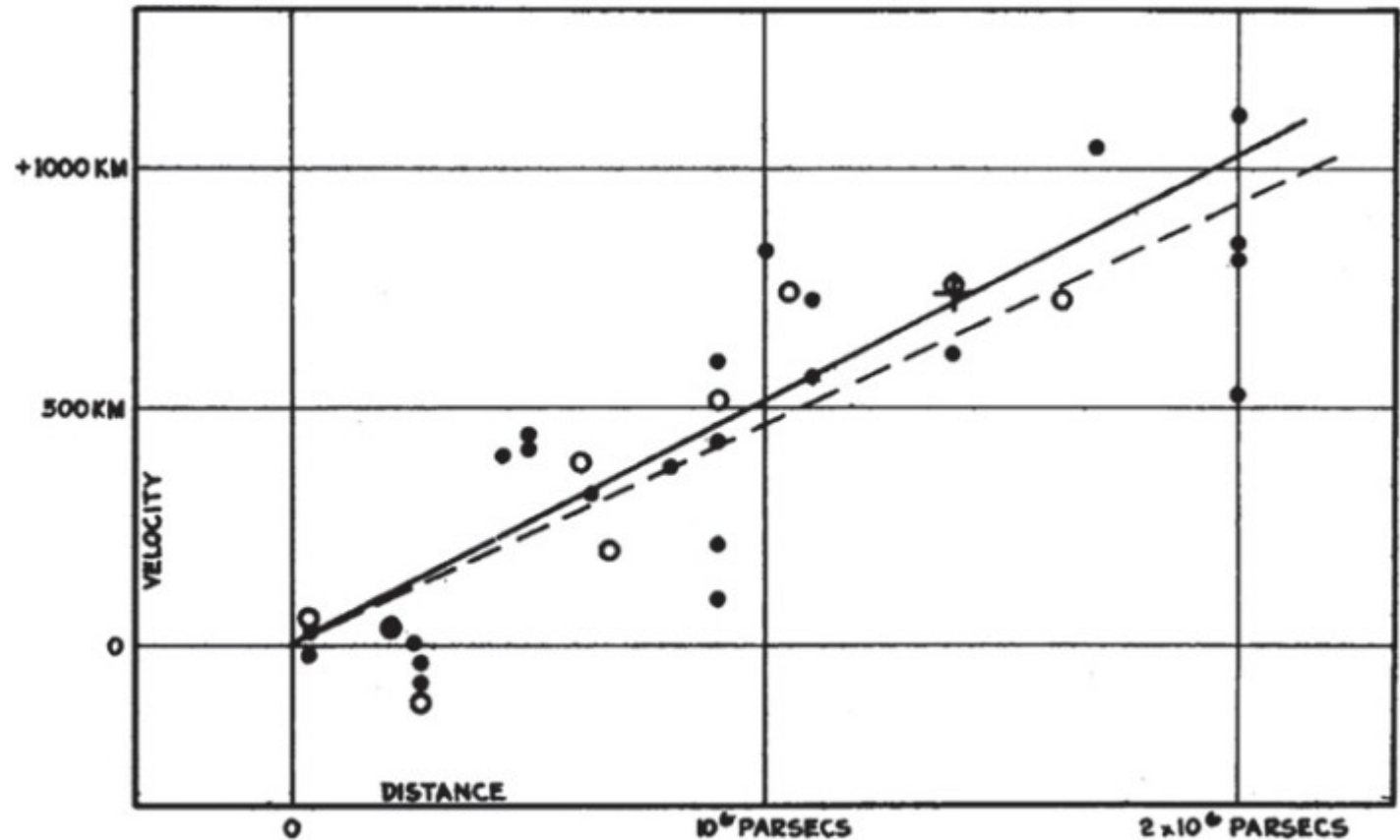
- Einstein e a teoria da Relatividade Geral
- Inicialmente ele propõe um modelo estático.
- Friedmann propoe solução de expansão
- Lemaitre publica uma solução de expansão incluindo cosntante cosmológica.



Descoberta de Hubble

- Resultados das observações de Hubble

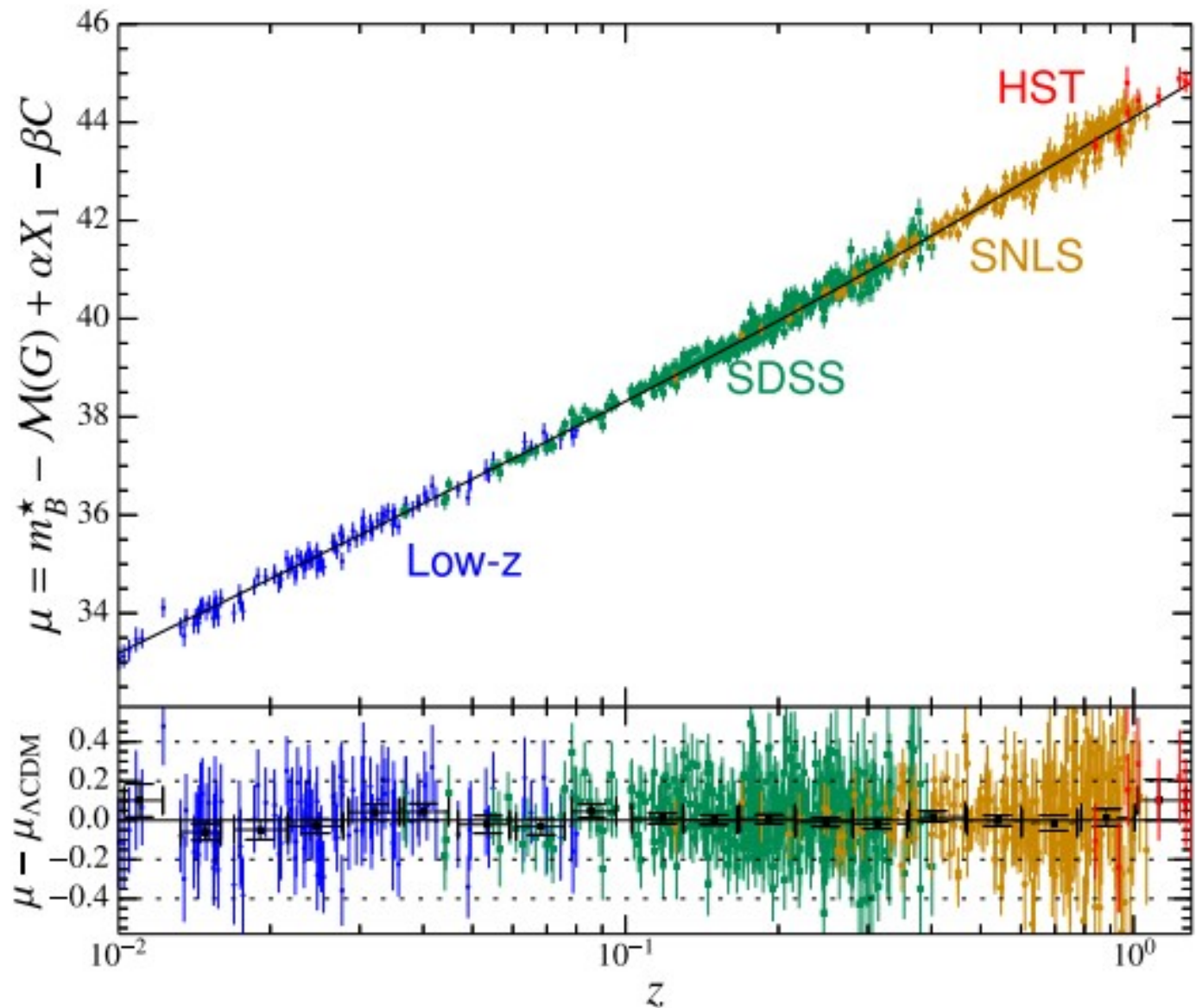
$$v = H_0 \times d.$$



Descoberta da expansão acelerada

- Expansão acelerada do Universo 1998

Usando Supernovas Ia
para medir distâncias



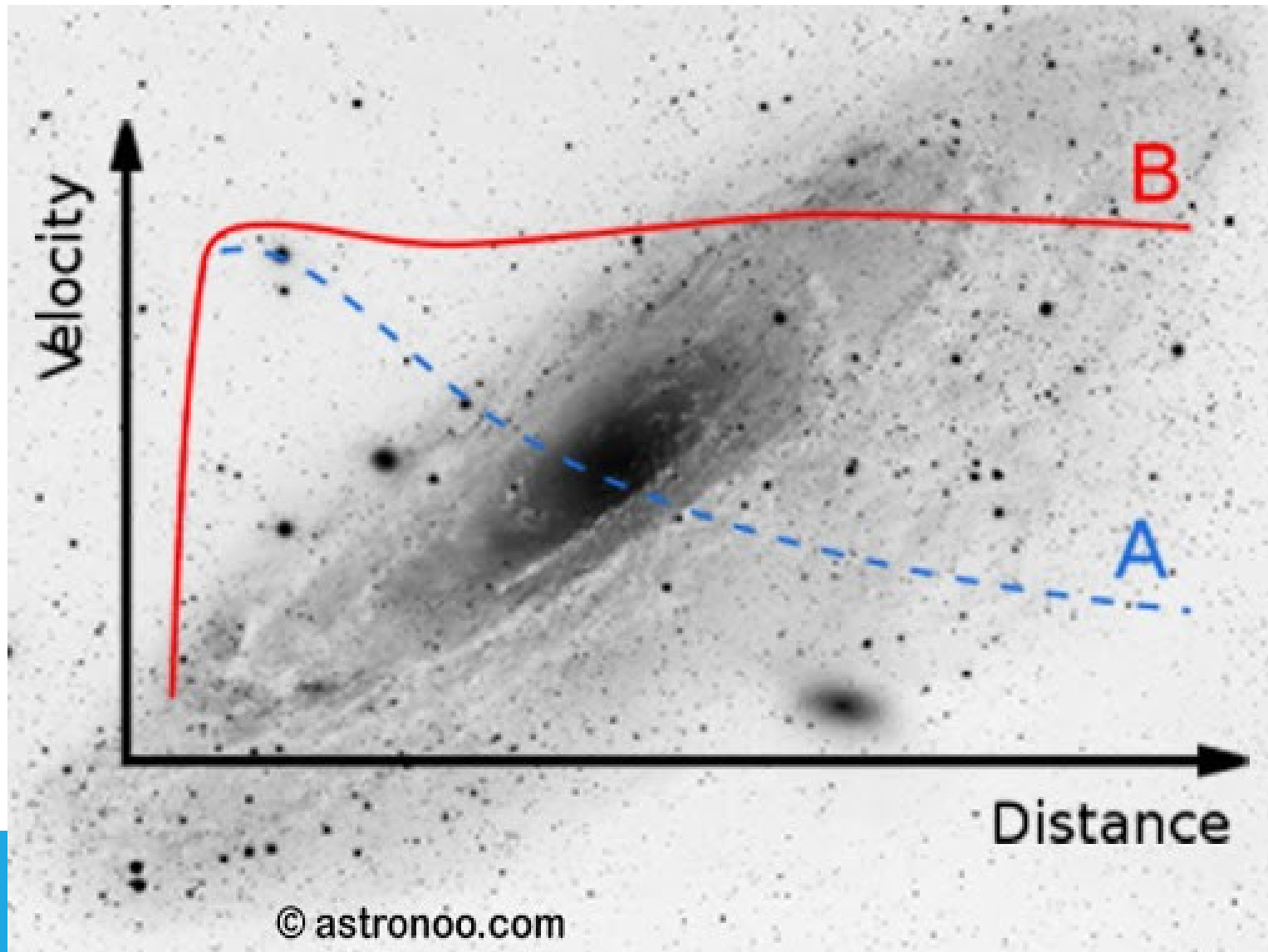
Matéria Escura

- Inicialmente proposta por Zwick nos anos 1930's.



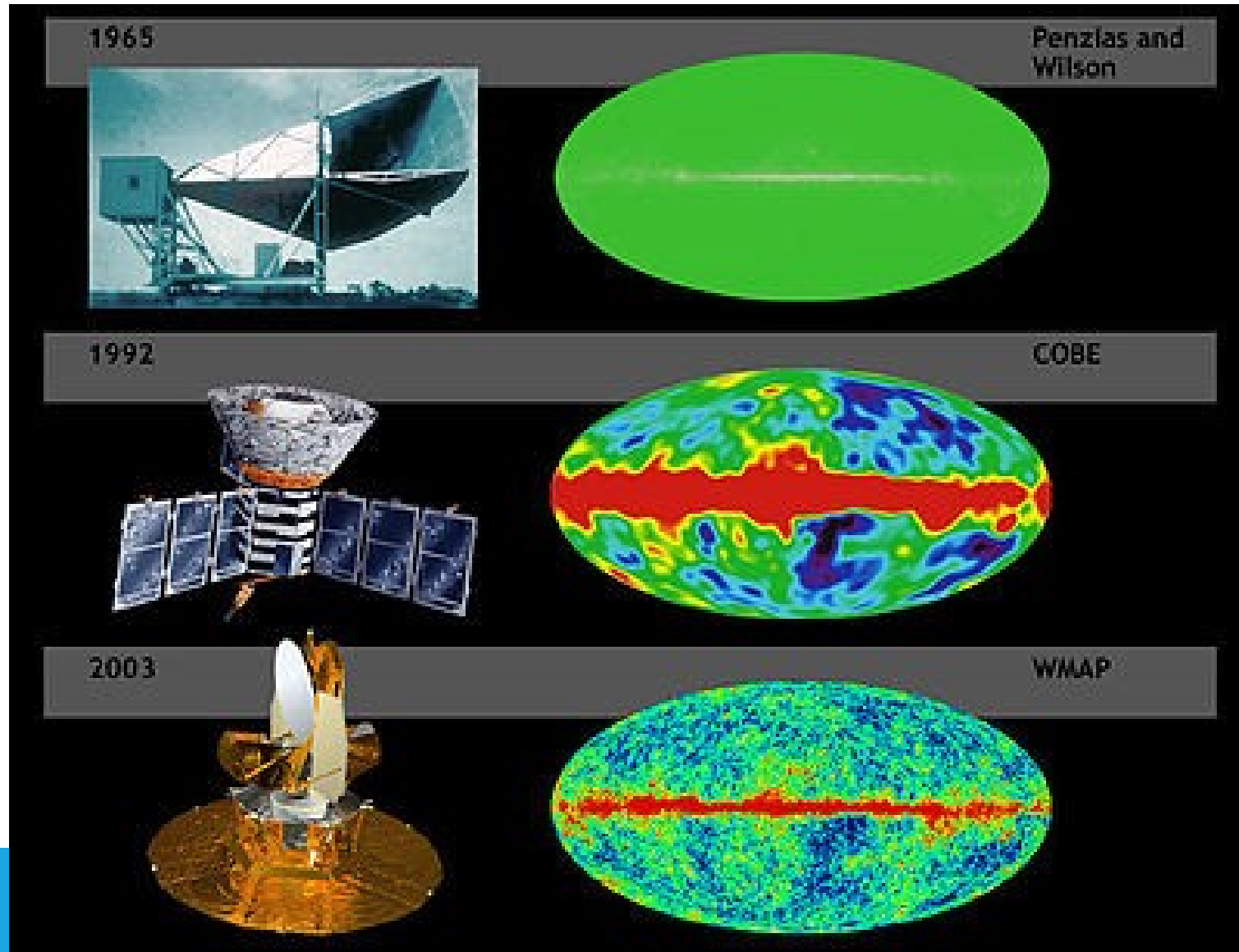
Matéria Escura

- Curvas de rotação de galáxias na década de 1970, vera rubin.



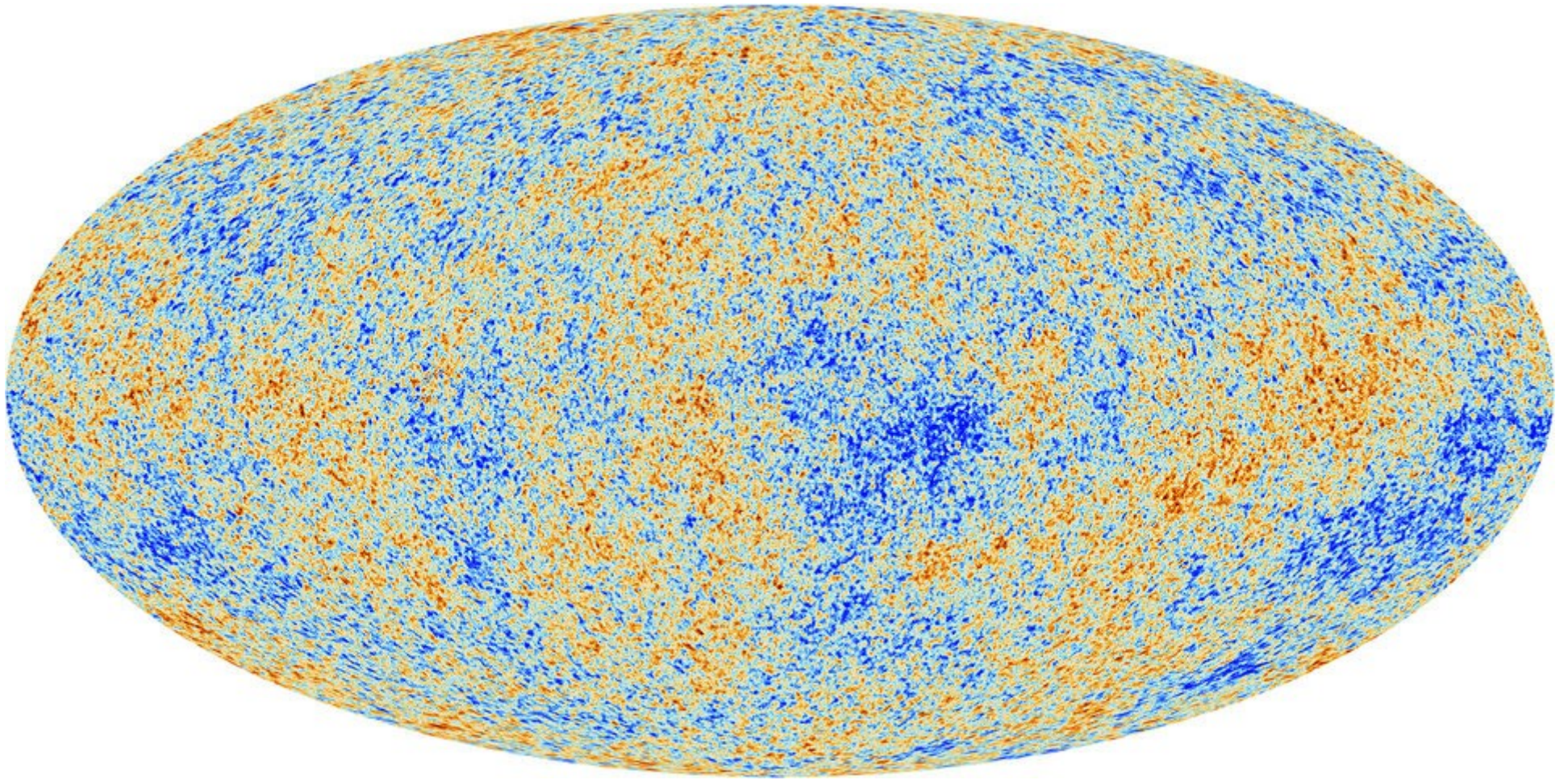
Radiação Cósmica de Fundo

- Descoberta 1965 por Penzias e Wilson



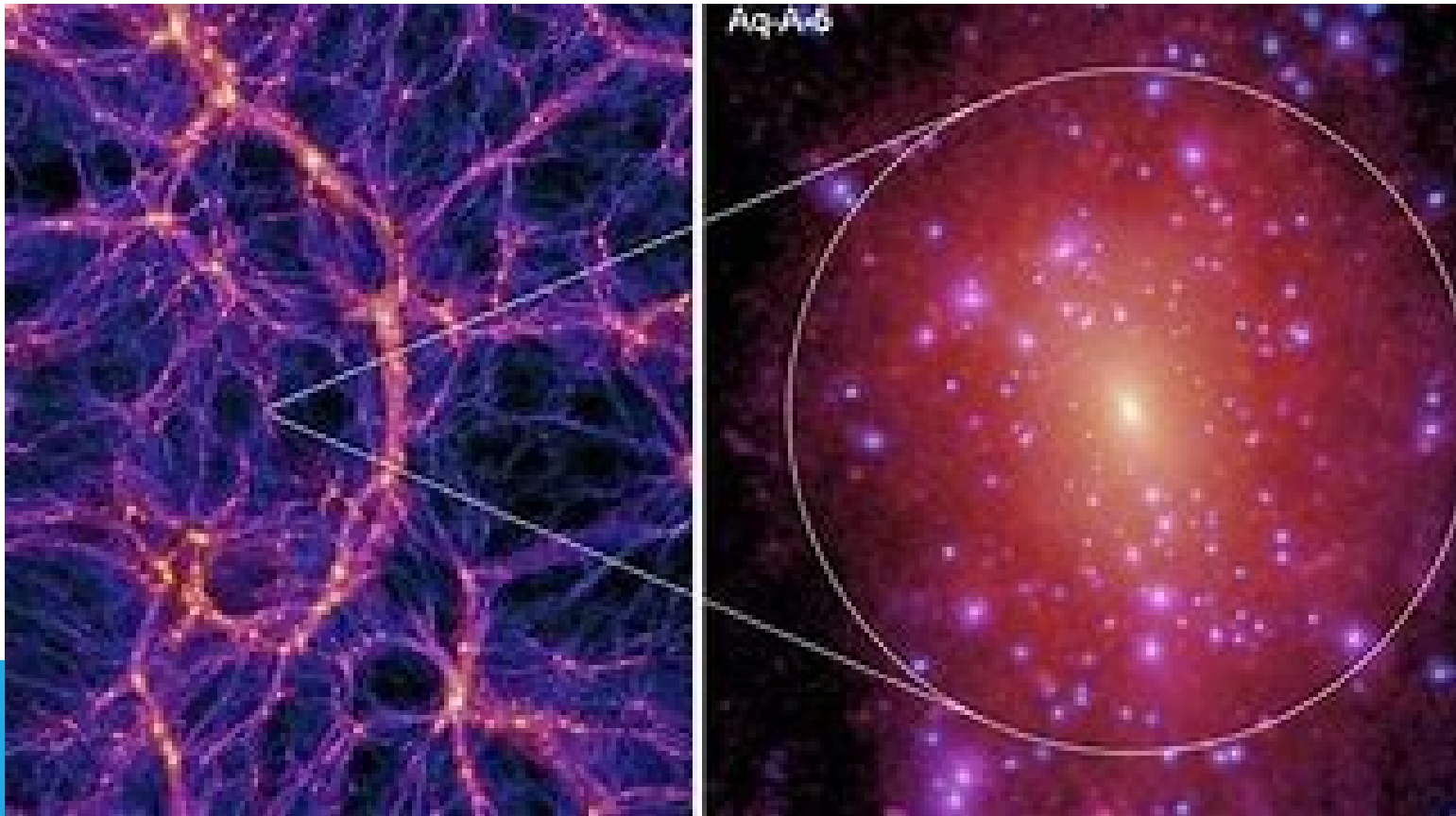
Radiação Cósmica de Fundo

- Satélite Planck



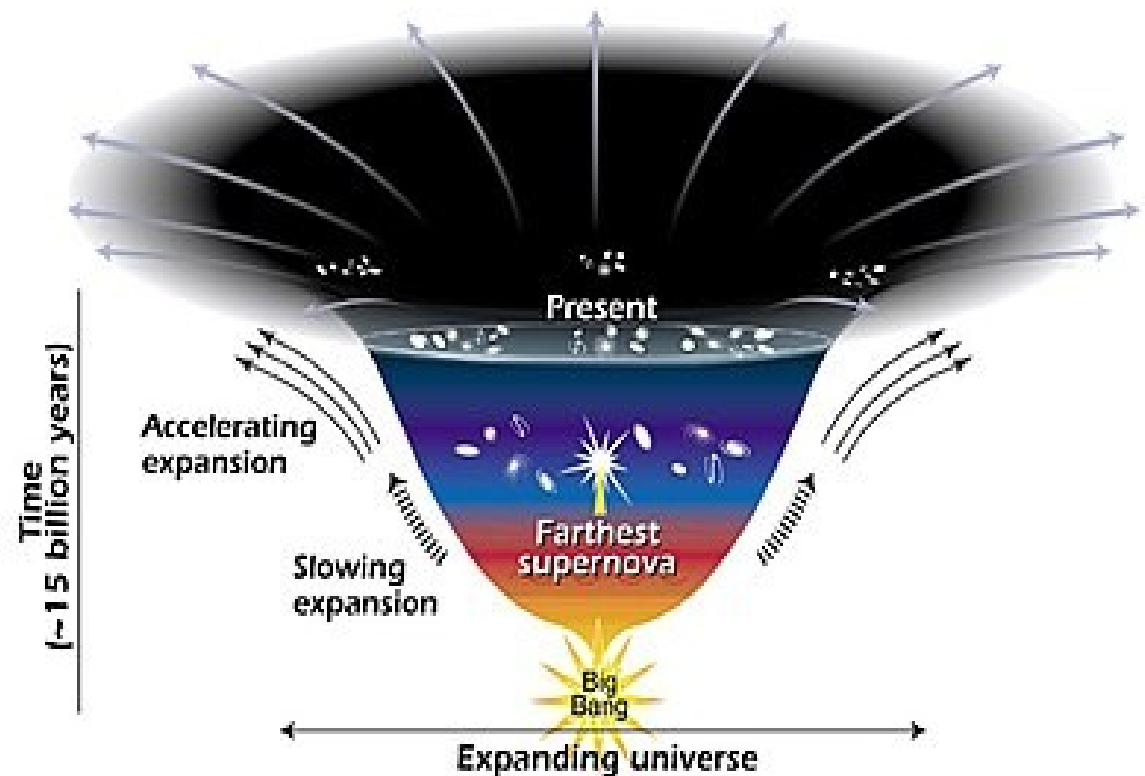
Simulando o Universo no Computador

- Nos anos 1980 grandes simulações do Universo
- Usam o paradigma de matéria escura.
- Um tipo de matéria escura: matéria escura fria.



Expansão acelerada do Universo

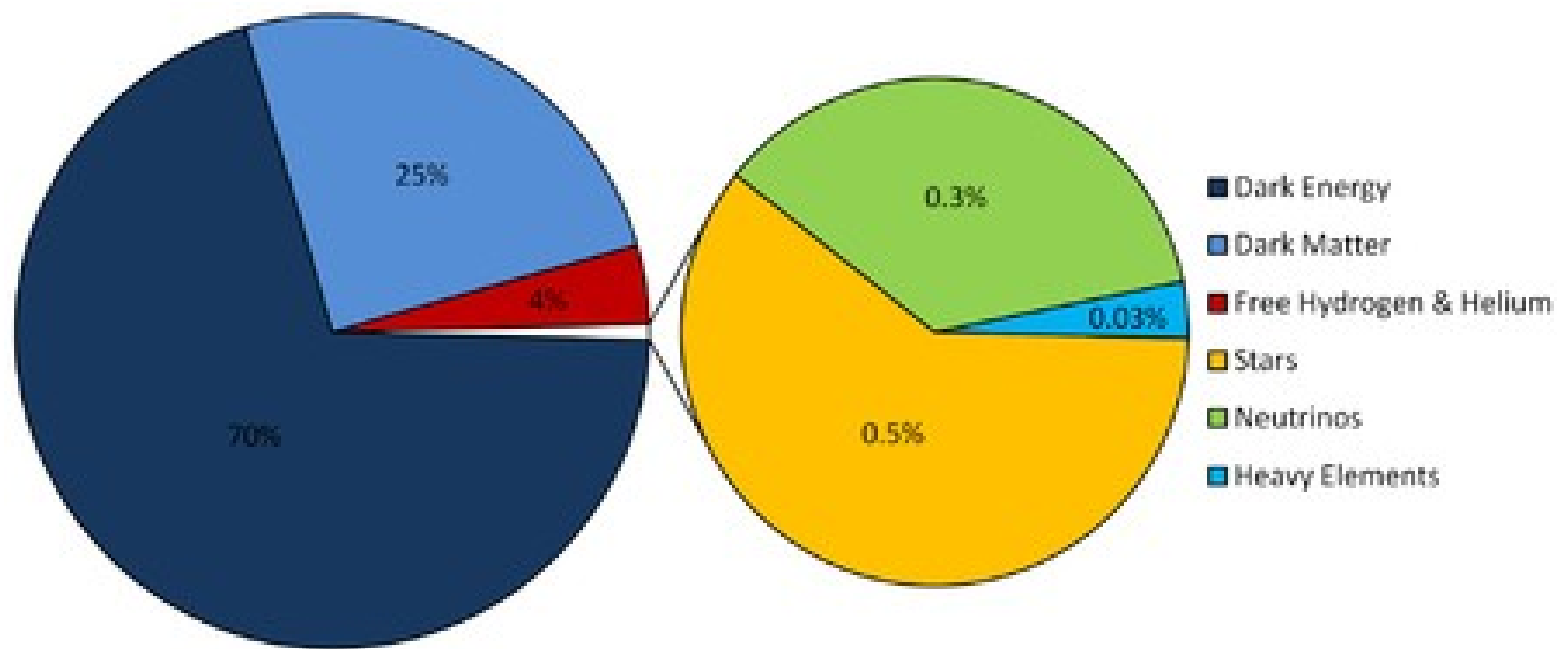
- No ano de 1998 descoberta da expansão acelerada do Universo
- Desde o ponto de vista gravitacional o Universo deveria estar em uma expansão desacelerada.
- Mas o Universo está numa fase acelerada.
- Usaram medidas de distância cosmológica de SNIa



This diagram reveals changes in the rate of expansion since the universe's birth 15 billion years ago. The more shallow the curve, the faster the rate of expansion. The curve changes noticeably about 7.5 billion years ago, when objects in the universe began flying apart at a faster rate. Astronomers theorize that the faster expansion rate is due to a mysterious, dark force that is pushing galaxies apart.

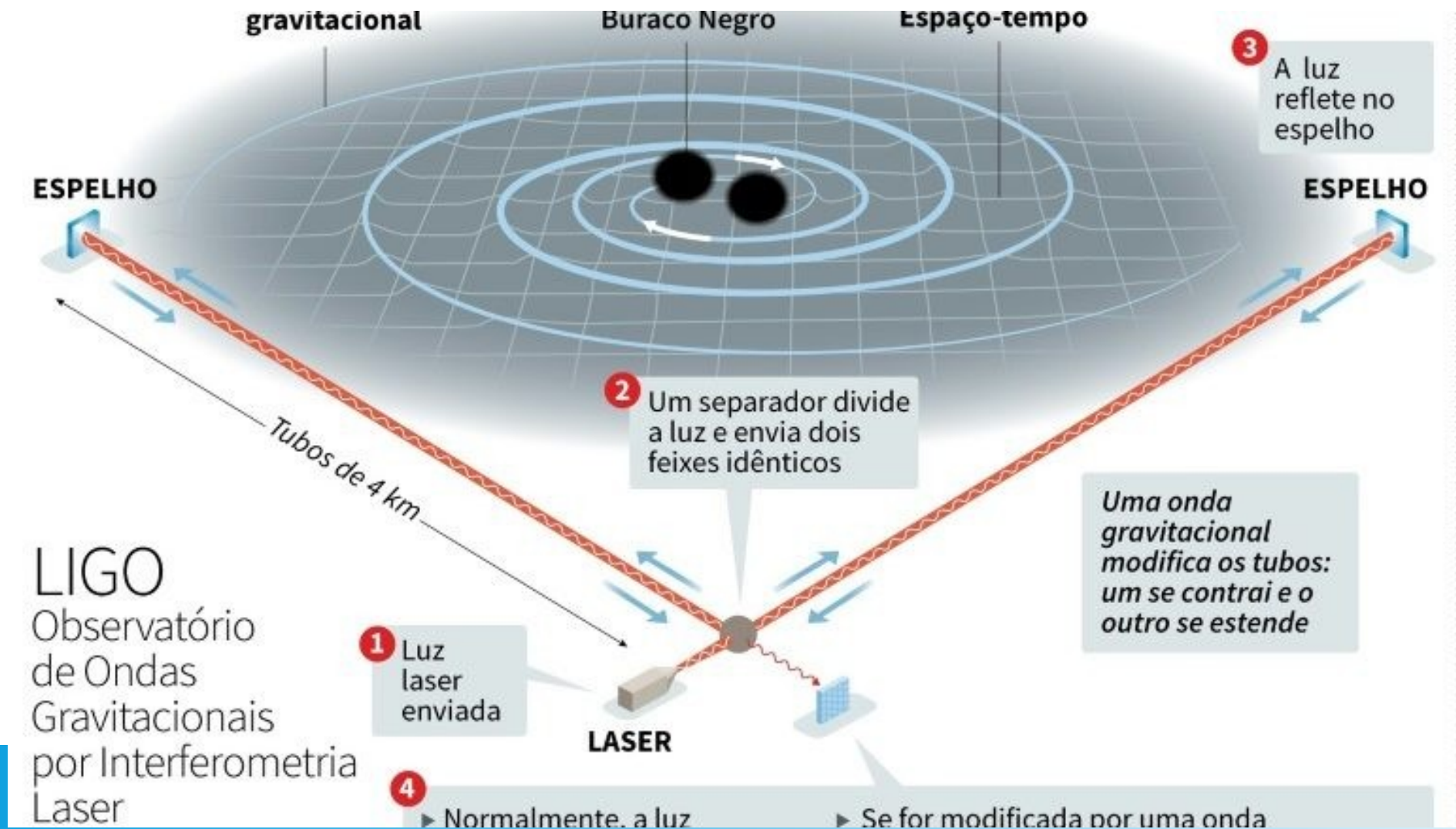
Composição do Universo

- Energia Escura
- Matéria Escura: WCDM, CDM e Bários escuros
- Matéria bariônica: interação eletromagnética.
- Radiação: fótons, neutrinos.



Ondas Gravitacionais

- Ondas Gravitacionais



Constante de Hubble: um problema atual

- CMB : $67.44 \pm 0.58 \text{ km s}^{-1}\text{Mpc}^{-1}$
- Local: $74.03 \pm 1.42 \text{ km s}^{-1}\text{Mpc}^{-1}$

