

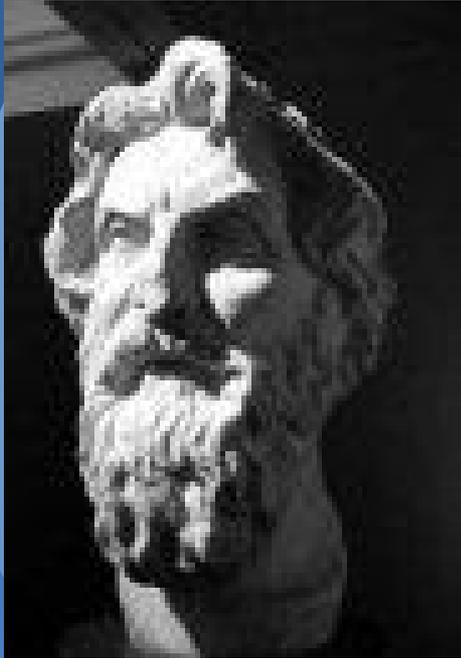
“A revolução copernicana abriu as portas para a construção de modelos universais, a aplicação do paradigma da harmonia cósmica, a relatividade do movimento, o imaginário que acabaria rompendo com o cosmos fechado e único”

ZANETIC, J. Gravitação, Notas de Aula. 2 semestre 2013. p. 89

A Revolução “Copernicana”

- ❖ Séculos XVI e XVII
- ❖ Redundou não somente na substituição do sistema geocêntrico pelo heliocêntrico. Representa uma das viradas epistemológicas mais fundamentais da história da humanidade.
- ❖ Nicolau Copérnico (1473-1543?) levou a fama, mas antes dele...

A Revolução “Copernicana”



Aristarco de Samos



Hipathia de Alexandria

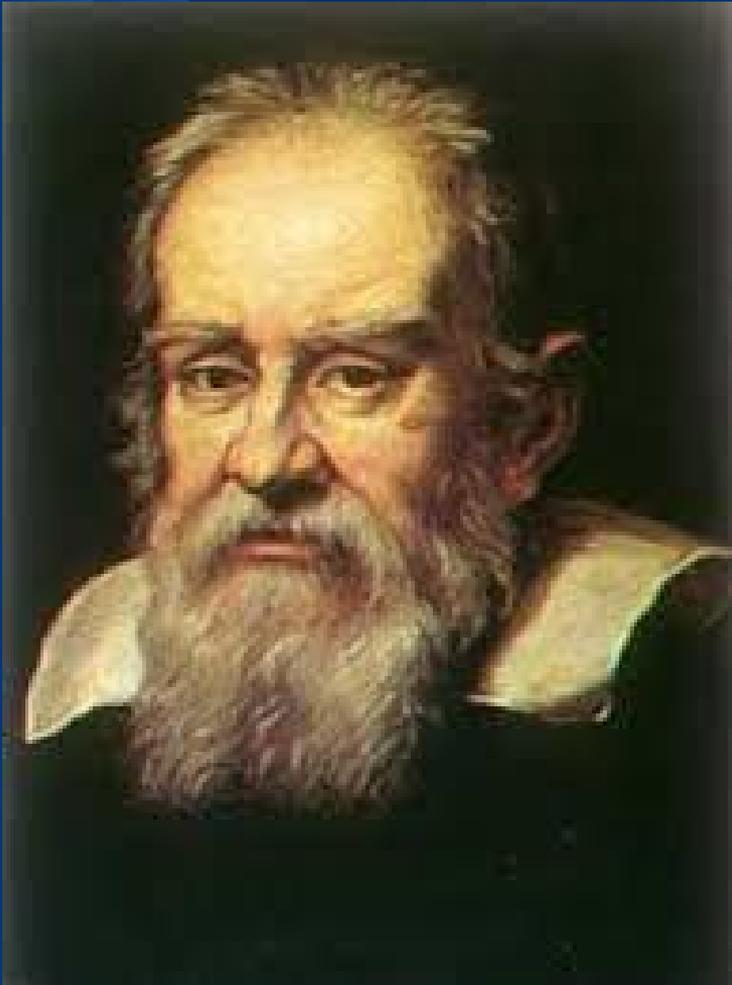
A Revolução “Copernicana”

- ❖ Giordano Bruno (1548-1600) foi o “introdutor da doutrina no universo descentralizado, infinito e infinitamente povoado”

Zanetic, J. op. cit. p. 91

“Assim, Demócrito e Epicuro, que sustentavam que tudo através do infinito sofria renovação e restauração, compreendiam essas questões melhor que aqueles que a todo custo mantêm a crença na imutabilidade do Universo, alegando um número constante e invariável de partículas de material idêntico que perpetuamente sofrem transformações, umas em outras.”

BRUNO, G. De l'infinito universo e mondi, 1584.



- ❖ Galileu Galilei (1564-1642)
- ❖ Iniciou sua carreira estudando medicina para agradar os pais.
- ❖ Influenciado pelos trabalhos de Arquimedes, começou a se interessar por geometria e construção de máquinas simples.
- ❖ Discorsi e Dimostrazioni Matematiche intorno a Due Nuove Scienze; Sidereus Nuncius...

Galileu: “O” Cara

- ❖ Geometrizou o estudo do espaço e matematização da física
- ❖ Elaboração de Experiências (física experimental).
- ❖ “Experiências de Pensamento”
- ❖ Abstração idealizada do real: Superfícies lisas sem atrito; corpos perfeitamente elásticos...
- ❖ Fusão da física celeste com a terrestre
- ❖ **Vale lembrar que Galileu é como que o resultado dialético de um grande processo de articulações paradigmáticas dentro da ciência medieval. *tk155**

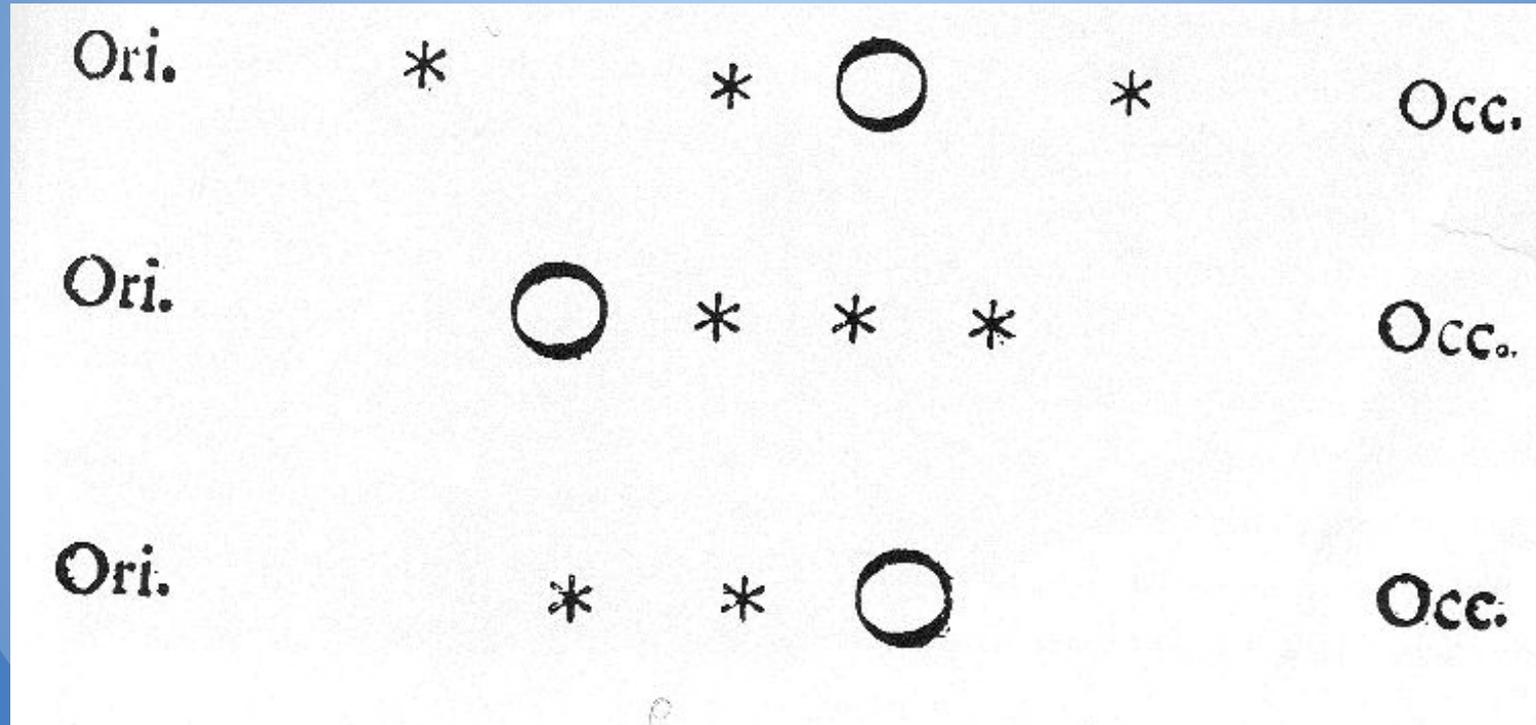
Galileu: o Telescópio

- ❖ A invenção deste instrumento é exageradamente atribuída à Galileu. Thomas Digges descrevia um instrumento semelhante em 1571 e em 1590 outro teria sido feito na Itália.
- ❖ Em 1608 teria sido inventado na Holanda
- ❖ Na época em que Galileu construiu aquele com o qual fez suas observações (1610), este instrumento provavelmente já era vendido na Itália.

Galileu: O Mensageiro das Estrelas

- ❖ *Sidereus Nuncius*: O Mensageiro Sideral ou Mensagem Sideral
- ❖ Primeiro tratado científico baseado em observações astronômicas feitas com o auxílio de um telescópio. ❌
- ❖ Observações iniciais da Lua, das estrelas e das luas de Júpiter.
- ❖ Obra marcante para a astronomia moderna.

Galileu: O Mensageiro das Estrelas



A Inércia de Galileu

- ❖ Importância dos conceitos de *Força Motriz Imprimida* e de *Impetus*.
- ❖ Só com o primeiro conceberia a impossibilidade do movimento eterno (Galileu jovem).
- ❖ O conceito de inércia de Galileu, com base da visão de Alexandre Koyré (1892-1964), é um conceito de *Inércia Circular*.

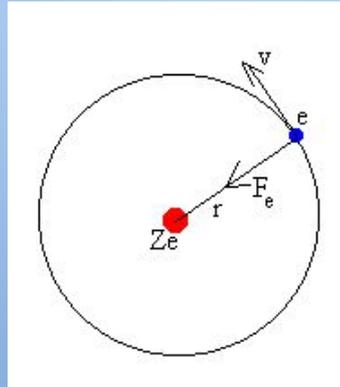
A Inércia de Galileu

“Sobre um tal plano horizontal - geométrico - realizado ao cimo da Terra, um grave estaria numa situação completamente diferente. Com efeito, movendo-se sobre esse plano, afastar-se-ia do centro da Terra, (ou do mundo) e, por conseguinte, elevar-se-ia. O seu movimento seria, pois, violento (...) o único movimento que não o faria afastar-se ou aproximar-se do centro da Terra (...) seria, por conseguinte, um movimento circular. De outra maneira: o plano horizontal real é uma superfície esférica”

KOYRÉ, A. *Estudos Galilaicos*. Lisboa: Publicações Dom Quixote. 1986, p. 259

A Inércia de Galileu

- ❖ Galileu introduz a necessidade do movimento circular também na Terra, contrapondo-se claramente à mecânica aristotélica.
- ❖ Daí uma das razões da obsessão de Galileu pelos movimentos circulares.



A Inércia de Galileu

“*Salviati*: (...) qual estimais que seja a razão do movimento espontâneo daquela bola pelo plano em declive, e do movimento que não se faz sem violência pelo plano em aclave?”

Simplício: Porque **a tendência dos corpos pesados** é a de mover-se para o centro da Terra, e somente por violência para cima em direção à circunferência; e a superfície inclinada é aquela que se aproxima do centro, enquanto o aclave afasta-se dele.”

GALILEU. *Diálogo Sobre os Dois Máximos Sistemas do Mundo Ptolomaico e Copernicano*. Tradução, introdução e notas de Pablo Rubén Mariconda. Discurso editorial e Fapesp, São Paulo, p. 20.

A Inércia de Galileu

- ❖ A resposta de um aristotélico recorre à **essência** do objeto para explicar seu comportamento no mundo.
- ❖ Galileu usa um aspecto **exterior** ao corpo para mostrar como este é afetado por aquele, a fim de explicar seu comportamento.
- ❖ A inércia circular ainda não é o conceito de inércia newtoniano.

A Queda dos Corpos

- ❖ Afinidade entre **tempo** e **movimento**: “a uniformidade do movimento se define e se concebe com base na igualdade dos tempos e espaços”

GALILEU. Discursos e demonstrações sobre duas novas ciências. p. 127

- ❖ O movimento é acelerado quando em **tempos iguais** adquire **aumentos iguais de velocidade**:

1s ---- V

3s----3V

- ❖ Crescimento contínuo na velocidade no movimento uniformemente acelerado.

A Queda dos Corpos

- ❖ **Matematização** da física.
- ❖ Com o auxílio de **raciocínios abstrativos**, a materialidade adquire certa previsibilidade.
- ❖ Para os aristotélicos de plantão isto soava absurdo, posto que não estivessem acostumados a conjecturar sobre o mundo fora de suas observações empíricas. Dizer que uma pedra, se solta de determinada altura, cairá, **sem sequer ter soltado a pedra**, além de ferir o princípio essencialista da física aristotélica, parecia loucura, devido à aparente ausência de dados empíricos.

A Queda dos Corpos

- ❖ Quanto maior a **velocidade** do grave, menor o Δt que leva para percorrer um dado Δs .
- ❑ **“O movimento é, antes de mais nada, um fenômeno temporal (...) o espaço é apenas uma resultante, um acidente, um sintoma de uma realidade essencialmente temporal”**

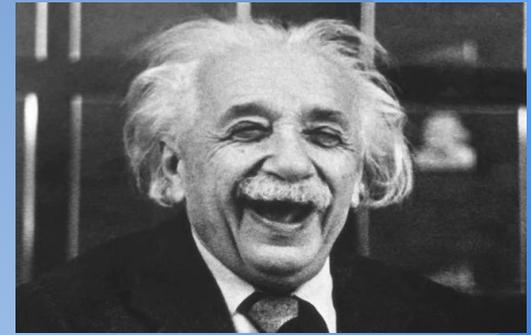
Koyré, A. op. cit. p. 195

$$d = 16t^2$$

“(...) the formula is compact, precise and replete with information”

KLINE, M. Mathematics and the physical world

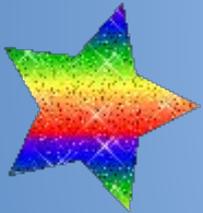
A Relatividade de Galileu: o argumento da torre



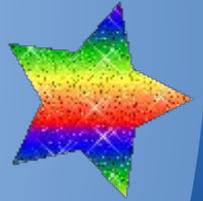
- ❖ Em nada tem a ver com a relatividade geral de Einstein, apesar deste ser um senhorzinho muito simpático.
- ❖ Aristotélicos: o fato de os graves caírem em linha reta, perpendicular ao solo da Terra, era a comprovação empírica de que a Terra não se movia.
- ❖ Galileu afirmava que **os sentidos, por si sós, podiam nos enganar.**

A Relatividade de Galileu: o argumento da torre

- ❖ Para sair do enredo aristotélico, segundo Feyerabend, Galileu teria introduzido uma nova forma de relacionar teoria e fatos observados:



O MOVIMENTO COMPARTILHADO NÃO SERIA PERCEPTÍVEL



- ❖ Isto é, não conseguiríamos perceber o movimento da Terra, assim como não notaríamos o movimento circular da pedra caindo, pois compartilhamos do mesmo movimento.

A Relatividade de Galileu: o argumento da torre

- ❖ “*Salviati*: Imaginai agora estar em um navio e ter fixado o olho na ponta do mastro: acreditais que, porque o navio se movesse também velocíssimamente, ser-vos-ia necessário mover o olho, para manter a vista sempre na ponta do mastro e seguir seu movimento?”

GALILEU. *Diálogo*, op. cit. p. 331-332



A Relatividade de Galileu: o argumento da torre

- ❖ O mesmo se dá com o exemplo do navio. Um tripulante não percebe o movimento do mastro pois partilha do mesmo movimento.

“Assim, juntando a aparência da pedra caindo, o princípio da relatividade e o da inércia circular, Galileu articulou a proposta copernicana.”

Zanetic, J. Gravitação. Notas de Aula, 3 parte. 2 semestre/2013 p. 141

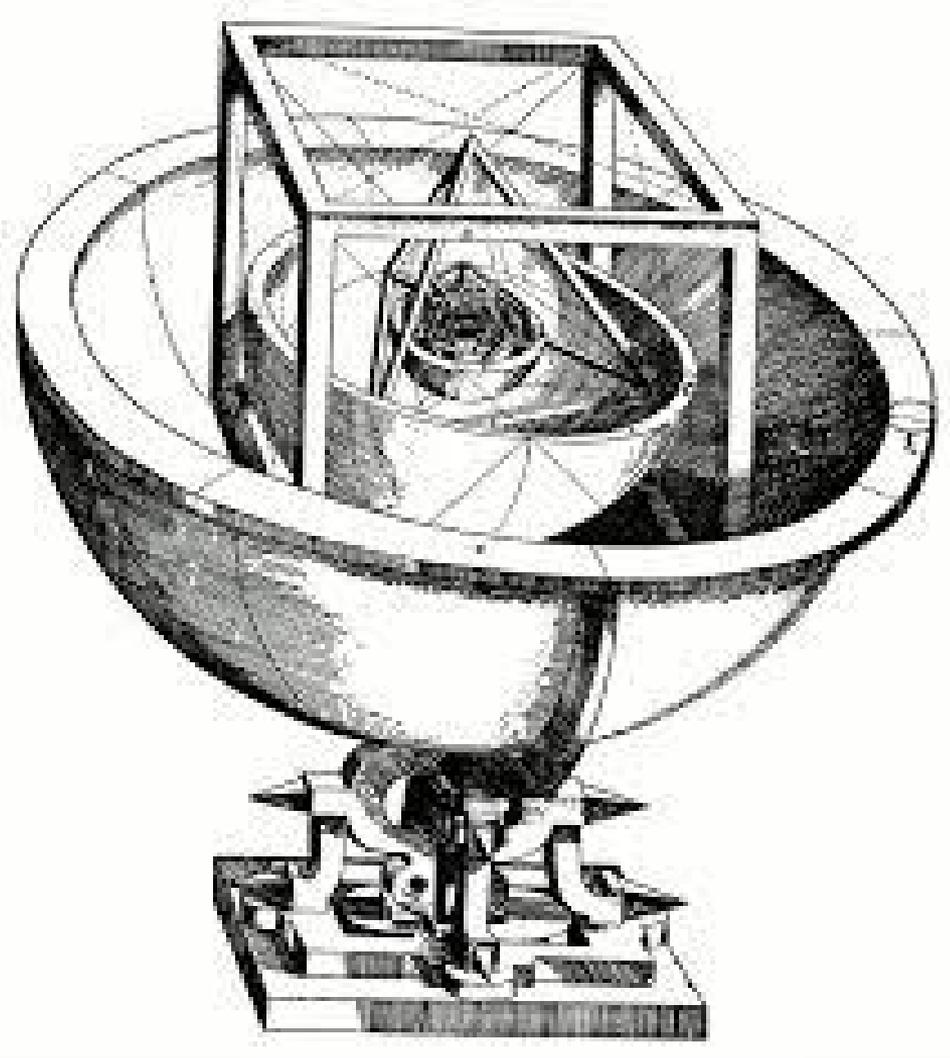


- ❖ Johannes Kepler (1571-1630)
- ❖ Grande contribuidor para a astronomia física.
- ❖ Muito influenciado pelos pitagóricos (herda o misticismo em torno dos números também).
- ❖ Geometrizou o cosmos de forma meticulosa.
- ❖ Um dos pioneiros da física teórica e experimental

Geometrização Exagerada de Kepler

- ❖ A utilização da **geometria** e da **matemática** enquanto linguagem para dialogar e representar aspectos da natureza era fundamental a um “copernicano”.
- ❖ Aceita o modelo **heliocêntrico** por razões inicialmente místicas. O Sol deveria estar no centro, pois era o **“Símbolo de Deus pai, fonte de luz e calor, gerador da força que move os planetas nas órbitas, e por ser o universo heliocêntrico geometricamente mais simples e satisfatório”**

Koestler, A. The Watershed. Ny> Paperback. 1960, p. 178



Geometrização Exagerada de Kepler

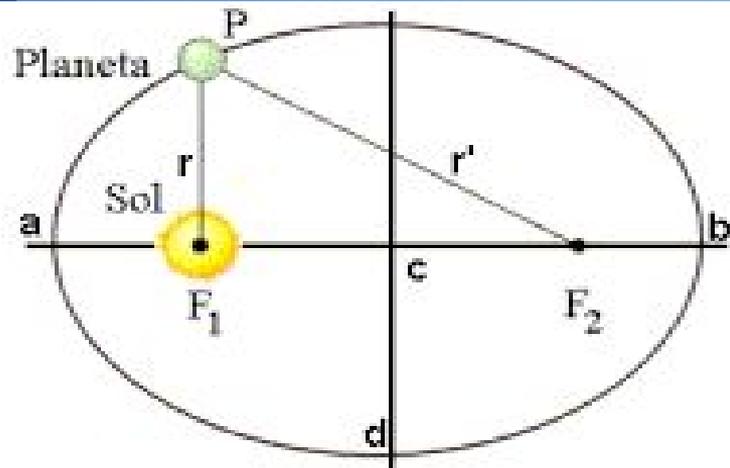
- ❖ Por que há exatamente 6 planetas e não outro número qualquer?
- ❑ Kepler, então, procura associar figuras geométricas ao sistema planetário conhecido.
- ❑ **Sólidos pitagóricos ou platônicos**: sólidos regulares perfeitos -> Cubo, Tetraedro, Dodecaedro, Icosaedro e Octaedro.
- ❑ Resposta de Kepler: **havia apenas 6 planetas porque só havia 5 sólidos regulares perfeitos para serem circunscritos e inscritos nas 6 esferas das órbitas planetárias.**

Kepler e a Gravidade

- ❖ Observou que os períodos dos planetas aumentavam conforme a distância, ou seja, quanto mais longe do Sol, mais lentos seriam para dar 1 volta.
- ❖ Concepção de que uma “alma” emanava do Sol, a qual “empurrava” os planetas em suas órbitas.
- ❖ Nascimento tímido dos conceitos modernos de força, energia radiante. Prenúncio da gravitação universal!
- ❖ Suas observações foram fundamentais à **Gravitação Universal de Newton.**

Elipses e as 3 Leis de Kepler

- ❖ Trabalhou com Tycho Brahe (1546-1601)
- ❖ A partir dos dados de Brahe, Kepler procurou demonstrar possíveis **órbitas circulares** para os planetas. Sem sucesso..
- ❖ Romper com as órbitas circulares era romper totalmente com o paradigma aristotélico. Foi o que Kepler fez.
- ❖ Passou, então, a trabalhar com elipses, com o Sol em um dos focos.



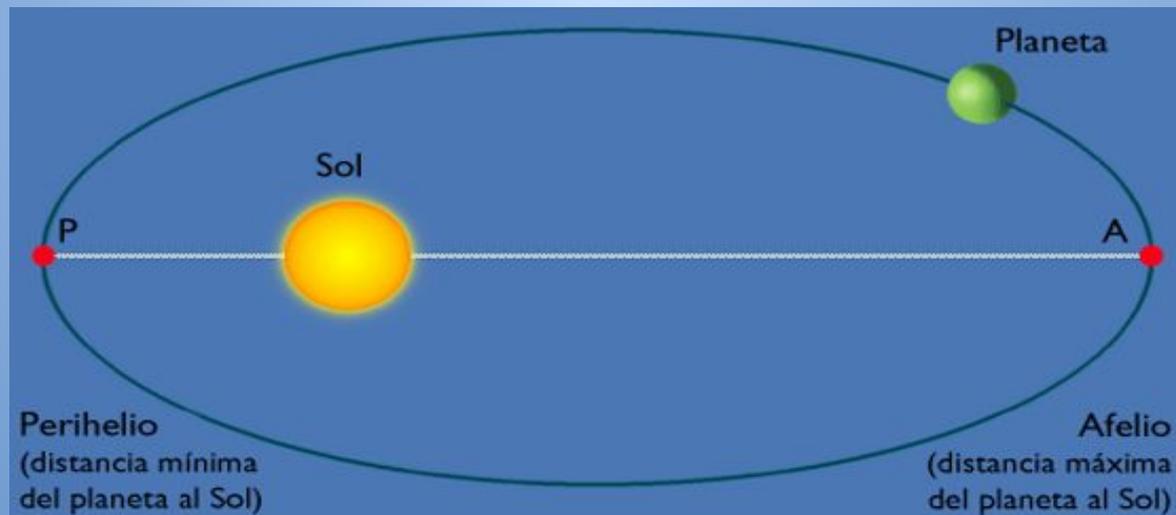
F_1 e F_2 = focos da elipse

$r + r' = \text{constante}$

excentricidade $e = \frac{c}{a}$

Semi - eixo maior = a

Semi - eixo menor = b



Elipses e as 3 Leis de Kepler

- ❖ **1 Lei:** As órbitas dos planetas são elípticas com o Sol em um de seus focos.
- ❖ **2 lei:** A linha reta que liga o planeta ao Sol varre áreas iguais em tempos iguais.
- ❖ **3 lei:** Os quadrados dos períodos de revolução de dois planetas quaisquer estão para si como os cubos de suas distâncias médias ao Sol

TRADUZINDO!

- ❖ 1 lei: As órbitas planetárias são **elípticas**
- ❖ 2 lei: Os planetas se movem com **velocidades diferentes**, de acordo com sua **distância** em relação ao **Sol**.
- ❖ 3 lei: Há uma relação entre a **distância do planeta** ao **Sol** e seu período de **Translação**

Referências Bibliográficas

- ❖ ZANETIC, J. *Gravitação, Notas de Aula: 1 e 3 partes*. IFUSP: 2 semestre\2013
- ❖ KOYRÉ, A. *Estudos Galilaicos*. Lisboa: G Quixote. 1986
- ❖ GALILEU. *Duas Novas Ciências*. São Paulo: Nova Stella.
- ❖ GALILEU. *Diálogo sobre os dois máximos sistemas do mundo ptolomaico e copernicano*. São Paulo: Discurso Editorial e Fapesp
- ❖ KUHN, T. *A Estrutura das Revoluções Científicas*. São Paulo: Perspectiva. 1975
- ❖ KLINE, M. *Mathematics and the Physical World*. New York: Dover Publications, Inc. 1959