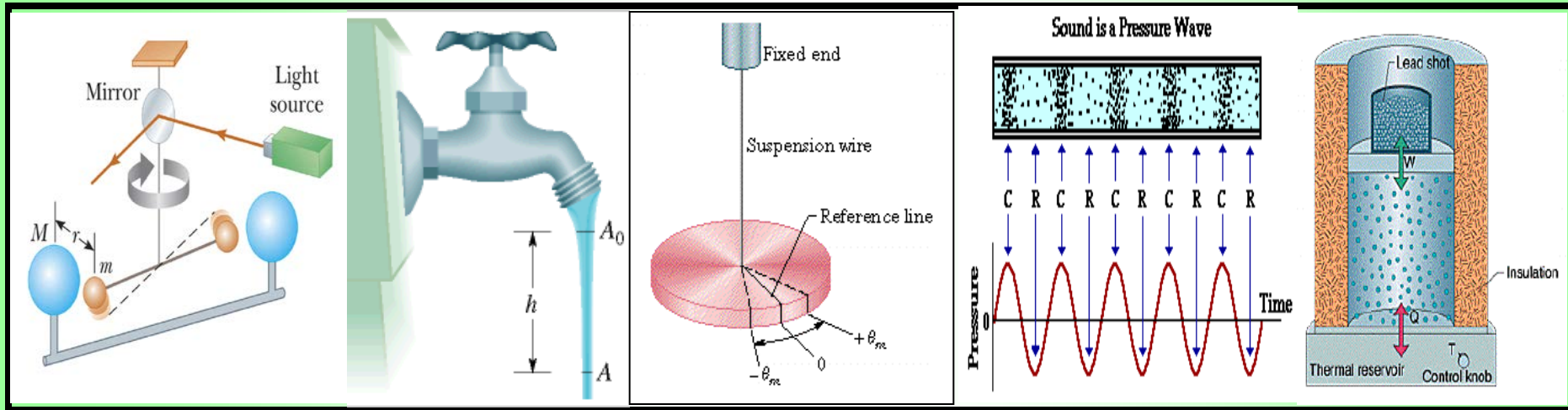


Física Geral II – F 228



Departamento de Física da Matéria
Condensada (DFMC)

IFGW - UNICAMP



1 - Ementa

Gravitação, Equilíbrio, Elasticidade, Fluidos, Oscilações, Ondas, Temperatura, Calor, 1ª lei da Termodinâmica, Teoria cinética dos gases, Entropia e 2ª lei da termodinâmica.

2 – Bibliografia

- o Notas de aula (disponíveis no moodle de disciplina)
- o Livro: Fundamentos da Física, vol. 2 (9ª edição); Halliday, Resnick e Walker.
- o Livro: Física para Universitários; Bauer, Westfall e Dias.
- o Livro: Curso de Física Básica 2 – H. M. Nussenzweig

3 – Estrutura do curso

As aulas serão apresentadas por videoconferência, preferencialmente pelo Google Meet. Estas aulas serão divididas, alternadamente, em:

- o **Aulas magnae:** aula conceitual sobre o conteúdo da disciplina.
- o **Aulas exploratórias:** aprofundamento do conteúdo das aulas magnae através de discussões e resolução de problemas.

4 – Site da disciplina: <https://moodle.ggte.unicamp.br/>

Para ter acesso ao conteúdo do site, use sua **senha e o login da DAC**. Todas as informações do curso, incluindo as atividades pré e pós-aula, vídeos, aulas magnae, fóruns, notas, etc. estarão disponíveis no endereço acima.

- o ***As atividades Pré-Aula*:** antes de cada aula magna (ver "Cronograma de Atividades do Moodle") deverá ser realizada a atividade Pré-Aula sobre o assunto, consistindo de **10 exercícios de múltipla escolha**.
- o ****Atividades Pós-Aula**:** após cada aula magna (ver "Cronograma de Atividades do Moodle") deverá ser realizada a atividade Pós-Aula, consistindo de **5 problemas**.
- o Contato para o Moodle – Prof. Oscar: ofdelima@ifi.unicamp.br

5 – Critério de avaliação

- o Serão realizadas 3 provas ao longo do semestre (P1, P2 e P3), contendo 5 questões de múltipla escolha e 5 problemas, cada.
- o A média das avaliações (M) será calculada levando em consideração a média das atividades pré-aula (PRE) e a média as atividades pós-aula (POS):

$$M = \frac{2,2 P1 + 2,2 P2 + 2,2 P3 + 1,7 PRE + 1,7 POS}{10}$$

- o **O aluno que obtiver $M \geq 6,0$ estará aprovado e sua média final (MF) será $MF=M$**
- o O aluno que obtiver $M < 6,0$ deverá fazer o exame (E) e sua média final será

$$MF = \frac{M + E}{2}$$

Se $MF \geq 5,0$ o aluno estará aprovado. Se $MF < 5,0$ o aluno estará reprovado.

- o **O aluno que obtiver $M < 2,0$ nas avaliações estará automaticamente reprovado, sem o direito de realizar o Exame.**
- o As datas das provas são:

Prova	Data
P1	26/04
P2	24/05
P3	05/07
Exame	21/07

6 – Observações importantes

- As provas serão realizadas no horário de aula, respondendo um Questionário on-line.
- **Não haverá mudanças nas datas das provas.**
- Em caso de impossibilidade justificada (de acordo com o regimento da universidade) para realização de qualquer uma das provas, o exame será usado como prova substitutiva.

7 – Regras de Pré e Pós aula no Moodle

Pré-aula

- Disponível 5 dias antes de cada aula magna ;
- 3 horas para realização da atividade;
- 3 tentativas permitidas.

Pós-aula

- Disponível por 5 dias após cada aula magna;
- 5 horas para realização da atividade;
- 3 tentativas permitidas.

Aula-1

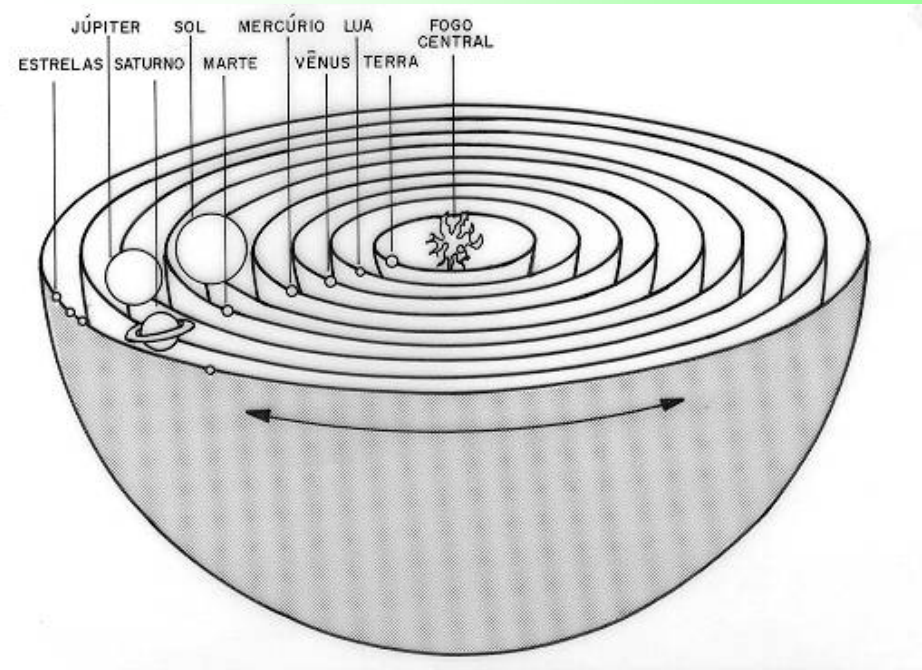
Gravitação

Física Geral II - F 228
1º semestre, 2021

Olhando o céu...

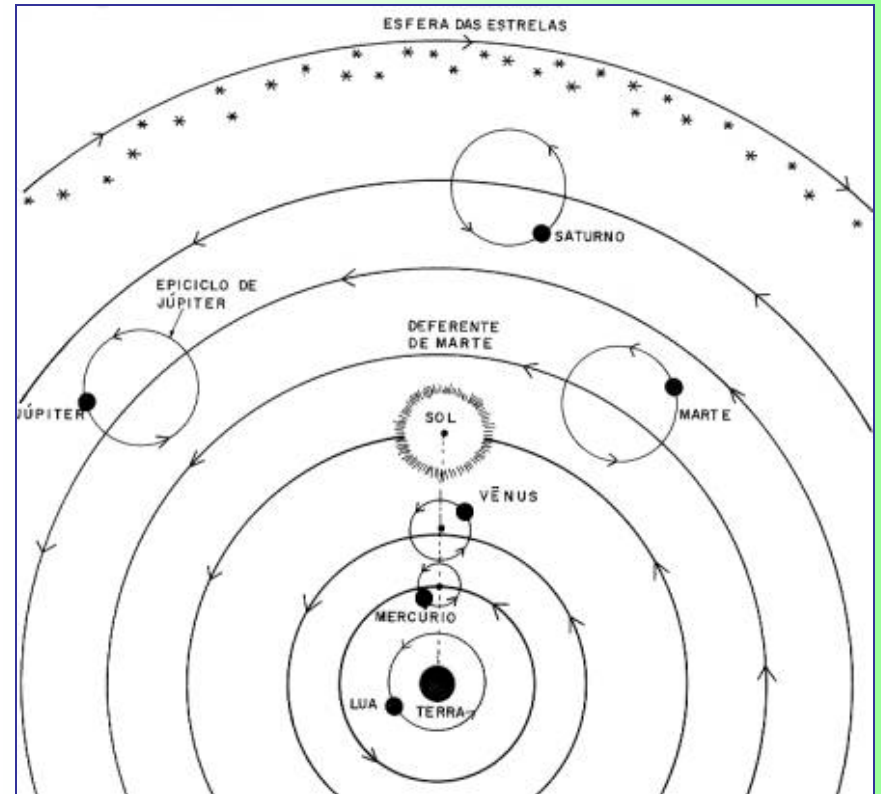
- Desde a antiguidade (Grécia) dois problemas preocupavam a humanidade:
 - A queda dos corpos na Terra
 - O movimento dos astros celestes: planetas, Sol, Lua....

- *Platão e Eudoxo*
(séc. IV e III a.C.):
Esferas Celestes



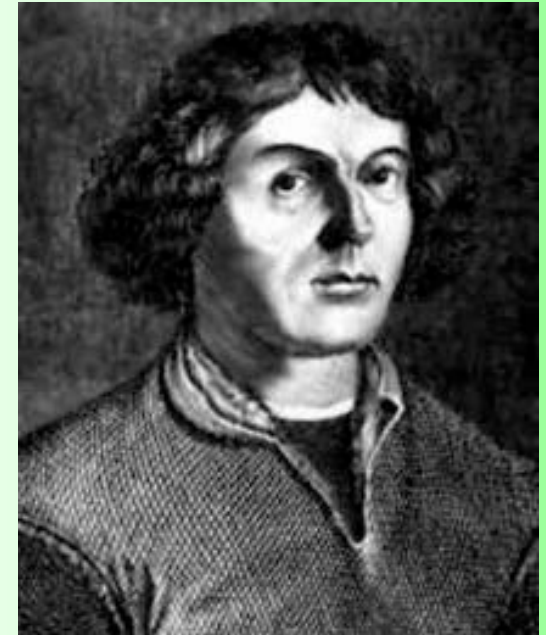
Ptolomeu

- *Claudius Ptolemaeus* (2º séc. a.C., grego) propôs o sistema geocêntrico (centrado na Terra) para o movimento dos planetas do sistema solar.



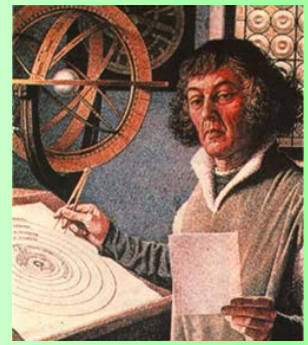
Copérnico

- *Nikolaus Kopernikus* (1473-1543, polonês) viveu na época do Renascimento e da Reforma Religiosa; período de questionamento das ideias anteriormente aceitas;
- As navegações exigiam dados mais precisos que os do sistema de Ptolomeu;
- Trabalhando com dados astronômicos da antiguidade propôs o sistema heliocêntrico (centrado no Sol) para explicar o movimento dos planetas do sistema solar.

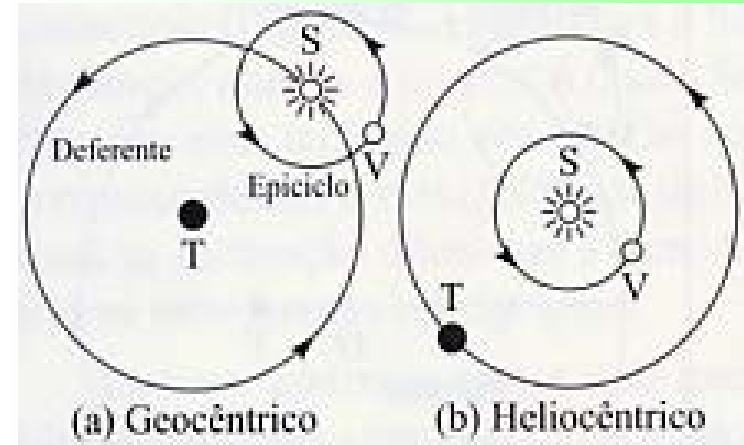




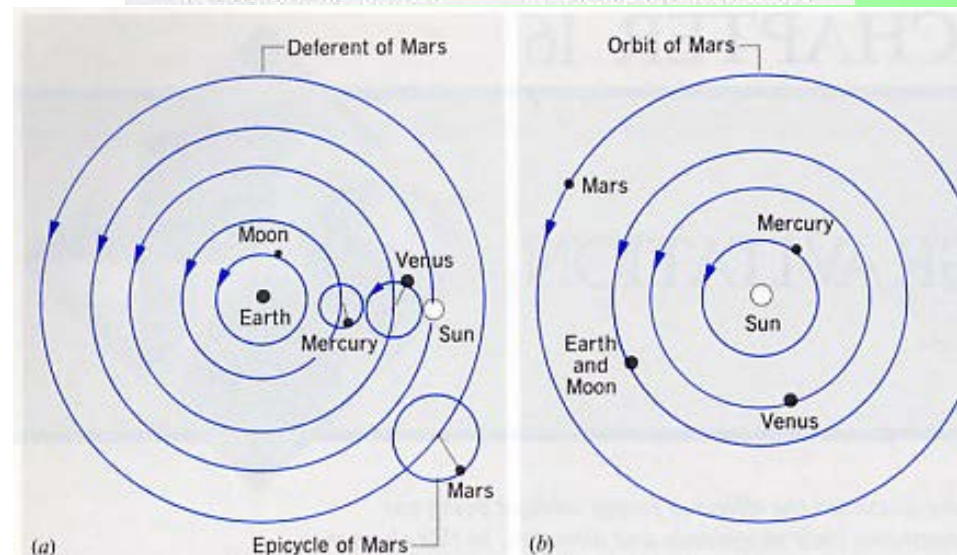
Ptolomeu X Copérnico



- *Ptolomeu* (2^o séc. a.C., grego):
Sistema geocêntrico; *epiciclos*
e *deferentes*



- *Copérnico* (1473 - 1543, polonês): Sistema heliocêntrico

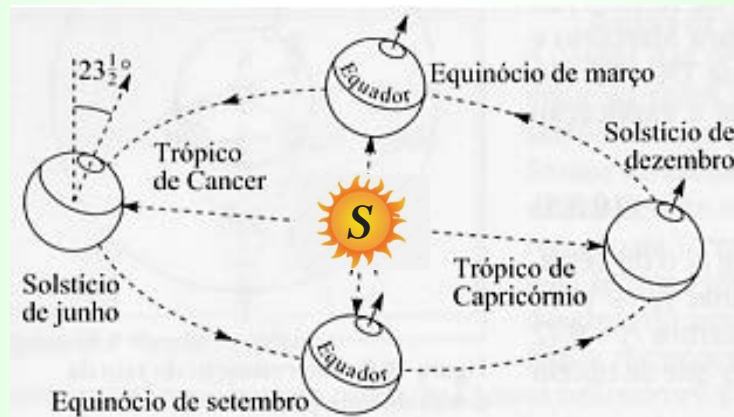


Copérnico

- Copérnico* introduziu a escala relativa de distâncias no sistema solar. A distância Sol-Terra (r_T) é hoje a **unidade astronômica (U.A.)**.

Planeta	Raio médio da órbita em U.A. ($r_T = 1\text{U.A.}$)	
	Copérnico	Atual
Mercúrio	0,3763	0,3871
Vênus	0,7193	0,7233
Marte	1,5198	1,5237
Júpiter	5,2192	5,2028
Saturno	9,1743	9,5388

- Explicou as estações: O eixo da Terra tem uma direção fixa no espaço (**$23,5^\circ$ com a normal**); é verão no hemisfério sul quando o Sol está mais próximo do Trópico de Capricórnio.



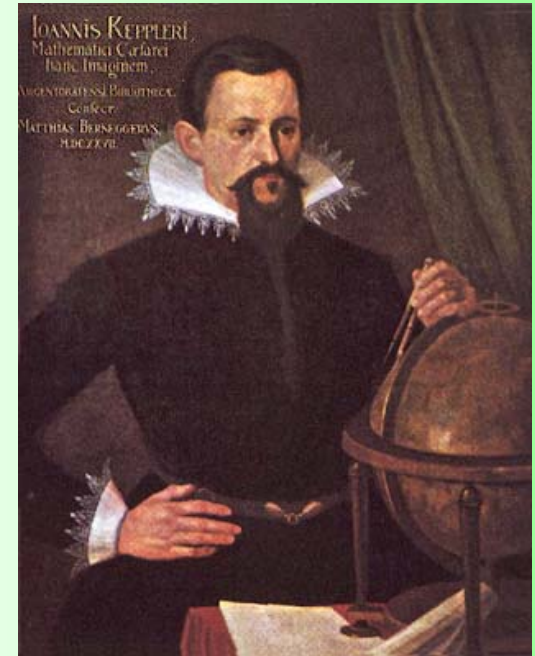
Tycho Brahe

- *Tycho Brahe* (1546 -1601, astrônomo dinamarquês), fez suas primeiras observações no século 16.
- Montou um grande observatório em *Uraniborg*, na ilha de Ven (entre a Dinamarca e Suécia) com o apoio do rei Frederico II (da Dinamarca).
- Suas observações eram feitas a olho nu, porém com instrumentos de grandes proporções e de alta precisão.



Kepler

- *Johannes Kepler* (1571 - 1630, alemão) foi assistente de *Tycho Brahe* e seu sucessor no observatório.
- Após 4 anos de trabalhos, mostrou que se usasse o Sol como centro do sistema planetário obtinha melhor acordo com a experiência.
- Porém, o planeta Marte apresentava um problema.....



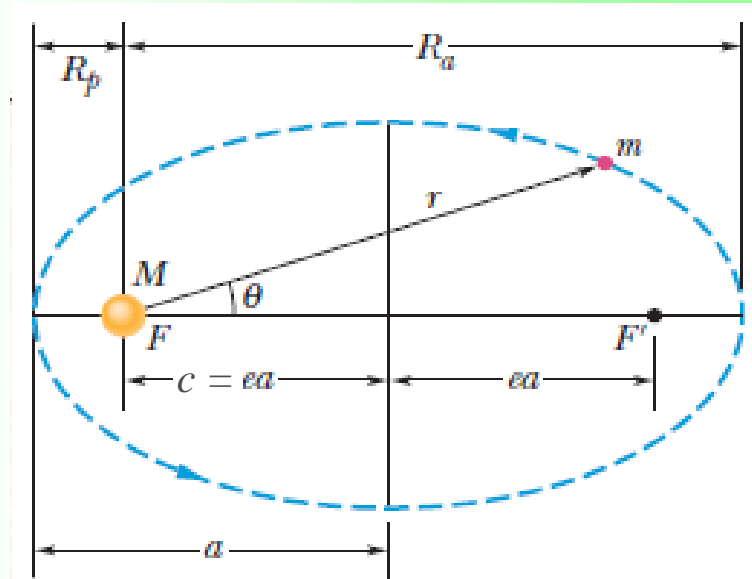
Kepler

... ao ajustar uma órbita circular para Marte ocorria um erro de 8 minutos de arco. Mas as medidas de *Tycho Brahe* eram precisas em pelo menos 4 minutos de arco;

- Este erro era muito pequeno, porém motivou *Kepler* a criar um novo modelo planetário;
- *Kepler* trabalhou por dois anos e **abandonou** ideias pré – concebidas, como as **órbitas circulares** do modelo platônico.
- O resultado foi que a órbita de Marte seria uma **elipse**, com o **Sol em um dos seus focos**. Este mesmo resultado valeria para os outros planetas.

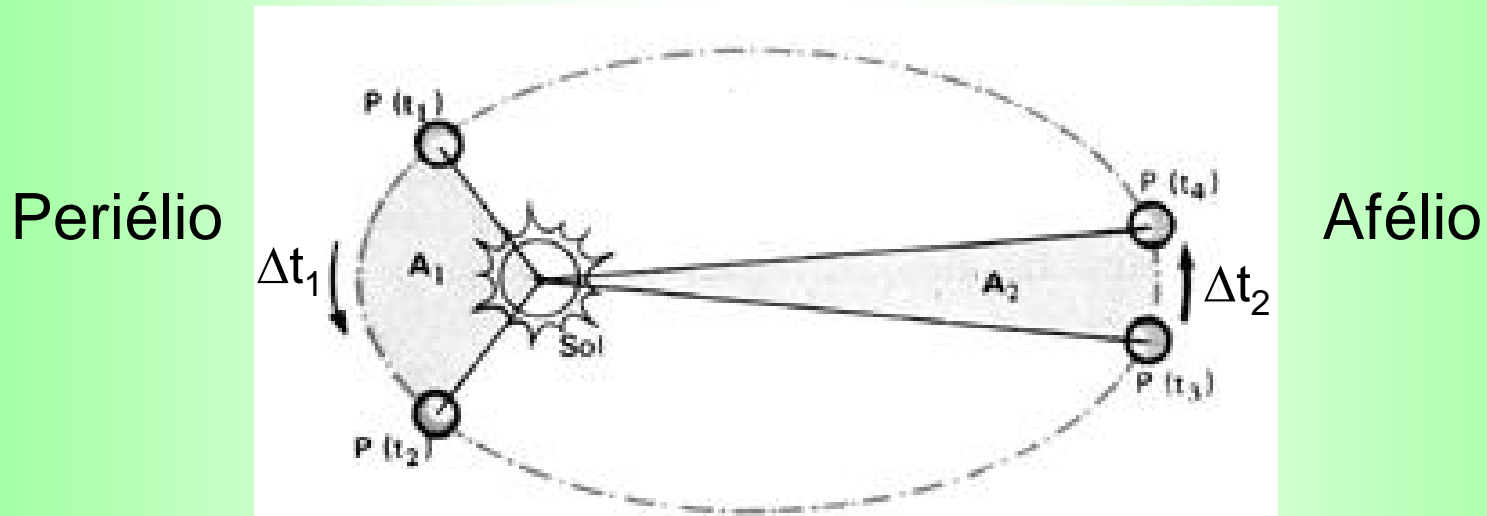
As Leis de Kepler

- 1ª lei de Kepler (lei das órbitas):
 - “As órbitas descritas pelos planetas ao redor do Sol são elipses, com o Sol num dos seus focos”.
- A razão $e = c/a$ chama-se excentricidade. Se $e = 0$ temos uma órbita circular. (Para a figura acima: $e \approx 0,74$!)



Planeta	e
Mercúrio	0,206
Vênus	0,007
Terra	0,017
Marte	0,093
Júpiter	0,048
Saturno	0,056

As Leis de Kepler



- 2ª Lei de Kepler (lei das áreas): $\Delta t_1 = \Delta t_2 \leftrightarrow A_1 = A_2$
 - O raio vetor que liga um planeta ao Sol descreve áreas iguais em tempos iguais.
- Órbita maior no Periélio (perto do Sol) que no Afélio;
- As duas primeiras leis foram publicadas no livro “Astronomia Nova” (1609).

As Leis de Kepler

- 3ª Lei de Kepler (lei dos períodos):
 - Os quadrados dos períodos de revolução de dois planetas estão entre si como os cubos de suas distâncias ao Sol.
- Sejam T_1 e T_2 os períodos e R_1 e R_2 os raios, então:

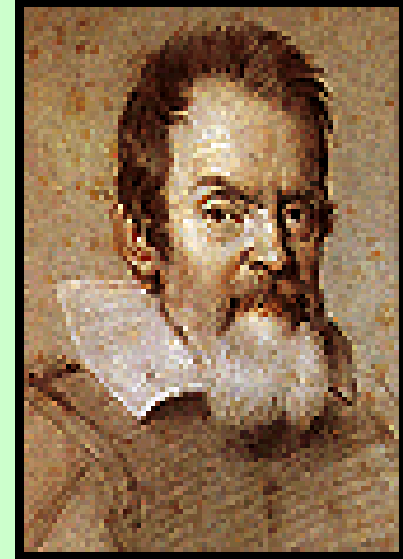
$$\left(\frac{T_1}{T_2} \right)^2 = \left(\frac{R_1}{R_2} \right)^3 \rightarrow \frac{T_1^2}{R_1^3} = \frac{T_2^2}{R_2^3} = \frac{T^2}{R^3}$$

Órbitas em torno do Sol. T^2/R^3 em $\text{ano}^2/(\text{U.A.})^3$

Planeta	Valores de Copérnico			Valores atuais		
	T (anos)	R (U.A.)	T^2/R^3	T (anos)	R (U.A.)	T^2/R^3
Mercúrio	0,241	0,38	1,06	0,241	0,387	1,00
Vênus	0,614	0,72	1,01	0,615	0,723	1,00
Marte	1,881	1,52	1,01	1,881	1,524	1,00
Júpiter	11,8	5,2	0,99	11,862	5,203	1,00
Saturno	29,5	9,2	1,12	29,457	9,539	1,00

1 U.A. = $R_{TS} \approx 1,5 \times 10^{11}$ m

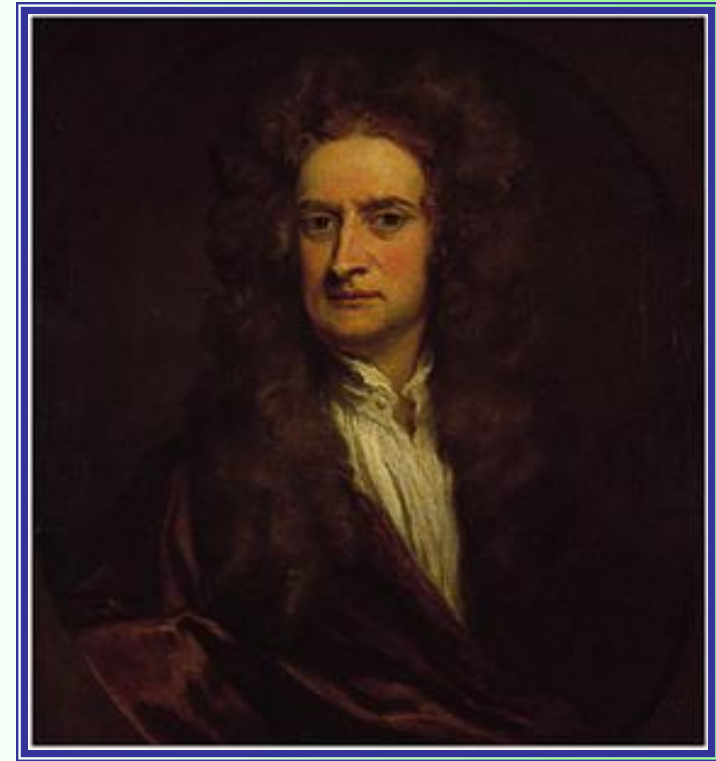
Galileu



- *Galileu Galilei* (1564-1642) construiu em 1609 um telescópio que ampliava de um fator 1000 o poder de observação;
- Descobriu que o planeta Júpiter tinha quatro luas;
- Notou que Júpiter apresentava fases, como a lua, concluindo que não tinha luz própria;
- Em 1632 publicou um livro, onde defendia o ponto de vista de Copérnico em oposição ao de Ptolomeu;
- Em 1633 Galileu foi julgado pela Igreja Católica e obrigado a renegar seus “erros e heresias”. Foi condenado à prisão domiciliar. Neste período, de 9 anos, até sua morte, escreveu secretamente “Diálogos sobre Duas Novas Ciências”. Em 1992 (30 anos atrás!) a igreja católica reconheceu publicamente seu erro no julgamento de Galileu (quase 400 anos atrás!).

Newton

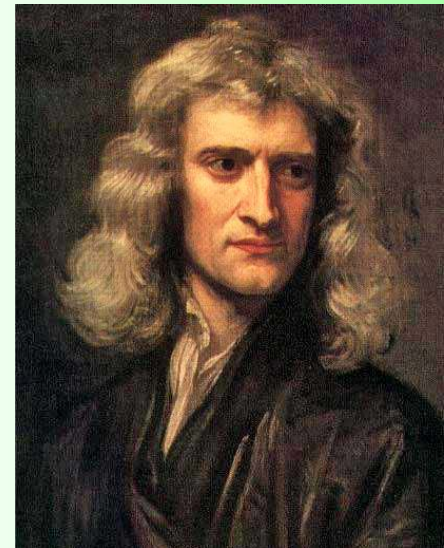
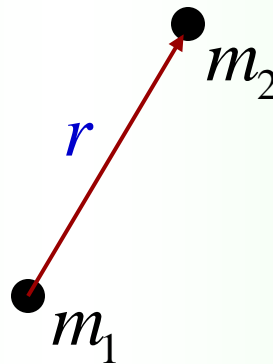
- *Isaac Newton* (1642 - 1727) se formou em 1665 (Cambridge). Neste ano uma peste se alastrou por Londres matando cerca de 70.000 pessoas. Em 1666 Newton foi morar na fazenda da família, em Woolthorpe.
- Nos dois anos que ficou na fazenda, Newton realizou quatro das suas principais descobertas: O teorema binomial; O cálculo; A lei da gravitação; A natureza das cores (prisma).



Lei da Gravitação de Newton

- Motivado pelas Leis de Kepler e pela queda de corpos na superfície da Terra (ex: maçã!), Newton propôs (1686) que dois corpos exerceriam, um no outro, uma força de atração diretamente proporcional ao produto de suas massas e inversamente proporcional ao quadrado de sua distância de separação. A Lei pode então ser expressa usando uma constante de proporcionalidade G (constante de gravitação universal):

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

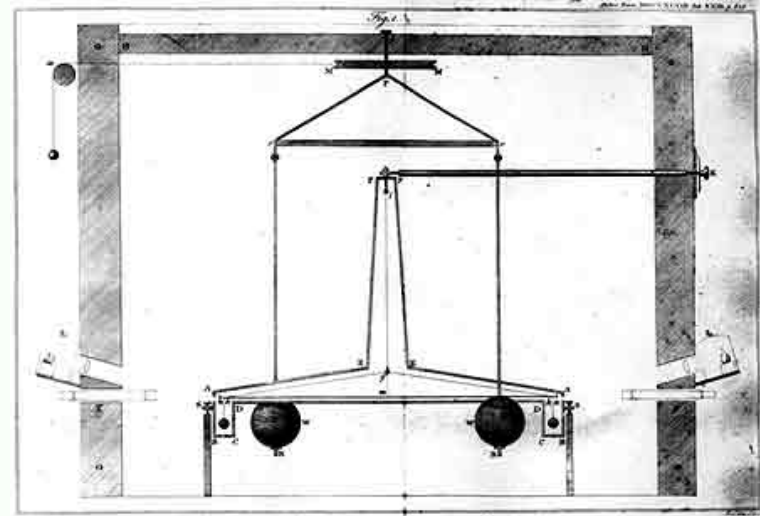
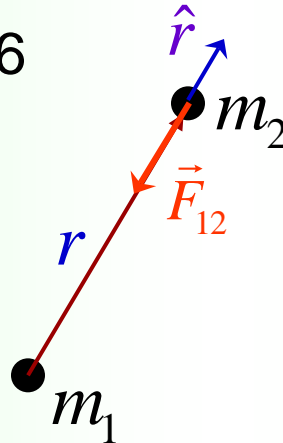


Medida de G : Experimento de Cavendish

- A força é fraca e difícil de medir. Cavendish chamou sua experiência de “pesagem da Terra”.

➤ Teoria (I. Newton): 1686

$$\vec{F}_{12} = -\frac{GMm}{r^2} \hat{r}$$

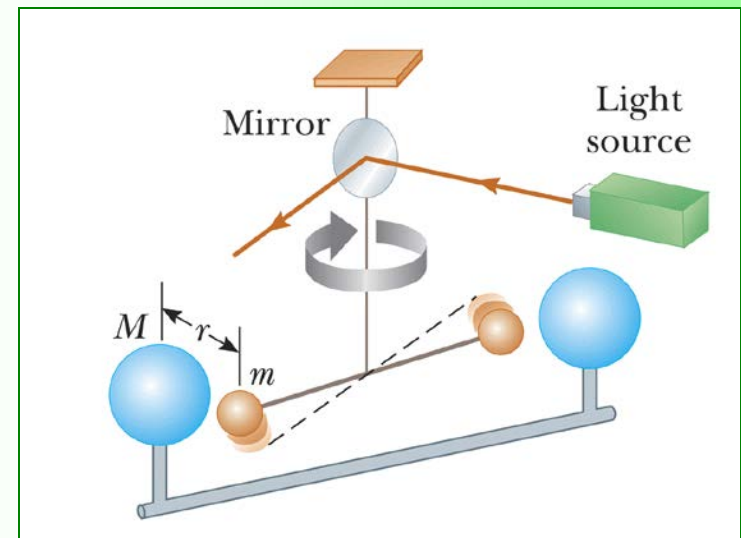


➤ Experimento (H. Cavendish): 1798

$$G = 6,74 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$$

$$G = 6,6743 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2} \text{ (atual)}$$

O ângulo é medido pela deflexão do feixe de luz incidente num espelho.

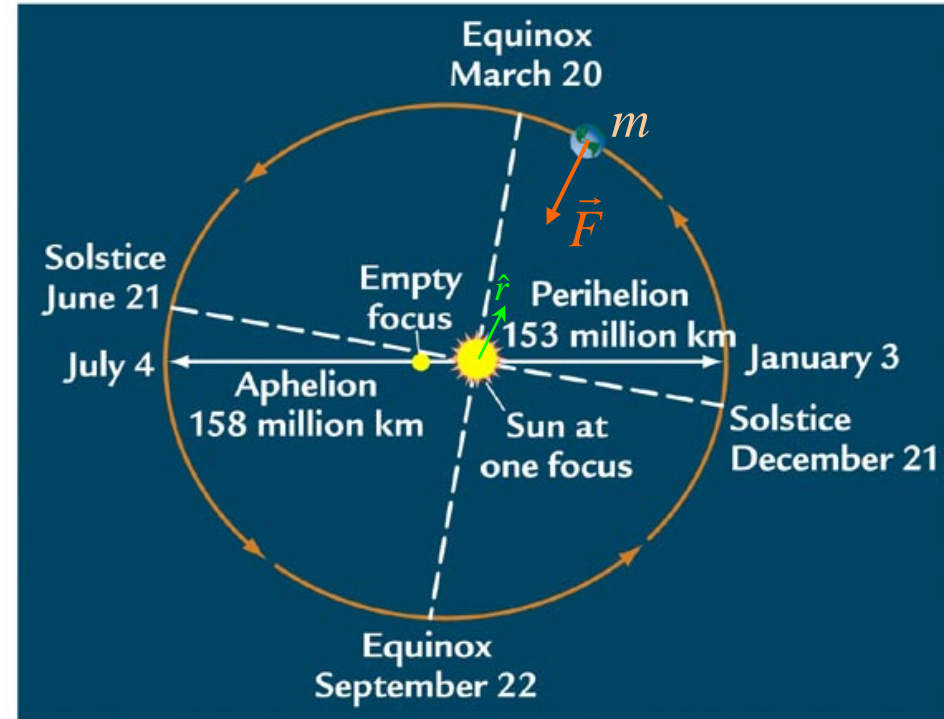


Lei da Gravitação

- Algumas órbitas de planetas e satélites são elipses com excentricidades pequenas, podendo ser aproximadas por órbitas circulares.
- Podemos considerar a força de atração gravitacional como uma força centrípeta!

$$\vec{F}_c = m\vec{a}_c ; \quad \vec{a}_c = -\frac{v^2}{r}\hat{r}$$

$$\vec{F} = -\frac{GMm}{r^2}\hat{r}$$



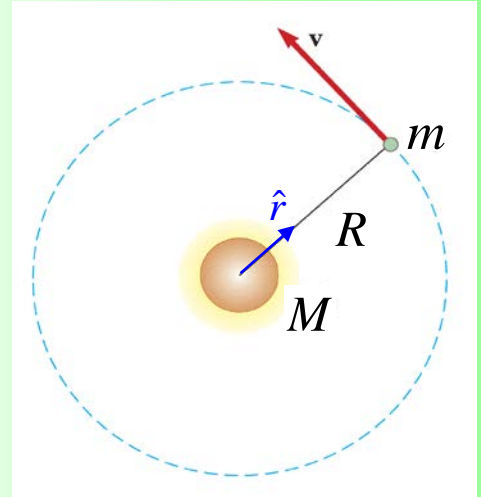
$$|\vec{F}| = |\vec{F}_c| \rightarrow a_c = \frac{GM}{r^2}$$

a_c : Aceleração da gravidade

Inverso do Quadrado da Distância

- Em órbita circular a 2ª Lei de Kepler (das áreas) implica em um movimento circular uniforme. Neste caso a aceleração é centrípeta e fica:

$$\vec{a}_c = -\frac{v^2}{R} \hat{r} = -\omega^2 R \hat{r} = -4\pi^2 \frac{R}{T^2} \hat{r}$$



- Sendo m a massa do planeta, a 2ª lei de Newton nos dá a

força atrativa: $\vec{F}_m = m\vec{a}_c = -4\pi^2 m \frac{R}{T^2} \hat{r} \times \frac{R^2}{R^2} = 4\pi^2 \frac{m}{R^2} \times \frac{R^3}{T^2} \hat{r} \rightarrow$

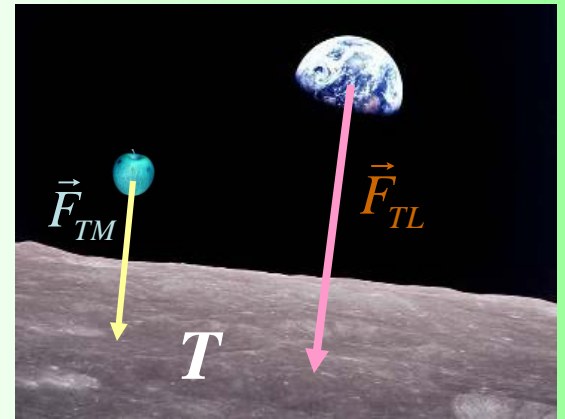
- Da 3ª lei de Kepler: $\frac{R^3}{T^2} = C = cte$

$$\rightarrow \vec{F}_m = -4\pi^2 C \frac{m}{R^2} \hat{r} \xrightarrow{\text{Ação \& Reação}} \boxed{F_m = F_M = G \frac{mM}{R^2}}$$

$$G = \frac{4\pi^2 C}{M} \approx 6,6 \times 10^{-11} \frac{\text{Nm}^2}{\text{kg}^2} \Rightarrow \text{Constante universal}$$

A Lua e a maçã

Os módulos das forças ficam:



$$\left| \vec{F}_{TM} \right| = G \frac{m_M M_T}{R_T^2} \quad ; \quad \left| \vec{F}_{TL} \right| = G \frac{m_L M_T}{R_{TL}^2} \quad ; \quad \left| \vec{F}_{LM} \right| = G \frac{m_L m_M}{R_L^2}$$

Em termos das acelerações: $F = ma$

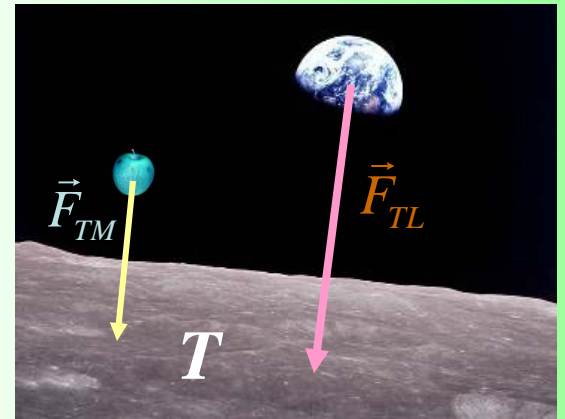
$$a_{TM} = g = \frac{G M_T}{R_T^2} \quad ; \quad a_{TL} = \frac{G M_T}{R_{TL}^2} \quad ; \quad a_{LM} = \frac{G m_L}{R_L^2}$$

Daí:

$$\frac{g}{a_{TL}} = \left(\frac{R_{TL}}{R_T} \right)^2 \quad ; \quad \frac{g}{a_{LM}} = \frac{M_T}{m_L} \left(\frac{R_L}{R_T} \right)^2$$

A Lua e a maçã

$$\frac{g}{a_{TL}} = \left(\frac{R_{TL}}{R_T} \right)^2 ; \quad \frac{g}{a_{LM}} = \frac{M_T}{m_L} \left(\frac{R_L}{R_T} \right)^2$$



A razão entre as acelerações, com dados de hoje:

$$R_T = 6,37 \times 10^6 \text{ m} ; \quad R_L = 1,74 \times 10^6 \text{ m} ; \quad R_{TL} \approx 3,82 \times 10^8 \text{ m}$$

$$M_T = 5,98 \times 10^{24} \text{ kg} ; \quad m_L = 7,36 \times 10^{22} \text{ kg}$$

$$\frac{g}{a_{TL}} = \left(\frac{R_{TL}}{R_T} \right)^2 = \left(\frac{3,82 \times 10^8}{6,37 \times 10^6} \right)^2 \approx 3596 \quad \longrightarrow \quad g \approx 3600 \times a_{TL}$$

$$\frac{g}{a_{LM}} = \frac{M_T}{m_L} \left(\frac{R_L}{R_T} \right)^2 = \frac{5,98 \times 10^{24}}{7,36 \times 10^{22}} \left(\frac{1,74 \times 10^6}{6,37 \times 10^6} \right)^2 \approx 6,06$$

$$\longrightarrow \quad g \approx 6 \times a_{LM}$$

A partir das Leis de Newton :

Qual é a massa da Terra?

- O raio da Terra é conhecido desde as medidas do grego *Eratóstenes* (276 a.C. - 197 a.C.):

$$R_T = 6,37 \times 10^6 m$$

- Outro resultado de medida: $g = 9,81 \text{ ms}^{-2}$

$$F_m = G \frac{m M_T}{R_T^2} = mg$$



$$g = \frac{G M_T}{R_T^2}$$



$$M_T = g \frac{R_T^2}{G} = 9,81 \frac{(6,37 \times 10^6)^2}{6,67 \times 10^{-11}} \approx 5,97 \times 10^{24} \text{ kg}$$

A partir das Leis de Newton :

Quanto dura o ano terrestre?

$$F_{ST} = G \frac{M_s m_T}{r^2} = m_T \frac{v^2}{r} = m_T \left(\frac{2\pi r}{T} \right)^2 \times \frac{1}{r}$$

$$\rightarrow T = \frac{2\pi r^{3/2}}{\sqrt{GM_s}}$$

$$G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ m}^3\text{kg}^{-1}\text{s}^{-2}$$

$$; \quad M_{Sol} = 1,989 \times 10^{30} \text{ kg}$$

$$r_{Sol-Terra} = 1,496 \times 10^{11} \text{ m}$$

(raio médio da órbita da Terra)

$$T = 3,16 \times 10^7 \text{ s} \approx 365,7 \text{ dias}$$

➔ 3ª lei de Kepler:

Resultado anterior para o ano terrestre:

$$T = \frac{2\pi r^{3/2}}{\sqrt{GM_s}}$$



Reescrevendo:

$$\frac{T^2}{r^3} = \frac{4\pi^2}{GM_s} = cte!$$

➡ 2ª Lei de Kepler

(Lei das áreas)

- Força gravitacional entre dois corpos, p. ex., Sol e Terra:

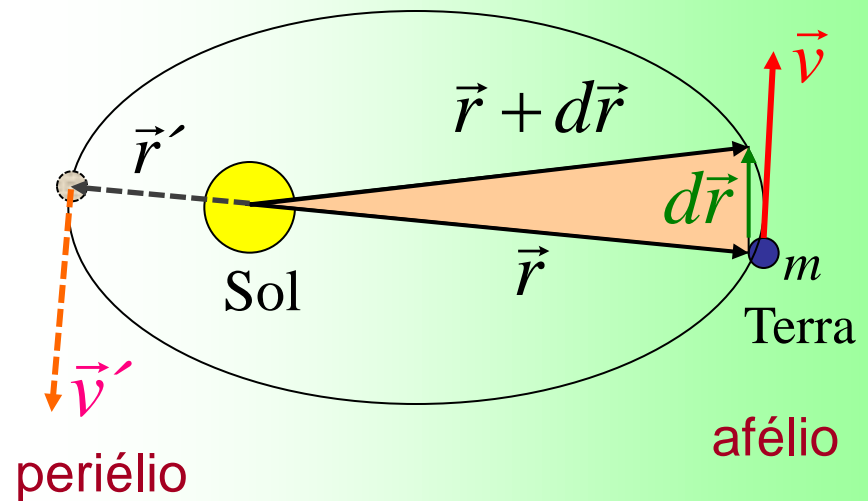
$$\vec{F}(\vec{r}) = -\frac{GMm}{r^2} \hat{r}$$

- Como força gravitacional é do tipo central o momento angular da Terra se conserva. Daí (tomando o Sol como referencial):

$$\vec{L} = \vec{r} \times \vec{p} = \vec{r} \times m\vec{v} \quad ;$$

$$\vec{\tau} = \frac{d\vec{L}}{dt} = 0 \rightarrow \vec{L} = \text{Cte.}$$

$$\rightarrow mrv_{\perp} = mr'v'_{\perp}$$

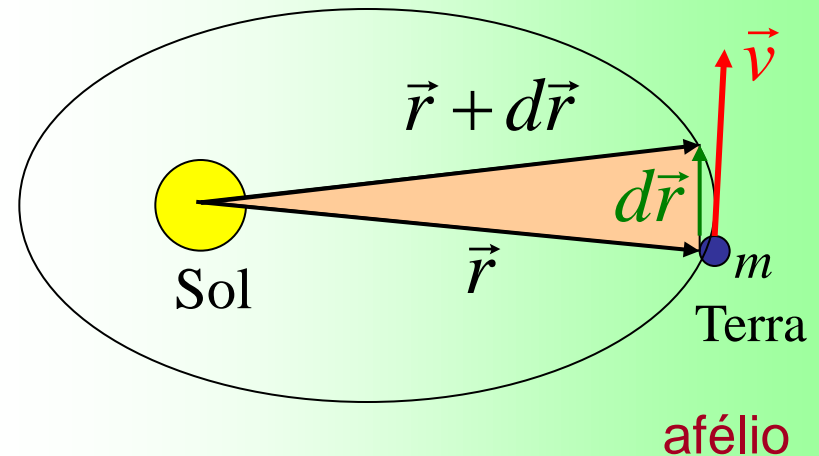


➡ 2ª Lei de Kepler

(Lei das áreas)

Área do triângulo colorido:

$$d\vec{A} = \frac{1}{2} (\vec{r} \times d\vec{r})$$



$$\frac{d\vec{A}}{dt} = \frac{1}{2m} \vec{r} \times m \overbrace{\frac{d\vec{r}}{dt}}^{\vec{v}} = \frac{\vec{L}}{2m} \quad \Rightarrow \quad \left| \frac{d\vec{A}}{dt} \right| = \frac{L}{2m} = Cte.$$

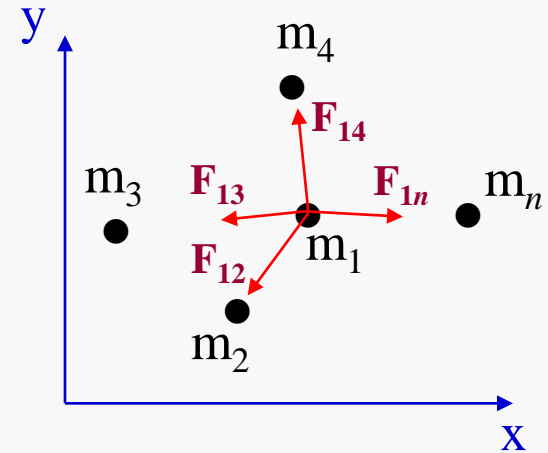
➡ “O raio vetor que liga um planeta ao Sol descreve áreas iguais em tempos iguais”.

Gravitação e Princípio da Superposição

$$\vec{F} = -G \frac{mM}{R^2} \hat{r} \quad ; \quad G = 6,6743 \times 10^{-11} \text{ m}^3\text{kg}^{-1}\text{s}^{-2}$$

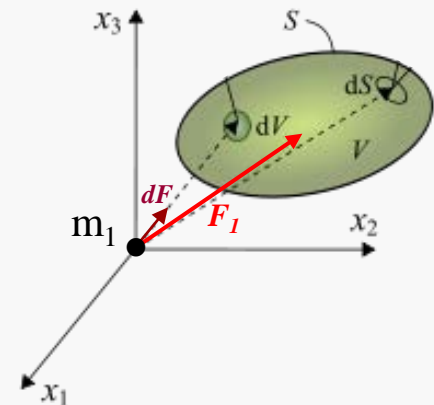
Para um conjunto de n partículas: $\vec{F}_1 = \sum_{i=2}^n \vec{F}_{1i}$

$$\mathbf{F}_1 = \mathbf{F}_{12} + \mathbf{F}_{13} + \mathbf{F}_{14} + \mathbf{F}_{15} + \dots + \mathbf{F}_{1n}$$

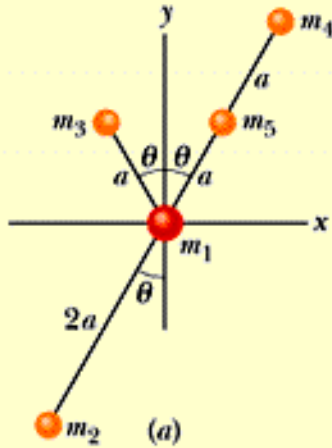


Para uma distribuição contínua de massa:

$$\vec{F}_1 = \int d\vec{F}$$



Lei da Gravitação - Exemplo



- Encontrar a força gravitacional resultante sobre a partícula 1, situada na origem.

$$m_1 = 8 \text{ kg}$$

$$m_2 = m_3 = m_4 = m_5 = m = 2 \text{ kg}$$

$$F_{R1} = ? \quad \theta = 30^\circ \quad a = 20 \text{ cm}$$

$$F_{12} = F_{14} = \frac{Gm_1m}{(2a)^2} \quad (\text{se cancelam!})$$

$$F = G \frac{mM}{R^2}$$

$$F_{13} = F_{15} = \frac{Gm_1m}{a^2}$$

F_{13x} e F_{15x}
se cancelam!

$$F_{R1} = 2F_{13y} = 2F_{13} \cos \theta = 2 \frac{Gm_1m_3}{a^2} \cos \theta$$

$$F_{R1} = 2 \frac{(6,67 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2})(8,0 \text{ kg})(2,0 \text{ kg})}{(0,20 \text{ m})^2} \cos 30^\circ$$

$$F_{R1} = 4,6 \times 10^{-8} \text{ N}$$