

Laboratório de Mecânica
4300254
9ª Aula

Nemitala Added

nemitala@if.usp.br

Prédio novo do Linac, sala 204, r. 6824

Experimento 5

Forças Centrais

Leis de conservação

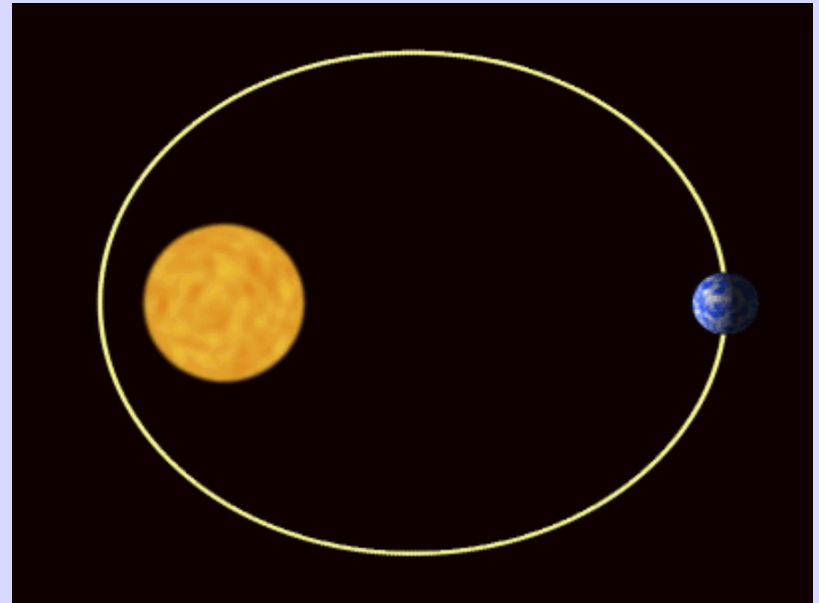
Momento Angular

Força Central

Energia mecânica

Cinética e potencial

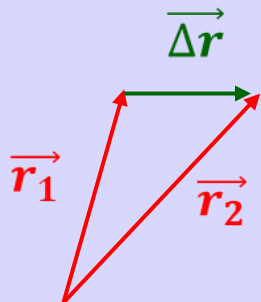
Sistema isolado



As órbitas dos planetas no sistema solar são explicadas por forças centrais?

Forças Centrais

Vetores r definem posição do corpo



origem

Sistema de coordenadas

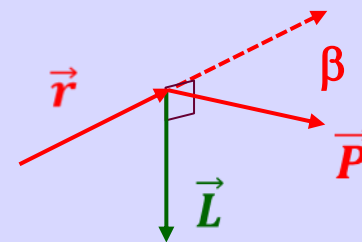
$$\vec{v} = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}$$

Quantidade momento linear $\vec{P} = m \vec{v}$

Momento angular

$$\vec{L} = \vec{r} \times \vec{P}$$

$$L = r P \sin \beta$$



Torque

$$\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F} = \frac{d\vec{L}}{dt}$$

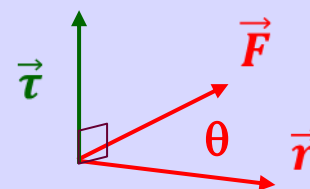
Definição

$$\vec{F} = F(r) \hat{e}_r$$

$$\vec{r} = r \hat{e}_r$$

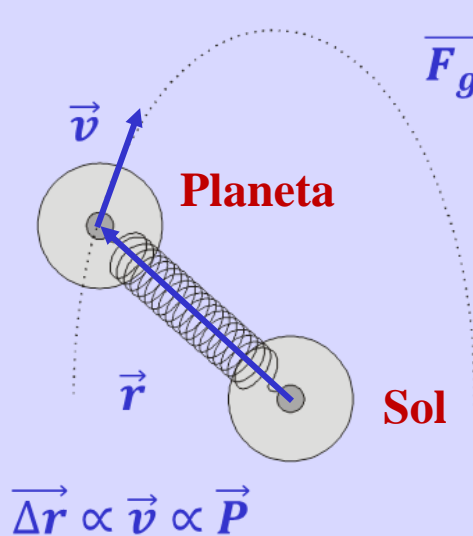
Se r e F tem mesma direção

Torque nulo = momento angular se conserva



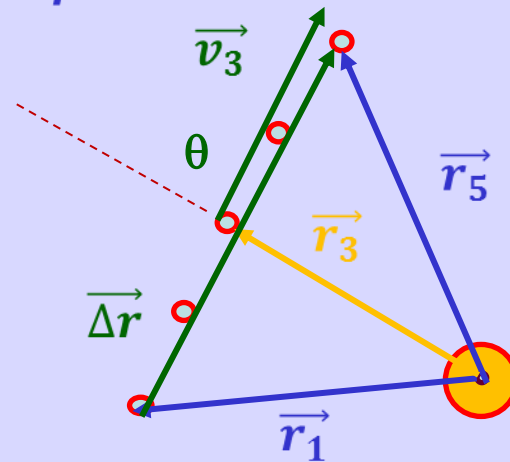
Forças Centrais

“Arranjo experimental”



Intervalos de 5 pontos

- r_1 – distância ponto inicial
- r_5 – distância ponto final
- Δt – definido simulação
- v_3 – velocidade no ponto 3
- r_3 – ponto médio (tempo)



Velocidade média corresponde velocidade instantânea no instante médio do intervalo

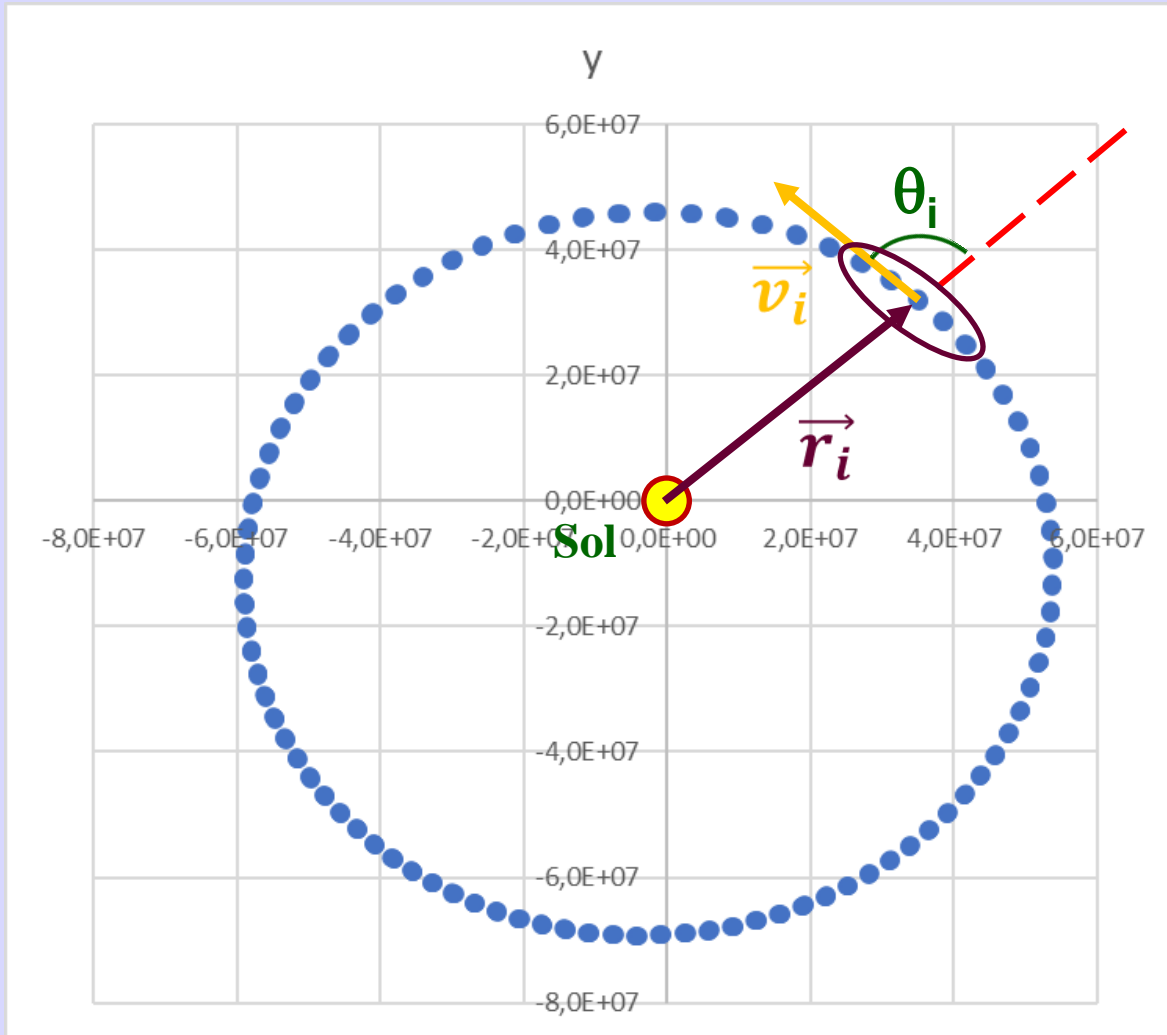
$$\vec{v}_{\frac{t_1+t_5}{2}} = \vec{v}_3 = \frac{\vec{r}_5 - \vec{r}_1}{\Delta t}$$

$$\vec{P}_3 = m_{plan} \vec{v}_3$$

$$\vec{L}_3 = \vec{r}_3 \times \vec{P}_3$$

$$L_3 = r_3 P_3 \sin \theta_{rP}$$

Forças Centrais



Conservação

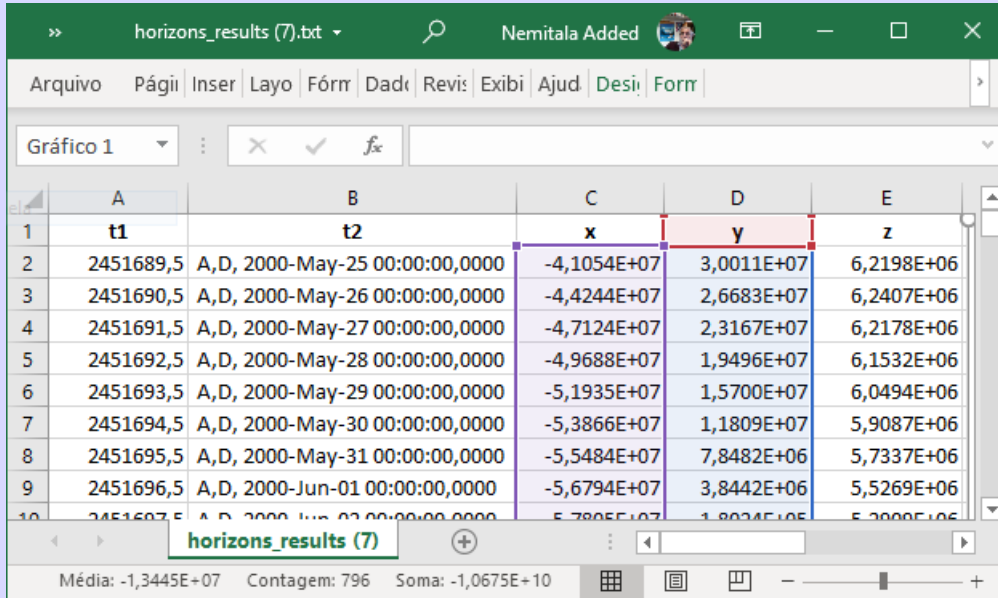
Momento angular
Energia

$$\vec{L}_i = \vec{r}_i \times \vec{P}_i$$

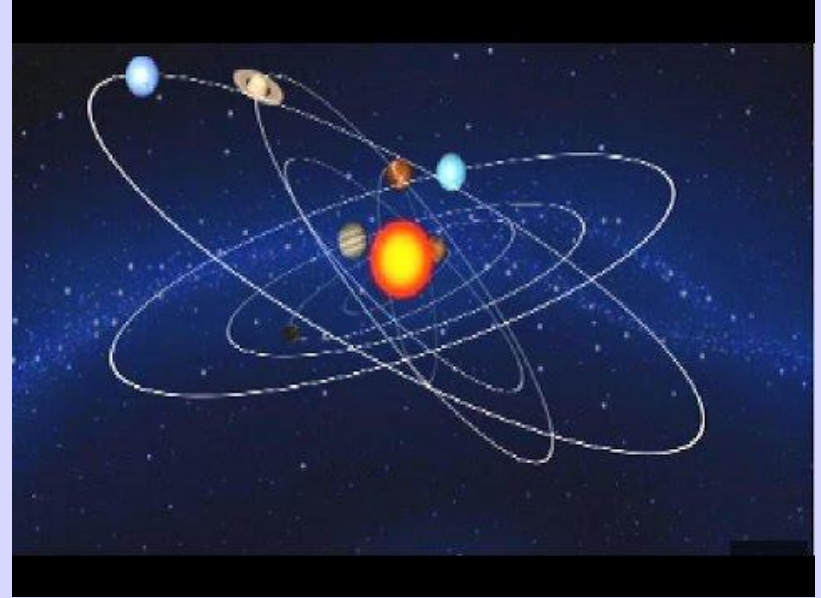
$$\vec{L}_i = m \vec{r}_i \times \vec{v}_i$$

$$L_i = m r_i v_i \sin \theta_i$$

Órbitas



	A	B	C	D	E
1	t1	t2	x	y	z
2	2451689,5	A,D, 2000-May-25 00:00:00,0000	-4,1054E+07	3,0011E+07	6,2198E+06
3	2451690,5	A,D, 2000-May-26 00:00:00,0000	-4,4244E+07	2,6683E+07	6,2407E+06
4	2451691,5	A,D, 2000-May-27 00:00:00,0000	-4,7124E+07	2,3167E+07	6,2178E+06
5	2451692,5	A,D, 2000-May-28 00:00:00,0000	-4,9688E+07	1,9496E+07	6,1532E+06
6	2451693,5	A,D, 2000-May-29 00:00:00,0000	-5,1935E+07	1,5700E+07	6,0494E+06
7	2451694,5	A,D, 2000-May-30 00:00:00,0000	-5,3866E+07	1,1809E+07	5,9087E+06
8	2451695,5	A,D, 2000-May-31 00:00:00,0000	-5,5484E+07	7,8482E+06	5,7337E+06
9	2451696,5	A,D, 2000-Jun-01 00:00:00,0000	-5,6794E+07	3,8442E+06	5,5269E+06
10	2451697,5	A,D, 2000-Jun-02 00:00:00,0000	-5,7895E+07	1,8034E+06	5,3005E+06



x, y, z para um sistema de eixos

Plano de órbita da Terra + Sol

Sol está no origem (0, 0, 0)

Mudança de eixos (2D)

Plano de órbita do planeta + Sol

Cálculo da distância

$$r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$$

Projetando no novo plano

$$x_{novo} = r \frac{x}{\sqrt{x^2 + y^2}} ; y_{novo} = r \frac{y}{\sqrt{x^2 + y^2}}$$

Incertezas

Conservação momento angular

$$v = \frac{\Delta r}{\Delta t} \quad \frac{\sigma_v}{v} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_{\Delta r}}{\Delta r}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{\Delta t}}{\Delta t}\right)^2} \quad P = m v \quad \frac{\sigma_P}{P} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_m}{m}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_v}{v}\right)^2}$$

$$L = r P \text{ sen}\theta \quad \frac{\sigma_L}{L} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_r}{r}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_P}{P}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{\text{sen}\theta}\right)^2} \quad \sigma_{\text{sen}\theta} = \cos\theta \sigma_\theta \text{ radianos}$$

Para facilitar (aproximação – erros pequenos)

$$x_{\text{novo}} = r \frac{x}{\sqrt{x^2 + y^2}} = \frac{x \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}}{\sqrt{x^2 + y^2}} \quad \sigma_{x_{\text{novo}}} = \frac{x_{\text{novo}}^+ - x_{\text{novo}}^-}{2}$$

$$x_{\text{novo}}^+ = \frac{f_1(+inc)}{f_2(-inc)} \quad x_{\text{novo}}^- = \frac{f_1(-inc)}{f_2(+inc)}$$

Atividades

Etapa 1

Gerar trajetória do planeta

Obter parâmetros para calcular L e energias

Medidas de Δr , r e ângulo entre r e Δr dos pontos relativos ao instante médio dos intervalos escolhidos (cada aluno escolhe intervalos distintos)

Desenhar vetores no papel milimetrado (ou equivalente)

Calcular velocidades, momentos lineares e angulares nos instantes médios dos intervalos

<https://ssd.jpl.nasa.gov/horizons.cgi#top>

Página para gerar órbitas

Tutorial para simulação no google drive

Distribuição de planetas

Grupos	Planeta	Período da órbita - ano (em relação ao da Terra)
Grupo 1	Mércurio	0,2
Grupo 2	Vênus	0,6
Grupo 3	Terra	1 (365,25 dias)
Grupo 4	Marte	1,9
Grupo 5	Júpiter	11,9
Grupo 6	Saturno	29,6
Grupo 7	Urano	83,7
Grupo 8	Netuno	165,4