Laboratório de Mecânica
4300254
10ª Aula

Nemitala Added
nemitala@if.usp.br
Prédio novo do Linac, sala 204, r. 6824

Experimento 5

Forças Centrais

Leis de conservação

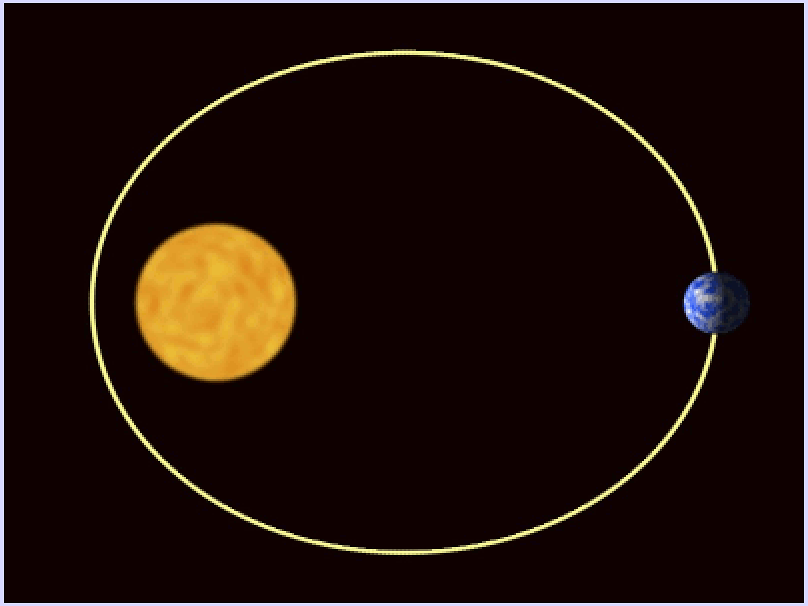
Momento Angular

Força Central

Energia mecânica

Cinética e potencial

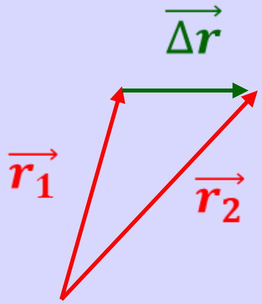
Sistema isolado



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

Forças Centrais

Vetores r definem posição do corpo



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

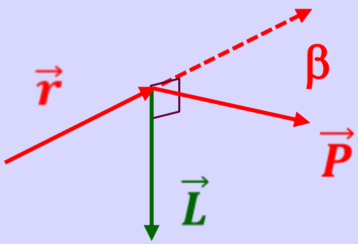
Quantidade momento linear $\vec{P} = m\,\vec{v}$

origem

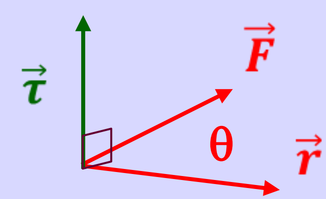
Sistema de coordenadas

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

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



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



Definição

$$\vec{F} = F(r)\,\widehat{e_r}$$

$$\vec{r} = r\,\widehat{e_r}$$

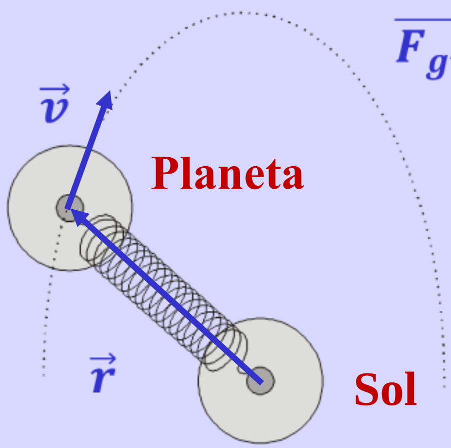
Se r e F tem mesma direção

Torque nulo = momento angular se conserva

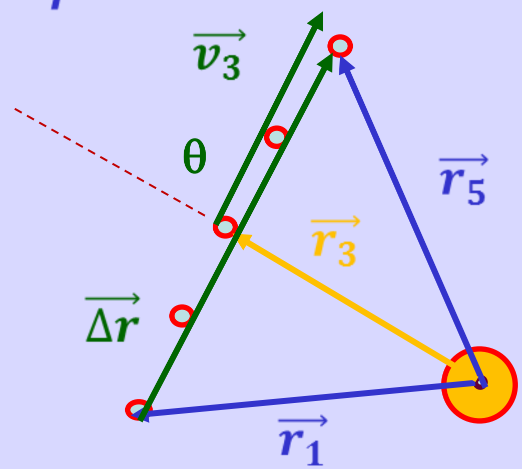
Forças Centrais

“Arranjo experimental”

$$\overrightarrow{F_{grav}} = \frac{Gm_1m_2}{r^2}\,\hat{r}$$



$$\overrightarrow{\Delta r} \propto \vec{v} \propto \vec{P}$$



Intervalos de 5 pontos

- r1 – distância ponto inicial
- r5 – distância ponto final
- Δt – definido simulação
- v3 – velocidade no ponto 3
- r3 – ponto médio (tempo)

Velocidade média corresponde velocidade instantânea no instante médio do intervalo

$$\overrightarrow{v_{\frac{t1+t5}{2}}} = \overrightarrow{v_3} = \frac{\overrightarrow{r_5} - \overrightarrow{r_1}}{\Delta t} \qquad \overrightarrow{P_3} = m_{plan}\,\overrightarrow{v_3}$$

$$\overrightarrow{L_3} = \overrightarrow{r_3} \times \overrightarrow{P_3} \qquad L_3 = r_3\,P_3 \sin\theta_{rP}$$

Figura de apresentação de Suaide

Forças Centrais

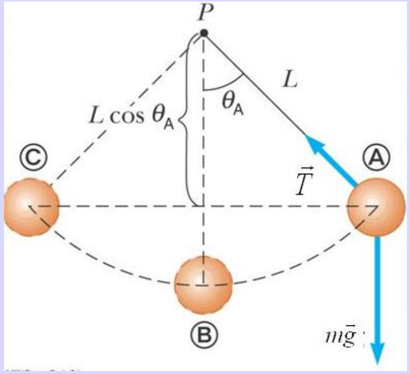
Forças no sistema

$$U(x) = -\int_{x_0}^{x} F(x)\,dx$$

Conservativas

Trabalho não depende da trajetória

Podem ser descritas por potencial que só depende das condições inicial e final



Dissipativas

Trabalho depende da trajetória

Energia

$$E_{mec} = E_{cin} + E_{pot} = cte$$

Conserva energia mecânica

Cinética + Potencial

Força peso – Potencial gravitacional

Força elástica - Potencial elástico

$$E_{mec} = \frac{1}{2}mv^2 + U(x)$$

$$E_{mec} = \frac{1}{2}mv_{max}^2 + \cancelto{0}{U_{min}}$$

$$U = mg(x - x_0)$$

$$E_{mec} = \frac{1}{2}m\cancelto{0}{v_{min}^2} + U_{max}$$

Perda de energia mecânica

Energia interna ou calor

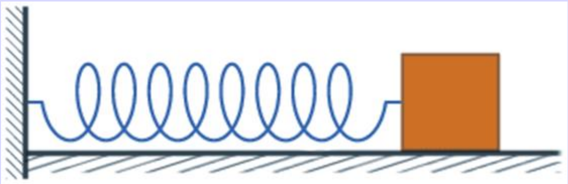
Forças

Conservação de energia

$$U(x) = -\int_{x_0}^{x} F(x)\,dx$$

Forças conservativas
Sistema isolado

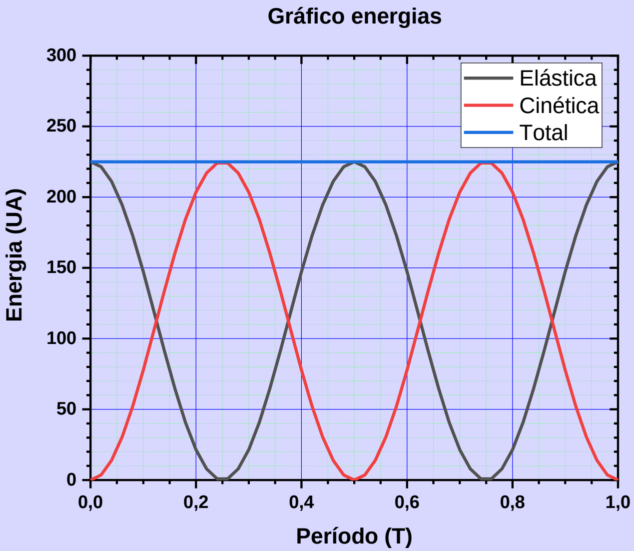
Força elástica



$$F = k(x - x_0)$$

$$U(x) = \frac{1}{2}k(x - x_0)^2$$

$$E_{mec} = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}k(x - x_0)^2 = cte$$



Força gravitacional

Diferenças para o nosso caso?

$$\overrightarrow{F_{grav}} = -\frac{G m_{plan} m_{Sol}}{r^2}\,\hat{r}$$

$$E_{mec} = \frac{1}{2}\,mv^2 - \frac{G m_{plan} m_{Sol}}{r}$$

Incertezas

Conservação momento angular

$$v = \frac{\Delta r}{\Delta t} \qquad \frac{\sigma_v}{v} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_{\Delta r}}{\Delta r}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{\Delta t}}{\Delta t}\right)^2}$$

$$P = m\,v \qquad \frac{\sigma_P}{P} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_m}{m}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_v}{v}\right)^2}$$

$$L = r\,P\,sen\theta \qquad \frac{\sigma_L}{L} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_r}{r}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_P}{P}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{sen\theta}}{sen\theta}\right)^2}$$

$$\sigma_{sen\theta} = cos\theta\,\sigma_\theta$$

radianos

Conservação energia

$$E_{mec} = E_{cin} + E_{Pot} \qquad \sigma_{Emec} = \sqrt{\sigma_{Ecin}^2 + \sigma_{Epot}^2}$$

$$E_{cin} = \frac{1}{2} m v^2 \qquad \frac{\sigma_{Ecin}}{E_{cin}} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_m}{m}\right)^2 + \left(2\frac{\sigma_v}{v}\right)^2}$$

$$E_{pot} = \frac{G\,m_1\,m_2}{r} \qquad \frac{\sigma_{Epot}}{E_{pot}} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_{m1}}{m_1}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{m2}}{m_2}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_r}{r}\right)^2}$$

Atividades

Etapa 1

Checar valores obtidos anteriormente

Checar momento angular

Cálculo usando diretamente as coordenadas dos vetores

Checar ângulo entre vetores r e v

Cálculo usando cálculo do produto escalar dos vetores r e Dr

Etapa 2

Análise dos dados

Verificar conservação momento angular

Gráfico momento angular em função do tempo (1 com todos os dados do grupo (identif))

Ajustar reta para justificar conservação (Manual e MMQ)

Verificar conservação de energia

Cálculo da Energia Mecânica, energia cinética e energia potencial + incertezas

Gráfico das 3 energias em função do tempo (1 gráfico)

Ajustar reta para pontos de energia mecânica para justificar conservação (Manual e MMQ)

Vetores

Momento angular $\vec{L} = \vec{r} \times \vec{P}$ $\qquad \overrightarrow{L_i} = m\,\overrightarrow{r_i} \times \overrightarrow{v_i}$

$$\vec{r} = \mathrm{x}\,\vec{\imath} + y\,\vec{\jmath} \qquad \vec{v} = v_x\,\vec{\imath} + v_y\,\vec{\jmath}$$

Lembrando que $\vec{\imath} \times \vec{\jmath} = \vec{k}$ $\qquad \vec{\jmath} \times \vec{\imath} = -\vec{k}$ $\qquad \vec{\imath} \times \vec{\imath} = \vec{\jmath} \times \vec{\jmath} = 0$

$$\vec{L} = \mathrm{m}\left(xv_y - yv_x\right)\vec{k} \qquad \vec{v} = \frac{\overrightarrow{r_f} - \overrightarrow{r_i}}{\Delta t} = \frac{1}{\Delta t}\Big(\left(x_f - x_i\right)\vec{\imath} + \left(y_f - y_i\right)\vec{\jmath}\Big)$$

$$\vec{v} = v_x\,\vec{\imath} + v_y\,\vec{\jmath}$$

Ângulo

$$\vec{r} \cdot \vec{v} = r\,v\,\cos\theta \qquad \cos\theta = \frac{\vec{r} \cdot \vec{v}}{r\,v} = \frac{x\,v_x + y\,\,v_y}{\sqrt{\left(x^2 + y^2\right)} \times \sqrt{\left(v_x^2 + v_y^2\right)}}$$