

Lista de Exercícios II

- ① Considere um oscilador harmônico amortecido, que obedece a equação diferencial

$$\ddot{x} + \gamma\dot{x} + \omega_0^2 x = 0.$$

Esboce o gráfico da solução que satisfaz as condições iniciais $x(0) = x_0$ e $\dot{x}(0) = v_0$ nos casos de amortecimento crítico, sub-crítico e super-crítico. A solução nos três casos é transiente ou estacionária?

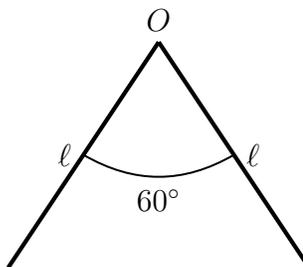
- ② Como vocês verão em Física III, um circuito RLC é descrito pela equação diferencial

$$\ddot{Q} + \frac{R}{L}\dot{Q} + \frac{1}{LC}Q = 0,$$

onde $Q(t)$ é a carga acumulada no capacitor, R é a resistência do circuito, L a indutância e C o valor da capacidade. Calcule a corrente $I(t)$ que circula no circuito, onde $I(t) = \dot{Q}(t)$. Quanto valem a carga e a corrente supondo que $L = R^2C/4$?

- ③ Considere um oscilador harmônico amortecido de massa M e constante elástica k , sujeito a uma força externa $F(t) = F_0 \sin(\omega t)$. No instante $t = 0$, o oscilador encontra-se parado na posição $x(0) = x_0$. Calcule $x(t)$.

- ④ Considere um sistema de dois fios de comprimento ℓ que formam um ângulo de 60° entre eles, suspenso pelo vértice O , de acordo com a figura seguinte.



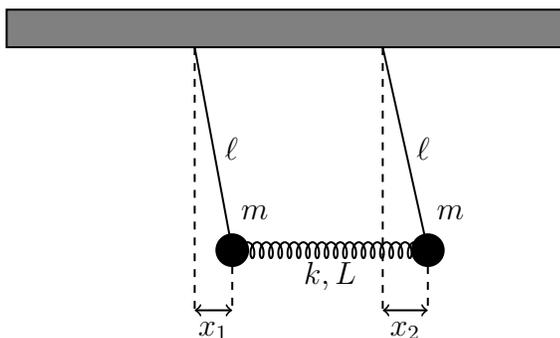
Considerando pequenas oscilações, calcule a frequência de oscilação. Escreva a Lagrangiana que descreve o sistema, e calcule as equações de movimento.

- ⑤ Considere um oscilador harmônico amortecido (com coeficiente de atrito γ e frequência própria ω_0) sujeito a força externa $F(t) = \sin(2\omega t)$, onde $\delta\omega \equiv \omega - \omega_0 \ll 1$. Escreva a solução aproximada da equação do movimento expandindo até a segunda ordem em $\delta\omega$.
- ⑥ O campo elétrico de uma onda eletromagnética pode sempre ser descrito como

$$E_x(t) = A \cos(\omega t), \quad E_y(t) = B \cos(\omega t + \varphi).$$

Eliminando t na equação antecedente, verifique que em geral o movimento resultante do campo elétrico é um elipse no plano (x, y) . Estude em detalhe o que acontece quando $\varphi = 0$ e $\varphi = \pi/2$. O que aconteceria considerando frequências diferentes?

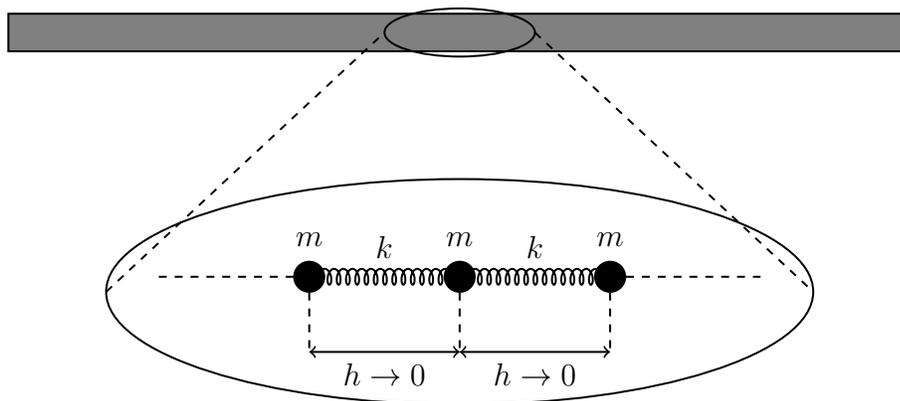
- ⑦ Considere um corpo de massa m , conectado a uma mola de constante elástica k , sujeito a uma força $F(t) = \alpha t$. A quantidade α é uma constante positiva com as dimensões apropriadas, e o comprimento de repouso da mola pode ser considerado desprezível. No instante $t = 0$ o corpo encontra-se na posição x_0 com uma velocidade v_0 . Calcule a solução da equação de movimento impondo as condições iniciais dadas. Preste atenção: que tipo de solução particular você deve escolher nesse caso? O que mudaria considerando um comprimento de repouso da mola ℓ não desprezível?
- ⑧ Considere o seguinte sistema,



composto por dois pêndulos simples idênticos de comprimento ℓ , acoplados por uma mola de constante elástica k e comprimento de repouso

L. Para permitir uma abordagem analítica ao problema, vamos considerar apenas *pequenas oscilações entorno das posições de equilíbrio dos dois pêndulos, desprezando o movimento vertical das massas.*

- (a) Escreva as equações de movimento dos dois corpos;
 - (b) Resolva as equações de movimento do item (a) para condições iniciais genéricas;
 - (c) Fixe agora as condições iniciais $x_1(0) = 0$, $x_2(0) = x_0$, $\dot{x}_1(0) = 0$ e $\dot{x}_2(0) = 0$ e esboce o gráfico da solução.
- ⑨ Considere um sistema de 3 corpos iguais, de massa m , conectados por 2 molas de constante elástica k e comprimento de repouso desprezível. Escreva as equações de movimento do sistema e ache os modos normais de oscilação.
- ⑩ Um modelo simples de barra elástica (ou de corda) de seção transversal S é dado por uma série de N osciladores harmônicos conectados por $N - 1$ molas, no limite $N \rightarrow \infty$. Cada corpo pode ser identificado por um índice i , com $i = 1, \dots, N$. Para tomar o limite $N \rightarrow \infty$, podemos considerar o seguinte sistema



ou seja considerar o sistema de osciladores no limite $h \rightarrow 0$. Em termos da densidade ρ da barra, a massa de cada um dos osciladores pode ser escrita como $m = \rho Sh$, enquanto a constante elástica pode ser escrita em termos do *módulo de Young* E como $k = ES/h$, onde E em primeira aproximação depende só do material da barra.

-
- (a) Escreva a equação de movimento do corpo i em termos do deslocamento em respeito a posição de equilíbrio, $u_i(t) \equiv x_i(t) - h$;
- (b) Usando as expressões para a massa e a constante elástica dadas acima, calcule o limite $h \rightarrow 0$ para a força que o corpo i sente. (Sugestão: para tomar corretamente o limite, é útil escrever $u_{i+1} = u(x_i + h, t)$ e expandir em série de Taylor até a ordem apropriada entorno de x_i .) A equação obtida é a *equação de onda em uma dimensão*, que vocês estudarão no próximo módulo do curso.