

MOVIMENTOS OSCILATÓRIOS

Objectivos

1. Caracterizar a periodicidade em movimentos oscilatórios pelo período ou pela frequência.
2. Identificar um movimento harmónico simples (MHS) com o movimento oscilatório de um corpo sujeito a uma força elástica.
3. Descrever o comportamento da força elástica através da Lei de Hooke.
4. Relacionar a frequência angular com a constante elástica e com a massa do oscilador no MHS.
5. Distinguir um parâmetro intrínseco do oscilador (frequência angular) das grandezas que dependem das condições iniciais do movimento (amplitude e fase inicial).
6. Reconhecer a expressão $x = A\sin(\omega t + \varphi)$ como solução da equação fundamental da dinâmica para o MHS e interpretar o seu significado.
7. Interpretar gráficos de elongação em função do tempo.
8. Reconhecer que a amplitude dos osciladores reais diminui com o tempo, ou seja, estão sujeitos a amortecimento.
9. Identificar a ressonância como a tendência de um oscilador para oscilar em máxima amplitude apenas para certas frequências. (não faz parte do programa 12.º Física mas se houver tempo é certamente interessante).

Sugestões metodológicas

Esta proposta visa uma abordagem experimental, de investigação, para o movimento oscilatório. Propõe-se uma actividade realizada em comum por toda a turma.

Partindo de uma questão de motivação e do conhecimento da lei de um oscilador harmónico procede-se a uma revisão de conceitos.

Depois estuda-se experimentalmente o movimento oscilatório.

Questão de motivação

Nas estações espaciais os astronautas não podem medir a sua massa como se faz na Terra. Como se poderá determinar, ao longo da sua permanência no espaço, um aumento ou uma diminuição da massa de um astronauta?

Sugerir que a solução da questão está relacionada com:

$$x = A\sin(\omega t)$$

Significados

Conceitos	Descrição
Posição de repouso (de equilíbrio)	Posição em que uma massa se encontra quando em repouso.
Movimento oscilatório	Movimento em torno da posição de equilíbrio
Amplitude do movimento (A)	Distância da posição de equilíbrio à posição de afastamento máximo
Período (T)	Tempo que decorre entre a passagem consecutiva numa posição de afastamento máximo ou tempo para se completar um ciclo do movimento
Frequência (f)	Número de vezes que o movimento se repete na unidade de tempo
Frequência angular (ω)	Variação temporal de um ângulo; $\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$

Procedimento

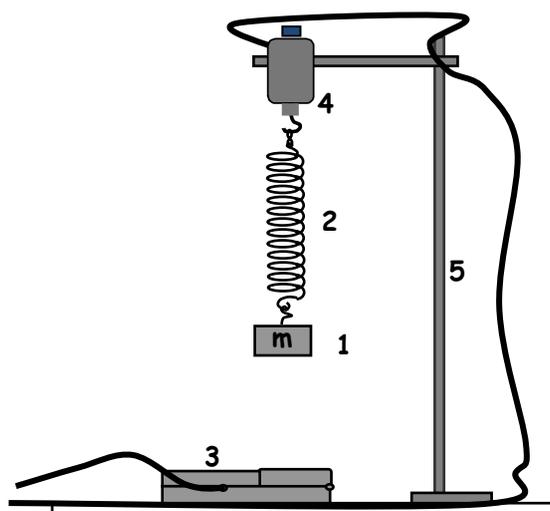
A- Legenda e descrição do equipamento usado

- 1- [Massa para estudo do movimento oscilatório](#)
- 2- [Mola elástica](#)
- 3- [Sensor de posição – fornece a posição da massa](#)
- 4- [Sensor de força – dá a força no apoio \(força na massa e ... na mola \(soma\)\)](#)
- 5- [Suporte universal](#)
- 6- [Interface dos sensores para registo dos dados](#)

(Os interfaces dependem do equipamento que estiver disponível. Tendo em conta o que dispomos na nossa escola referir-nos-emos ao sistema da TexasInstruments – CBL e máquina de calcular, Software TIconnect e computador.

Note-se, no entanto, que este sistema tem muitas limitações em relações a outros – uso de pilhas, número de dados a adquirir, rapidez, software nem sempre fácil de usar ...)

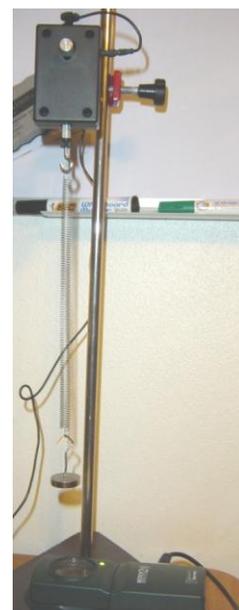
Esquema de montagem



Descrição do processo de aquisição de dados (Exemplo com a

TInstruments)

- 1- Efectuar a montagem indicada no esquema. Ter, também, o cuidado absoluto de não deixar cair a massa sobre o CBR, quer na preparação quer na execução.
(Nota: com alguns CBR – sensor de posição -, devido a limitações do seu funcionamento, ele deve estar a mais de 40 a 50 cm do corpo que irá oscilar.)
- 2- Ligar os sensores ao CBL e este à máquina gráfica. O CBR deve ser ligado ao canal DIG/SONIC.
- 3- Na máquina, depois de pressionar **APPS**, iniciar um programa de aquisição de dados. Por exemplo, procurar o **DataMin2** (ou outro equivalente).
- 4- Para recolha de dados devem verificar-se primeiro as definições do programa de aquisição. **DataMin2** - escolher a opção **1:SETUP**.



Escolher também o **MODE: TIME GRAPH** e depois 2: **TIME GRAPH**.

Definir o intervalo entre amostras (0,01 s) e o número de amostras (200).

5- Colocar a massa numa situação de equilíbrio e registar a posição e a força.

$$X=0,167 \text{ m}; F= - 8,57 \text{ N}$$

6- Colocar a massa a oscilar e pressionar **2:START**.

Massa usada $m_1= 100 \text{ g}$.

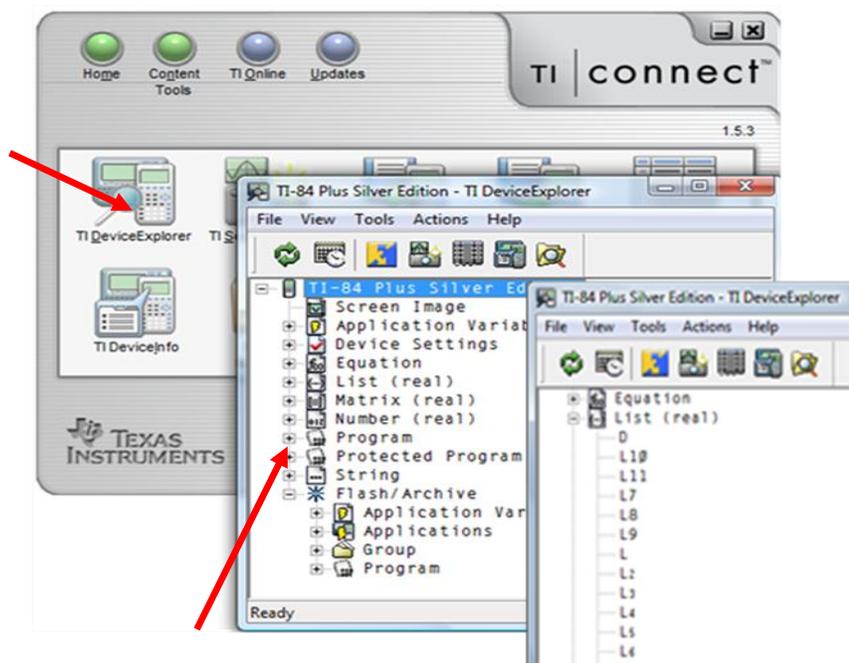
Após a recolha de dados, os gráficos $F(t)$ e $x(t)$ podem visualizar-se.

Numa situação de experiência centrada usar por exemplo a câmara Web (ou outra) para todos poderem observar o aspecto dos gráficos.

Após sair do programa (opção **QUIT**), os dados serão registados em listas: tempo em L1, força em L2, e posição em L6.

7- Nesta proposta sugere-se que os dados sejam transferidos para o computador, com a ligação do cabo à máquina de calcular e com o uso do Software TIConnect.

Ver sequência na Imagem seguinte. Clique em **TI DeviceExplorer**, depois expandir **List** e abrir as listas, de L1 a L6.



Depois copiar e colar as listas numa folha de cálculo previamente elaborada.

Nota: O Excel deve estar definido para o formato internacional de ponto (.) para a separação decimal e vírgula (,) para os milhares (no Office 2007 – usar o menu de novo, abrir, fechar... e **Opções do Excel**. Mudar a configuração em **Avançadas**).

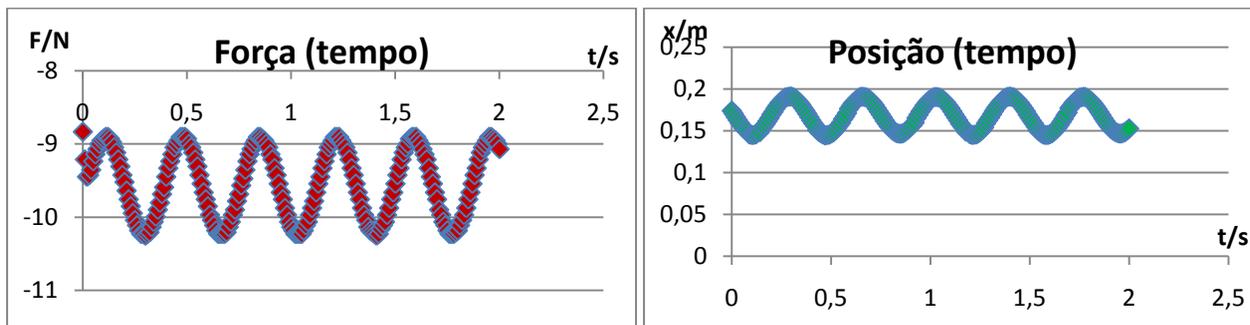


menu de novo, abrir, fechar...;



Opções do Excel

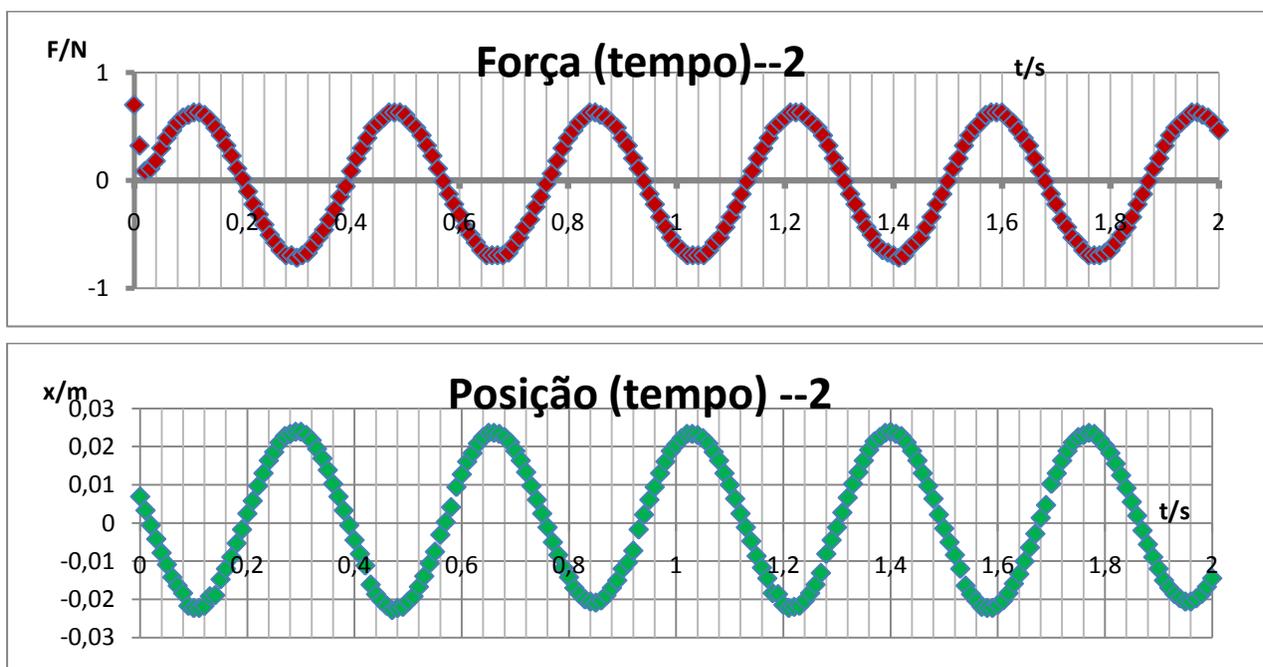
8- Analisar e discutir os gráficos.



Analisar o que significa a força sempre negativa e a posição sempre positiva. (não foram definidos os zeros para a posição inicial e força inicial).

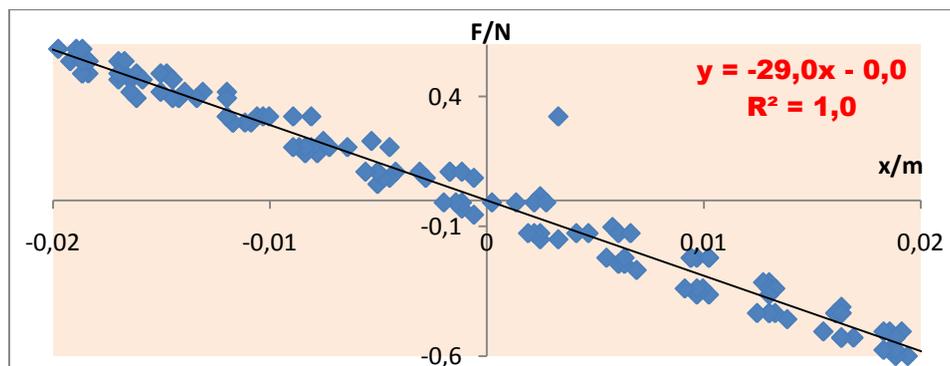
Como resolver a situação de não se ter definido aquelas condições iniciais?

Considerando gráficos respectivamente da variação da força e da posição em torno dos valores médios da força e da posição:



Conduzir a observação para a simetria entre o sinal da força e da posição: um negativo e outro positivo.

9- Visualizar o gráfico da força em função da posição e concluir a Lei de Hooke.



Nota: existe um ponto “esquisito”. Analisar (já podia ter sido verificado no gráfico $F(t)$) e eliminar...

$$F = -29,0 x \rightarrow F = - k x \text{ (simetria no sinal, já antes analisado nos gráficos)}$$

10-Medição do período e cálculo de frequência angular.

$$T = (1,68 - 0,20) / 4 = 0,37 \text{ s e } \omega = 17,0 \text{ rad/s}$$

11- Partindo da Lei de Hooke, deduzir a expressão para a frequência angular.

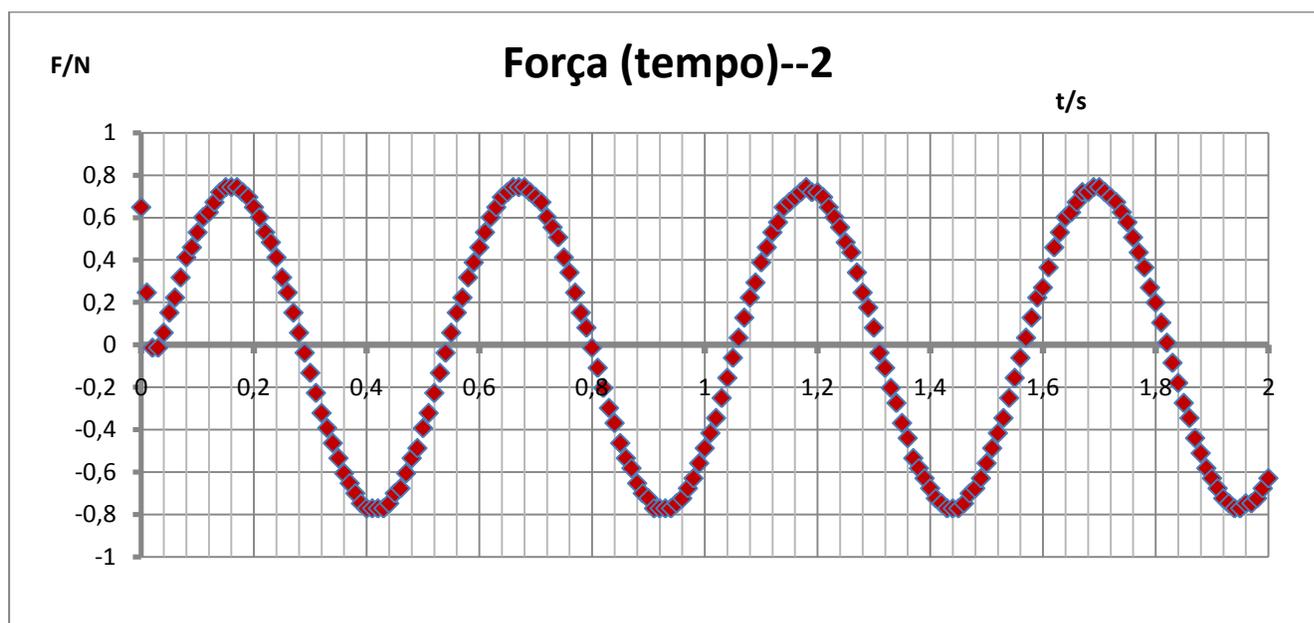
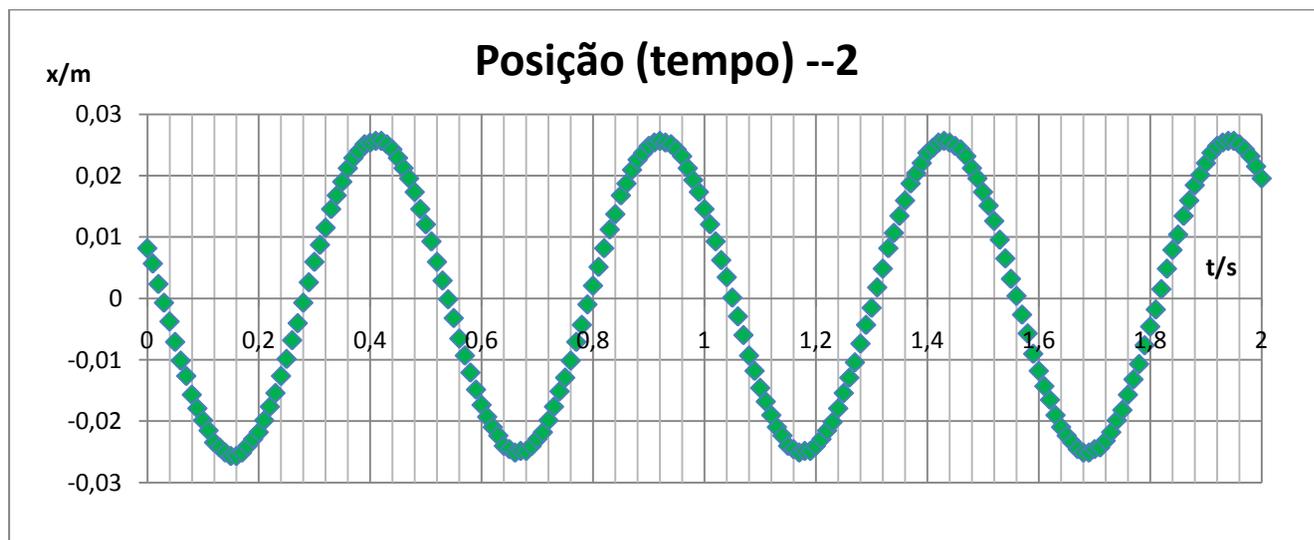
$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = -k x \Rightarrow \frac{d^2 x}{dt^2} = -\omega^2 x = -\frac{k}{m} x \Rightarrow \omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

12- Analisar a influência da massa, mudando a massa em oscilação.

$$m = 200 \text{ g}$$

Usando a expressão encontrada, prever o período de oscilação.

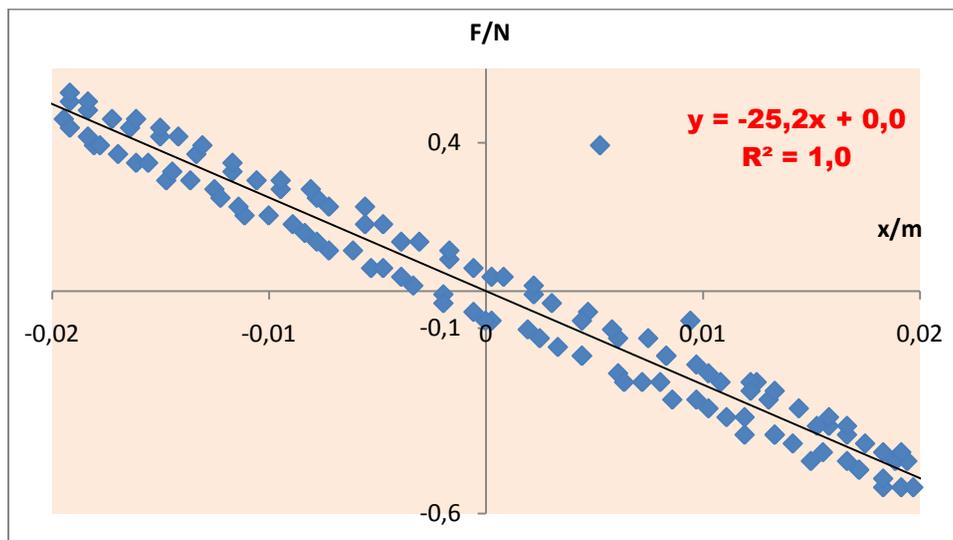
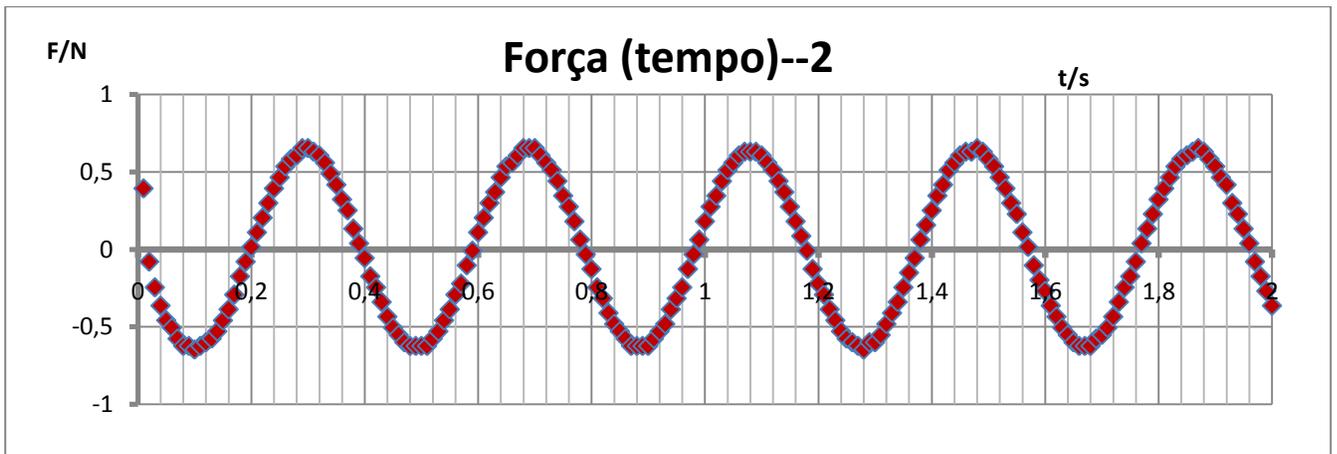
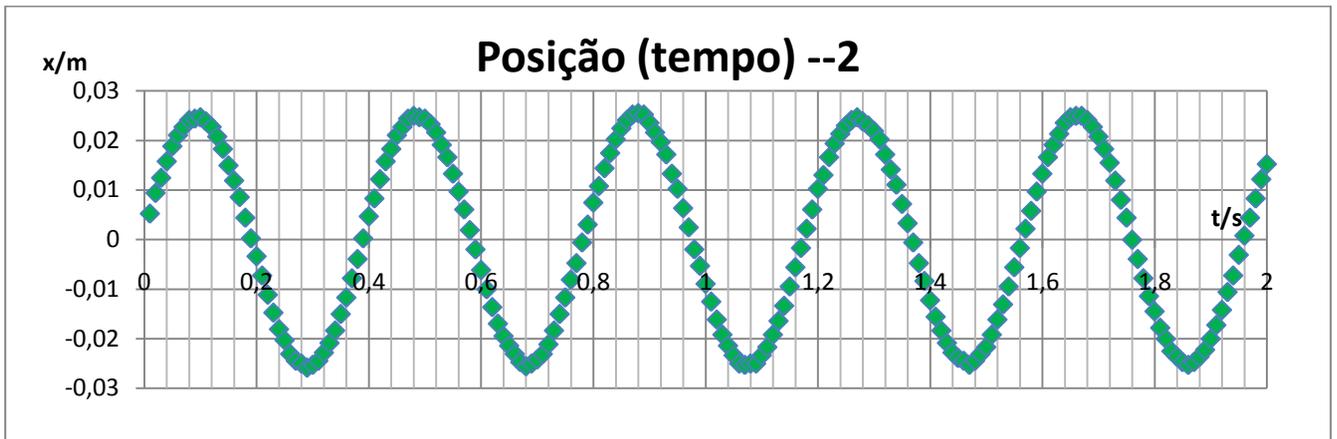
$$T = 0,52 \text{ s}$$



$$\text{Medir o período } T = (1,56 - 0,02) / 3 = 0,51 \text{ s e } \omega = 12,2 \text{ rad/s}$$

Comentar a concordância do previsto com o medido.

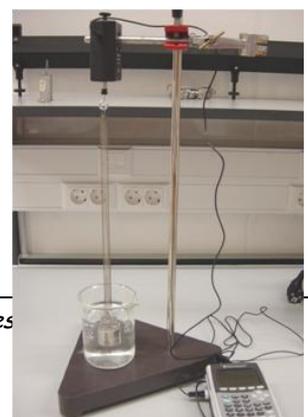
13- Analisar influência da constante elástica, mudando a mola e mantendo a massa, $m = 100 \text{ g}$.



$$k = 25,2 \text{ N m}^{-1}$$

$$T = (1,96) / 5 = 0,39 \text{ s e } \omega = 16,1 \text{ rad/s}$$

Verificar da concordância entre a expressão teórica e o obtido experimentalmente.

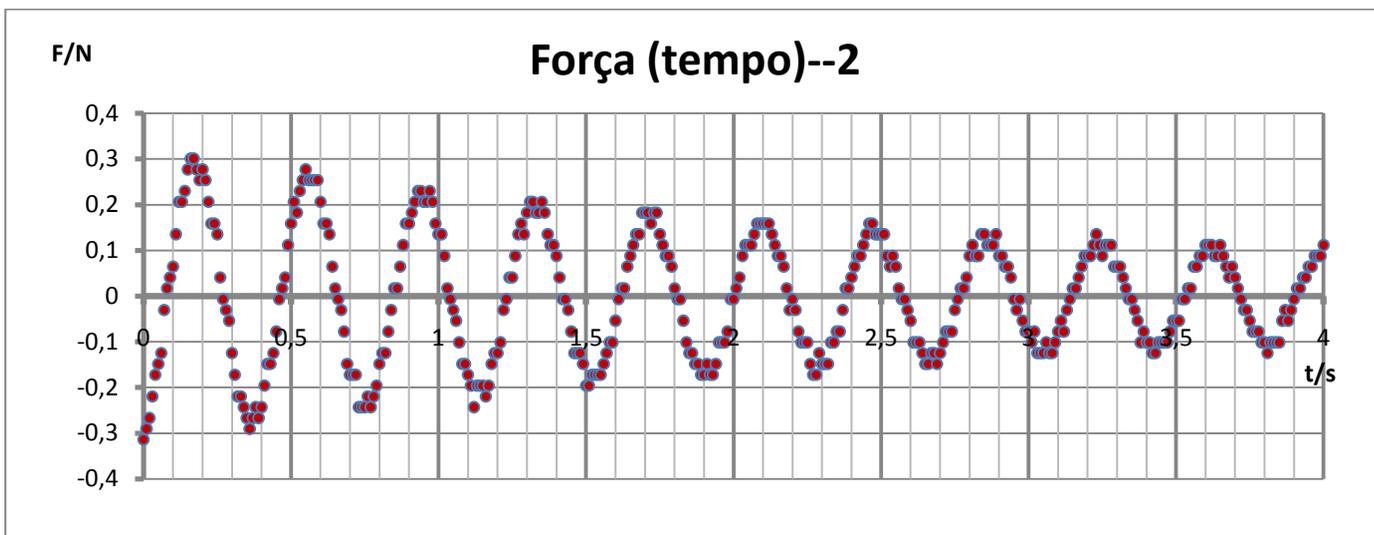


14- Estudo do amortecimento.

$$m = 100 \text{ g}$$

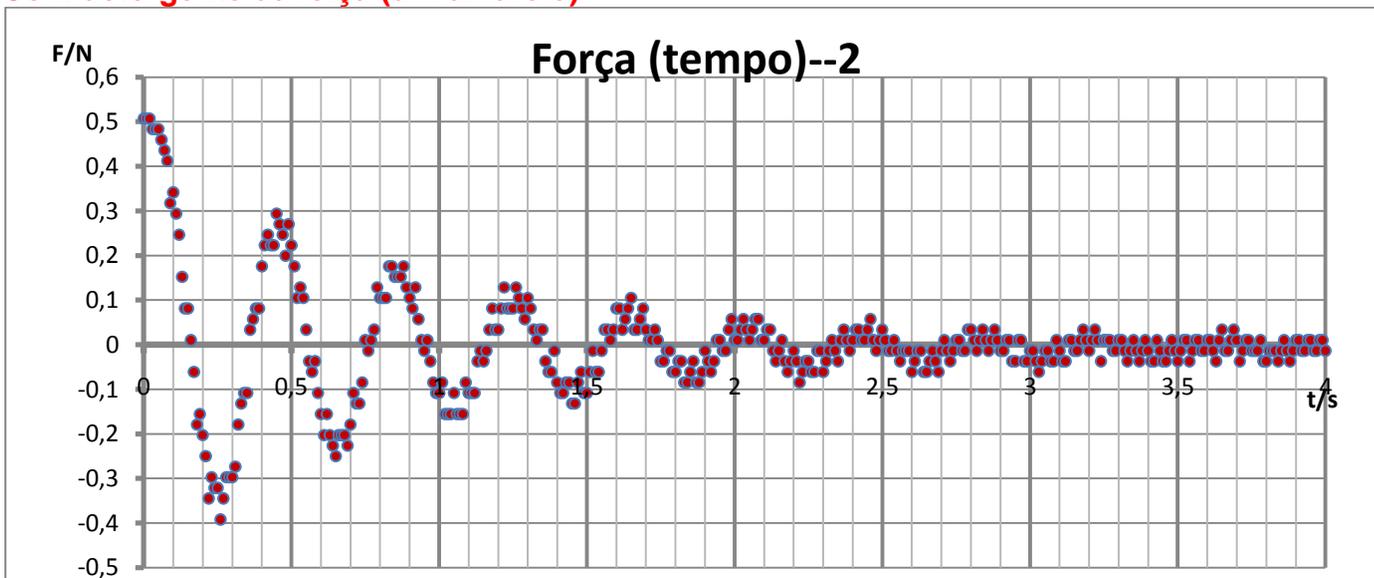
Introduzir a massa em água (também se pode utilizar um detergente ou um óleo). Obviamente, usar apenas o sensor de força.

Com água



$$T = (3,6 - 0,2) / 9 = 0,38 \text{ s e } \omega = 16,5 \text{ rad/s}$$

Com detergente da loiça (um amarelo).



$$T = (2,25 - 0,25) / 5 = 0,40 \text{ s e } \omega = 15,7 \text{ rad/s}$$

Como é de esperar, verifica-se um aumento ligeiro nos períodos do oscilador não amortecido (0,37 s) para os dos osciladores amortecidos (0,38 s em água e 0,40 s em detergente – maior amortecimento).

O que muda na oscilação em relação à situação da oscilação no ar?

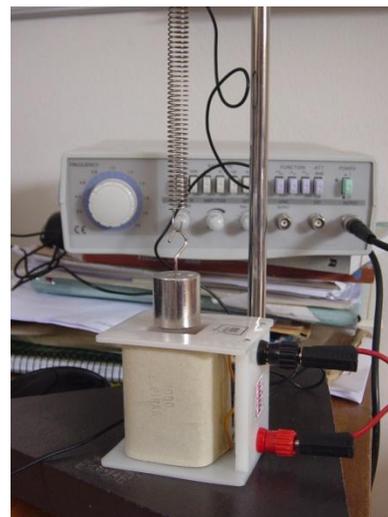
Muda o meio onde ocorre oscilação e para o oscilador muda a sua amplitude de oscilação, que vai diminuindo com o tempo e o período de oscilação também aumenta.

15- Estudo da ressonância.

A ressonância é a tendência de um oscilador para oscilar em máxima amplitude com frequência igual à sua frequência própria.

O filme da ponte de Tacoma e da sua queda (procura no Google de **tacoma bridge**) é interessante para motivar para este fenómeno.

Outras relações do fenómeno com o electromagnetismo (sintonização de sinais ou ressonância magnética para imagiologia) podem ser estabelecidas.



Material:

- . gerador de sinais
- . bobina (usei com 1000 espiras)
- . um pequeno íman para fixar na parte inferior da massa oscilante.

Fixando um pequeno íman na massa oscilante e com ela próxima da bobina, ou mesmo parcialmente no seu interior, fazer variar a frequência do sinal.

Para frequências próximas das determinadas para o oscilador verifica-se que amplitude de oscilação aumenta. Para as outras frequências não há oscilação.

$$m = 100 \text{ g}$$

Com o oscilador inicialmente parado procura-se a frequência de ressonância.

Depois desliga-se o gerador de sinais e pára-se também o oscilador. Inicia-se, então, a aquisição de dados e liga-se o gerador de sinais. O gráfico seguinte mostra o que foi registado.



O período é 0,38 s, a que corresponde uma frequência de 2,6 Hz (frequência própria de oscilação).

Para os alunos

Questão de motivação

Nas estações espaciais os astronautas não podem medir a sua massa como se faz na Terra. Como se poderá determinar, ao longo da sua permanência no espaço, um aumento ou uma diminuição da massa de um astronauta? Será que o conhecimento do movimento harmónico simples poderão dar resposta a esta questão?



$$x = A \sin(\omega t)$$

Significados

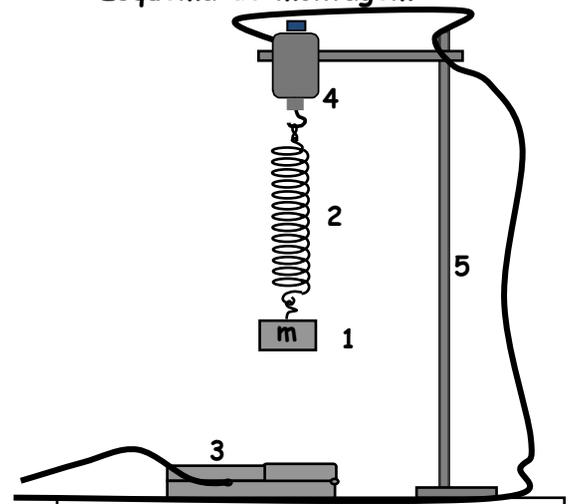
Conceitos	Descrição
Posição de repouso (de equilíbrio)	
Movimento oscilatório	
Amplitude do movimento	
Período (T)	
Frequência (f)	
Frequência angular (ω)	

Procedimento

A- Legenda e descrição do equipamento usado

- 1- _____
- _____
- 2- _____
- 3- _____
- _____
- 4- _____
- _____
- 5- _____
- 6- Interface: _____
- _____
- _____

Esquema de montagem



B- Descrição do processo de aquisição de dados

- 1- Efectuar a montagem indicada no esquema. Ter, também, o cuidado absoluto de não deixar cair a massa (100 g) sobre o CBR, quer na preparação quer na execução
- 2- Ligar os sensores ao CBL e este à máquina gráfica. O CBR deve ser ligado ao canal DIG/SONIC.
- 3- Depois de pressionar **APPS**, iniciar o programa um programa de aquisição de dados. Por exemplo, procurar o **Datamin2**.
- 4- Com a massa em repouso, registar os valores fornecidos pelos sensores.

$$F = \underline{\hspace{2cm}} \quad x = \underline{\hspace{2cm}}$$

- 5- Para recolha de dados devem verificar-se primeiro as definições do programa de aquisição. Para termos um registo significativo do movimento, durante quanto tempo se deverá registar dados?

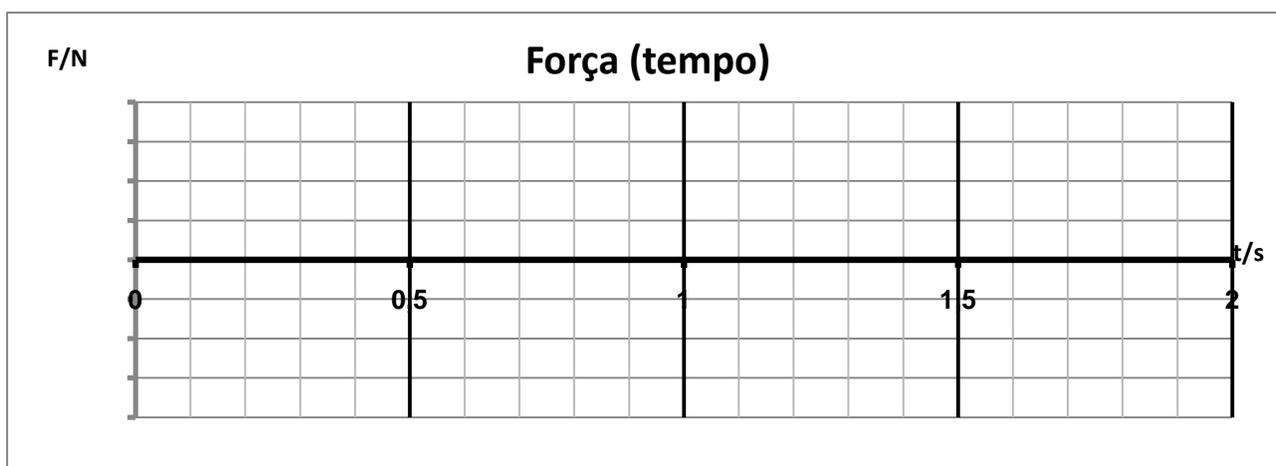
O registo de dados não é contínuo. Qual será a escolha adequada para o intervalo de tempo entre amostras de dados?

DataMin2 - escolher a opção **1:SETUP**.

Escolher também o **MODE: TIME GRAPH** e depois 2: **TIME GRAPH**.

- 6- Colocar a massa a oscilar e pressionar **2:START**. Registo e análise de dados:

De acordo com o que se observou, desenhe os gráficos da posição e da força em função do tempo.



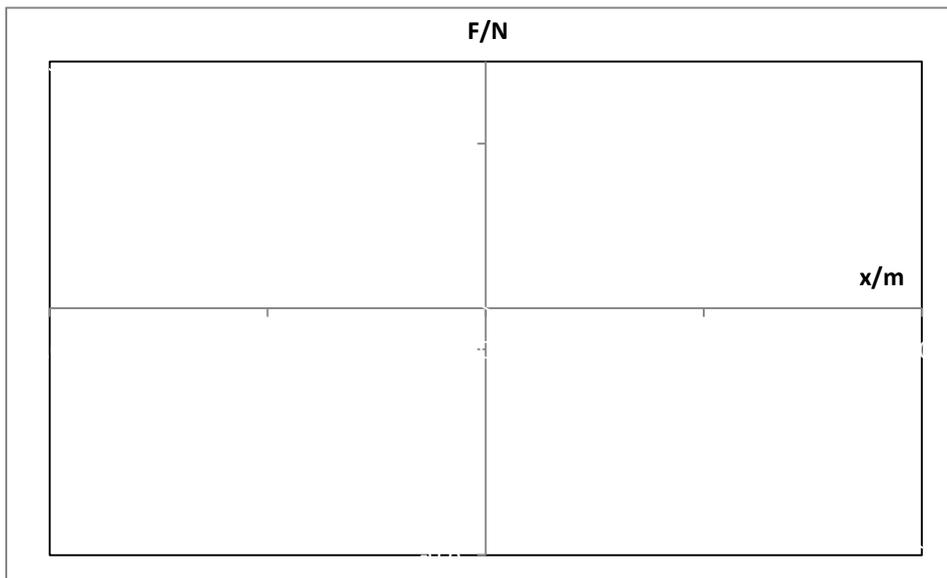
Qual é o período do movimento? E qual é a frequência angular?

Indique quais as amplitudes: A- da força

B- da posição

- 7- O período de oscilação dependerá da amplitude? Como se poderá verificar?

8- De acordo com o que se observou, desenhe o gráfico da força em função posição.



Neste movimento, como está relacionada a força com a posição?

Qual a expressão matemática que as relaciona?

9- A relação encontrada chama-se Lei de Hooke.

Usando esta lei, a lei fundamental da dinâmica e a lei do movimento harmónico simples, deduza a expressão que mostra as grandezas de que depende a frequência angular.

10- De que grandezas depende o período de oscilação?

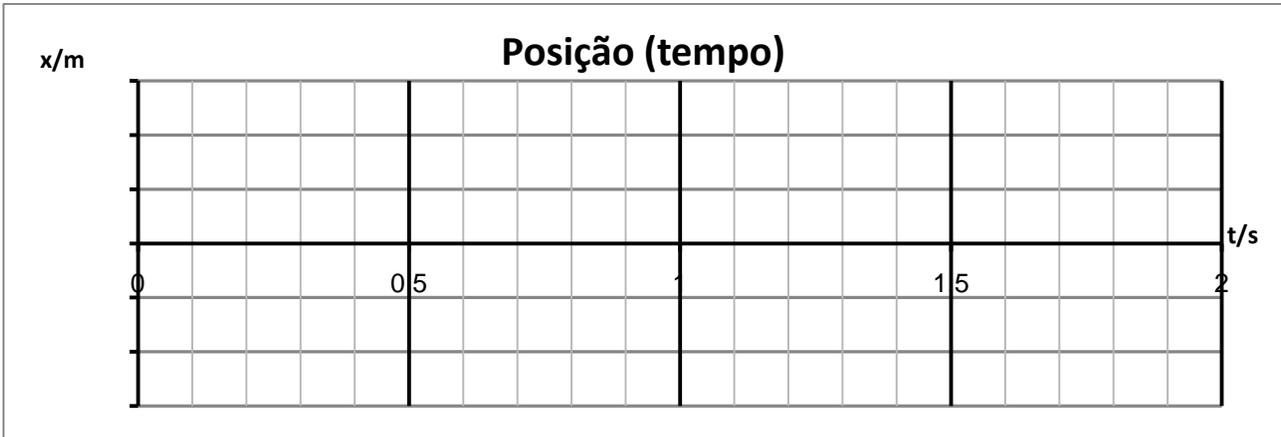
Como se poderá verificar que depende dessas grandezas?

11- Influência da massa no período de oscilação.

$$m = 200 \text{ g}$$

Usando a expressão que foi deduzida, preveja qual o período do oscilador.

De acordo com o que se observou, desenhe o gráfico da posição em função do tempo.



Qual é o período do movimento? _____ E qual é a frequência angular? _____

Indique quais as amplitudes: A- da força _____

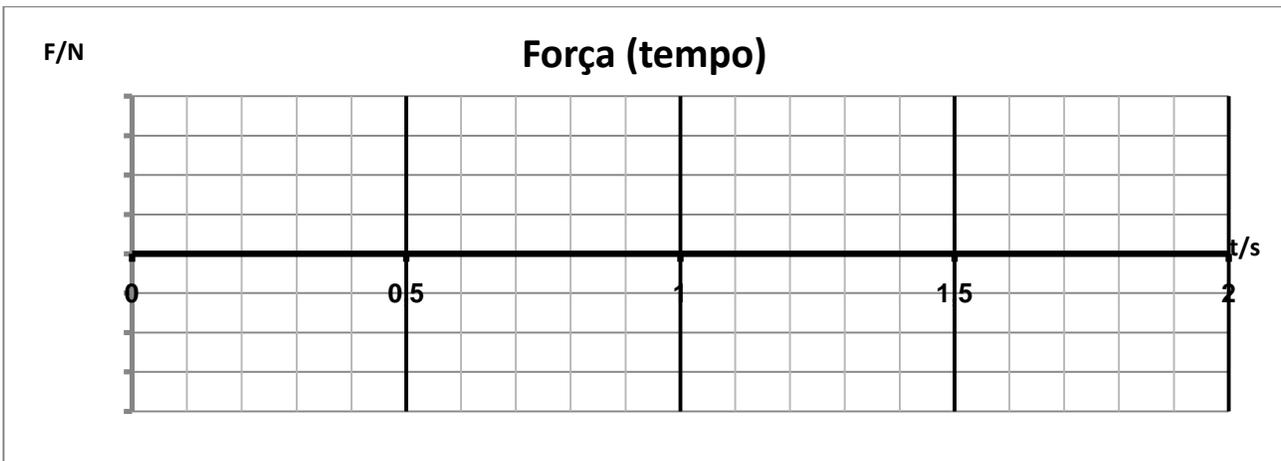
B- da posição _____

12- Influência da constante elástica da mola no período de oscilação.

$m = 100 \text{ g}$; **mola 2**.

De acordo com o que se observou:

A - Desenhe o gráfico da força em função do tempo.



B – Indique qual é a constante elástica desta mola: _____

C- Qual é o período do movimento? _____ E qual é a frequência angular? _____

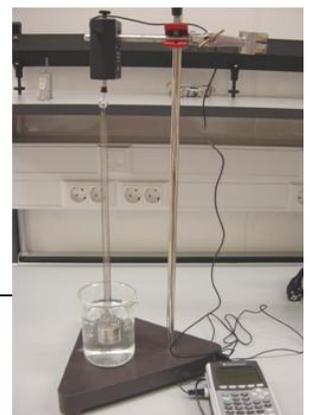
Indique quais as amplitudes: A- da força _____

B- da posição _____

13- Movimento de oscilação com amortecimento.

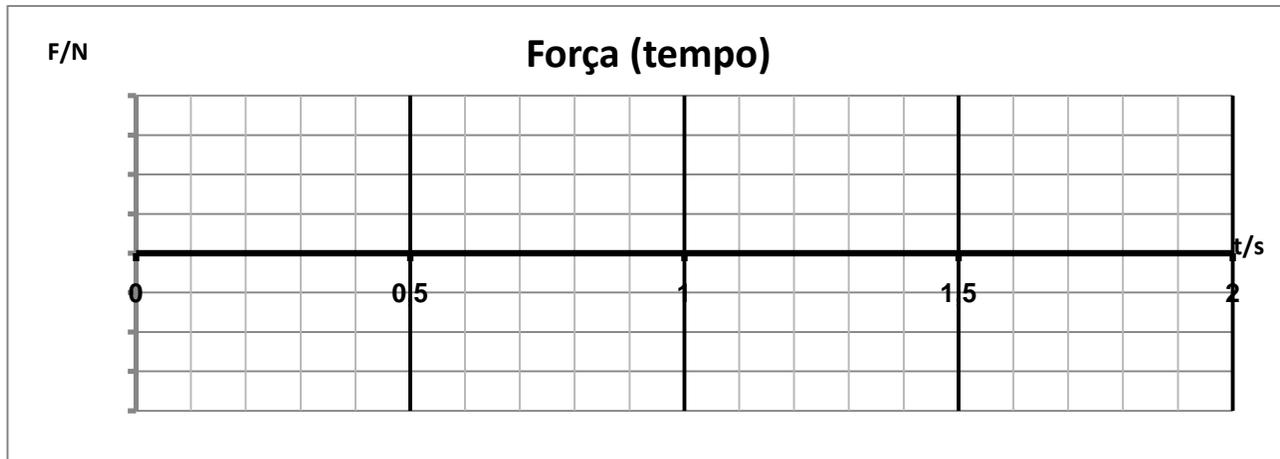
$m = 100 \text{ g}$;

Um oscilador pode perder energia durante a oscilação. Nesta situação diz-se que o movimento é amortecido.



Introduza a massa oscilante num gobelé com água. Após tê-la colocado a oscilar inicie o registo de dados com o sensor de força.

Desenhe o gráfico da força em função do tempo.



O que mudou na oscilação? E o que se manteve?

Indique uma utilização onde é importante usar osciladores amortecidos?

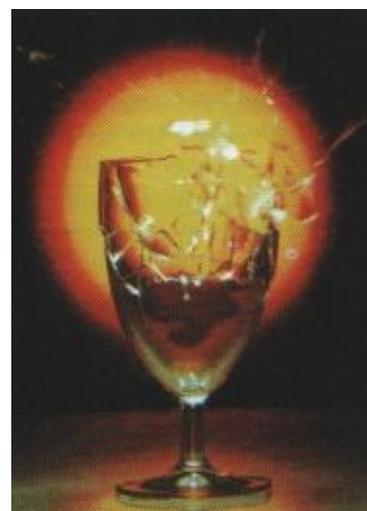
14- Ressonância.

A ressonância é a tendência de um oscilador para oscilar em máxima amplitude com frequência igual à sua frequência própria. Este fenómeno manifesta-se por exemplo quando um dado som origina a quebra de um copo de vidro.

Material:

- . gerador de sinais
- . bobina (usei com 1000 espiras)
- . um pequeno íman para fixar na parte inferior da massa oscilante.

O que se verifica quando se varia a frequência do sinal eléctrico enviado para a bobina?



Questão para resolver:

Nas estações espaciais os astronautas não podem medir a sua massa como se faz na Terra. Como se poderá determinar, ao longo da sua permanência no espaço, um aumento ou uma diminuição da massa de um astronauta?

De facto os astronautas utilizam um aparelho chamado “dispositivo de medida de massa do corpo” (*body mass measurement device, BMMD*).



Na figura mostra-se o dispositivo com uma rapariga fazendo um teste, na Terra. A constante elástica do sistema era 2526 N m^{-1} . A rapariga sentou-se na cadeira, com $4,0 \text{ kg}$, e foi colocada em oscilação. O período registado foi de $0,97 \text{ s}$, com uma amplitude de 15 cm .

Considere que o sistema executa um movimento harmónico simples.

a) Qual a massa que o sistema indicaria para a rapariga?

b) Escreva a expressão do movimento, tendo como origem do referencial a posição de equilíbrio.

Considere que a posição inicial é a de afastamento máximo.

Bibliografia

<http://arsphysica.wordpress.com/2009/03/02/como-medir-a-massa-de-um-astronauta>

http://www.leifiphysik.de/web_ph10_g8/musteraufgaben/13schwingungen/bmmd/bmmd.htm

<http://gallery.spaceref.com/us-spaceflight/STS040/10064307.html>

<http://www.youtube.com/watch?v=dvRHK4yA8rc>

<http://www.youtube.com/watch?v=jT-E5v7gLL8>

Alonso & Finn, Física, Volume I Mecânica