

## Experimento I - Conservação da Energia II

### Objetivo

O objetivo deste experimento é mostrar a transformação da Energia Potencial Gravitacional em Energia Cinética, ilustrando a Conservação da Energia Mecânica.

### Contexto

O Princípio da Conservação da Energia diz que "a energia pode ser transformada ou transferida, mas nunca criada ou destruída".

Em um determinado sistema mecânico, em que formas de energia relacionadas a fenômenos eletromagnéticos ou térmicos não estão presentes, pode-se dizer que a energia total do sistema é puramente mecânica. Desse modo, o Princípio da Conservação da Energia implica a conservação da energia mecânica. Esta, por sua vez, é a soma das quantidades de energia cinética e diversas formas de energia potencial (gravitacional e elástica entre elas). Embora a energia mecânica seja sempre constante, a quantidade de cada uma de suas componentes pode sofrer variação de tal modo que a energia total permaneça constante.

Neste experimento podemos identificar uma transformação de um tipo de energia em outro. Inicialmente um objeto possui energia potencial gravitacional, que é a energia de interação entre a massa do objeto com a massa da Terra. Essa energia está armazenada no sistema Terra-objeto e vai diminuindo à medida que o objeto e a Terra se aproximam. A energia potencial gravitacional de um objeto, que é diretamente proporcional ao produto da sua massa, da aceleração da gravidade ( $g$ ) e da sua distância vertical em relação a um ponto de referência, se transforma em energia cinética do objeto, que está associada ao seu movimento. nas proximidades da Terra é diretamente proporcional ao produto da sua massa, da aceleração da gravidade ( $g$ ) e da sua distância vertical em relação a um ponto de referência. A energia cinética é diretamente proporcional à massa e ao quadrado da velocidade do objeto.

### Idéia do Experimento

A idéia do experimento é mostrar que, devido à conservação da energia mecânica, quanto maior a energia potencial gravitacional no início do movimento de queda, não forçada, de um objeto, maior será sua energia cinética na parte mais baixa de sua trajetória. Esta quantidade de energia poderá ser aferida através de um mecanismo de transferência do movimento do objeto.

Neste experimento, um balde pequeno transfere sua energia para um bloco, parado sobre uma folha de papel fixada sobre o piso, na trajetória do balde (ver figura no esquema geral de montagem). Ao iniciar o movimento, o balde começa a transformar sua energia potencial gravitacional em energia cinética. Durante o movimento há diminuição da energia potencial gravitacional e aumento da energia cinética. Tomando-se o piso como ponto de referência, devido à conservação da energia mecânica, no ponto mais baixo da trajetória, toda energia potencial gravitacional que o balde perde devido à perda de altura se transforma em energia cinética. Da energia cinética do balde, uma grande parte é transferida para o bloco que se move, porém, uma pequena parte fica retida no balde, uma vez que este, após o choque, ainda balança um pouco. Desta transferência de energia cinética, outra pequena parte é transformada em energia térmica e energia sonora, que o bloco gera através do atrito com o solo. Neste caso, o valor destas formas de energia chega a ser desprezível. O atrito sobre o bloco é praticamente constante. E o bloco necessita de uma quantidade fixa de energia cinética para vencer uma distância fixa. Portanto, se o bloco se desloca mais, isto implica que recebe maior quantidade de energia cinética.

O que se observa é que, acrescentando-se massas no balde, aumenta-se sua quantidade de energia potencial gravitacional. Essa maior quantidade de energia potencial gravitacional faz com que o balde tenha, no ponto mais baixo da sua trajetória, mais energia cinética, pois a energia potencial gravitacional é transformada em energia cinética durante o movimento. O resultado final é que uma massa maior permite que o balde transfira uma quantidade maior de energia cinética para o bloco, que percorrerá distâncias maiores até parar, devido ao atrito com a folha de papel fixada sobre a superfície.

Este experimento tem como referência um experimento do livro: "Physics for every Kid: 101 experiments in motion, heat, light, machines, and sound" de Janice P. Vancleave, Editora Wiley, Coleção Science Editions, 1991.

### Tabela do Material

<i>Ítem</i>	<i>Observações</i>
um balde pequeno	O balde deverá possuir uma alça, ou improvisa-se com algo semelhante. Neste experimento, utilizamos um balde de argamassa para construção (marca "Vedacit").
barbante	O comprimento do barbante depende da altura da mesa utilizada.
fita adesiva	

papel	Qualquer papel em branco.
bloco	Usamos uma caixa de "chá mate", de 200 g, do tipo granel.
massas	Qualquer material para pôr no balde. Por exemplo: massa de modelar, moedas, etc...

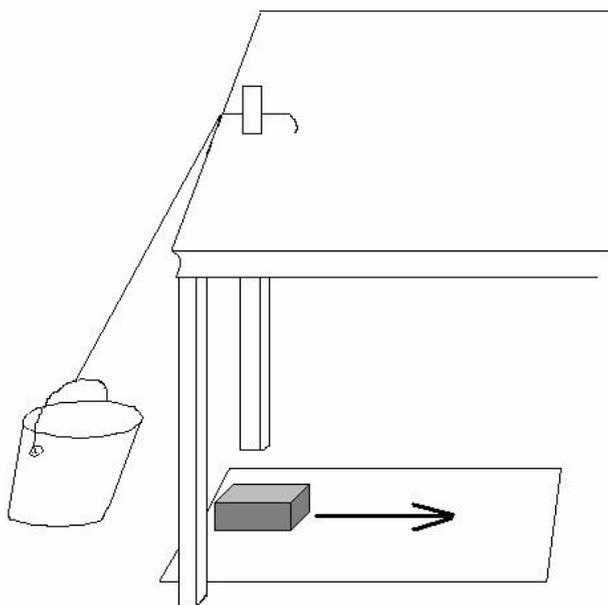
### Montagem

- Prenda o barbante na alça do balde.
- Fixe, com fita adesiva, a outra extremidade do barbante na mesa. O barbante deverá ser preso de modo que o balde possa oscilar a uma pequena altura do piso.
- Fixe o papel no piso, embaixo do balde pendurado.
- Posicione o bloco no piso em frente ao balde pendurado.
- Puxe a parte de trás do balde até uma certa altura. Solte-o, permitindo-o colidir com o bloco.
- Marque a posição que o bloco se moveu no papel.
- Coloque uma pequena quantidade de massa dentro do balde. Posicione-o novamente em frente ao balde pendurado.
- Solte-o e marque a nova posição do bloco no papel.
- Repita o procedimento para diferentes massas no balde. Observe as distâncias percorridas.
- Em todo o processo procure medir a altura e o ângulo nos quais o balde será solto. Meça também a posição inicial do bloco e o deslocamento sofrido após o choque com o balde. Anote também os valores das massas usadas dentro do balde.
- Ao final calcule as energias cinética e potencial do sistema em cada caso.

### Comentários

- Para soltar o balde sempre de uma mesma posição, use uma cadeira, ou outro objeto, como ponto de referência.
- Procure fazer com que o balde e o bloco tenham sempre pesos proporcionais, ou seja, para um balde muito pesado não utilize um bloco muito leve ou vice-versa. Isto permite uma operação mais tranquila e um efeito visual melhor.

### Esquema Geral de Montagem



Projeto Experimentos de Física com Materiais do Dia-a-Dia - UNESP/Bauru

FCB/FCL

## Experimento II - Conservação da Energia III

### Objetivo

O objetivo deste experimento é mostrar a transformação da Energia Potencial Gravitacional em Energia Cinética, ilustrando a Conservação da Energia Mecânica.

### Contexto

O Princípio da Conservação da Energia diz que "a energia pode ser transformada ou transferida, mas nunca criada ou destruída".

Em um determinado sistema mecânico, em que formas de energia relacionadas a fenômenos eletromagnéticos ou térmicos não estão presentes, pode-se dizer que a energia total do sistema é puramente mecânica. Desse modo, o Princípio da Conservação da Energia implica a conservação da energia mecânica. Esta, por sua vez, é a soma das quantidades de energia cinética e diversas formas de energia potencial (gravitacional e elástica entre elas). Embora a energia mecânica seja sempre constante, a quantidade de cada uma de suas componentes pode sofrer variação de tal modo que a energia total do sistema permaneça constante.

Neste experimento podemos identificar uma transformação de um tipo de energia em outro. Inicialmente um objeto possui energia potencial gravitacional, que é a energia de interação entre a massa do objeto com a massa da Terra. Essa energia está armazenada no sistema Terra-objeto, e vai diminuindo à medida que o objeto e a Terra se aproximam. A energia potencial gravitacional de um objeto, que é diretamente proporcional ao produto da sua massa, da aceleração da gravidade ( $g$ ) e da sua distância vertical em relação a um ponto de referência, se transforma em energia cinética do objeto, que está associada aos eu movimento.

### Idéia do Experimento

A idéia do experimento é mostrar que a energia potencial gravitacional no início do movimento de queda de um objeto depende da altura de queda e independe da distância a ser percorrida pelo objeto. A energia potencial gravitacional no início do movimento será medida pela quantidade de energia cinética gerada durante a queda, que poderá ser avaliada através de um mecanismo de freamento do movimento do objeto em queda.

Neste experimento, utilizamos duas canaletas de diferentes comprimentos ( uma possui o dobro do comprimento da outra), dois copos e uma bolinha. Como as canaletas possuem diferentes comprimentos, se elas forem montadas de modo que a bolinha tenha a mesma altura inicial em ambas, a energia potencial gravitacional será igual nos dois casos. Assim a energia cinética da bolinha deverá ser a mesma ao final das duas canaletas, apesar do fato de num caso a bolinha percorrer o dobro da distância.

Em cada canaleta, o fenômeno é idêntico. Ao iniciar o movimento, a bolinha inicia a transformação da sua energia potencial gravitacional em energia cinética. Durante o movimento há diminuição da energia potencial gravitacional e aumento da energia cinética. Devido à conservação da energia mecânica, no final da canaleta, a energia potencial gravitacional devido à perda de altura se transforma em energia cinética. Parte desta energia cinética é transferida para o copo que se move e parte é perdida em energia térmica e sonora, decorrentes do movimento. Neste caso, o valor desta perda de energia chega a ser desprezível. Assim podemos supor que toda energia cinética da bolinha seja transferida para o copo. E após a bolinha entrar em contato com o copo, a energia cinética é toda transformada em outras formas de energia: em energia térmica e sonora que o copo gera através do atrito e som, dissipando assim a energia cinética que recebeu da bolinha.

O atrito sobre o copo é praticamente constante. E o copo necessita de uma quantidade fixa de energia cinética para vencer uma distância fixa. Portanto, se o copo se desloca mais, isto implica em um recebimento maior de energia cinética.

Ao se realizar o experimento, o que se observa é que os deslocamentos dos copos são, em média, praticamente iguais, mesmo tendo-se que uma distância que a bolinha percorre é o dobro da outra. Se variarmos a altura de queda de modo idêntico para ambas as canaletas, veremos que o resultado, em média, se mantém. A única diferença é que o deslocamento dos copos é proporcional à altura de queda. Então, para obter-se mais (ou menos) energia cinética, concluímos que a altura das canaletas é o fator que deve ser levado em consideração. Isto corrobora que a energia potencial gravitacional está diretamente relacionada à altura de queda do objeto e não à distância que ele percorre em queda.

### Tabela do Material

<b>Ítem</b>	<b>Observações</b>
2 copos plásticos	Usamos dois de 300ml.
5 tampinhas plásticas de refrigerantes de dois litros ou 600ml do tipo PET	Serão usadas para manter separadas as régua.
2 régua de 60 cm e 2 de 30cm	Usa-se régua de mesmo material para formar a rampa de rolamento do sistema, pois isso faz com que o atrito seja o mesmo em ambas.

fita adesiva	
suportes	Qualquer material para a elevação do sistema de réguas: livros, cadernos, lápis, etc...
uma bolinha	Bolinha de vidro.

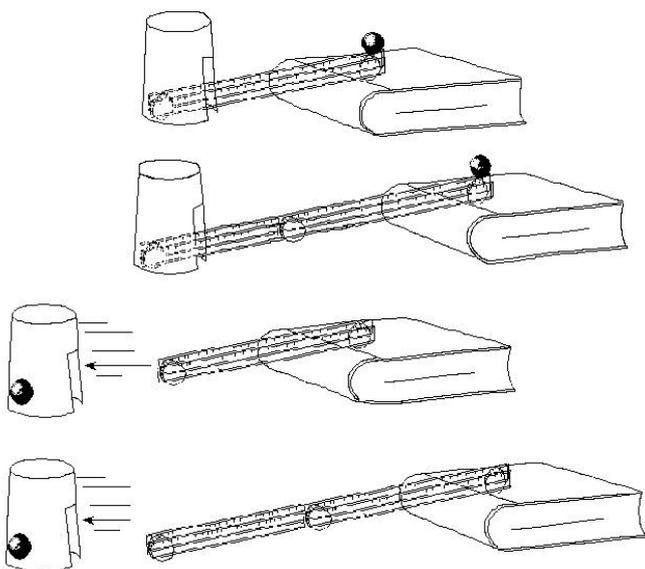
### Montagem

- Corte um quadrado de aproximadamente 3cm de largura por 6cm de altura na borda dos copos plásticos.
- Fixe, com fita adesiva, duas tampas plásticas nas extremidades de uma das réguas de 30cm, de modo que fiquem alinhadas.
- Fixe a outra régua de 30cm, horizontalmente, sobre a outra face das tampinhas. Esta junção das duas réguas, separadas pelas tampinhas, fica parecendo uma canaleta.
- Repita este mesmo procedimento para as réguas de 60cm, só que colocando uma tampinha a mais no centro das réguas.
- Para evitar que a bolinha ao rodar pela canaleta abra as duas réguas de 60cm, passe duas fitas adesivas na parte de baixo da canaleta, entre a primeira e a segunda tampa e entre a segunda e terceira tampa, de tal modo que as réguas não possam ser abertas e para que fiquem alinhadas.
- Coloque os copos sobre uma das extremidades das canaletas, sendo que o final de cada canaleta deverá tocar a face posterior de um dos copos.
- Levante a outra extremidade das canaletas usando como suporte um livro, que pode ser o mesmo para as duas.
- Coloque a bolinha de vidro no sulco de uma das canaletas, na parte de cima do suporte.
- Libere a bolinha e observe o copo.
- Repita este procedimento para a outra canaleta com a mesma bolinha, sem tirar o primeiro copo do lugar.
- Libere a bolinha e observe a posição do segundo copo.
- Repita o procedimento usando diferentes suportes, que permitam diferentes alturas.
- Em todo o processo procure medir a altura e o ângulo nos quais a bolinha será solta. Meça também a posição inicial do pote e o deslocamento sofrido após o choque com a bolinha. Ao final calcule as energias cinética e potencial do sistema em cada caso.

### Comentários

- Se houver falha no experimento, verifique os seguintes aspectos: as aberturas nos copos deverão ter altura maior que a da bolinha sobre a rampa; a face posterior dos copos deverão estar encostadas no final das canaletas.
- Não se esqueça que os suportes utilizados para elevar as duas canaletas devem ser os mesmos para ambos e que tenham alturas de no mínimo 5cm para melhor visualização do resultado.
- Use a mesma bolinha para as duas canaletas.

### Esquema Geral de Montagem



## Experimento III - Economia de Força II

### Objetivo

O objetivo deste experimento é ilustrar, através de um plano inclinado, formas de se realizar o mesmo trabalho economizando força.

### Contexto

Uma pessoa na rua está segurando a faixa de uma loja. Esta pessoa trabalha oito horas por dia sem se deslocar. Será que realmente ela está trabalhando? No cotidiano, sim. Mas, na Física, a palavra trabalho está associada a um deslocamento que uma força produz em um objeto. Portanto, no sentido físico, certamente que não.

"O trabalho de uma força é uma maneira de medir a quantidade de energia transferida, ou transformada, de um sistema para outro ou, em certos casos, a quantidade de energia transformada dentro de um mesmo sistema. O trabalho realizado por uma força constante corresponde ao produto da intensidade da força na direção do deslocamento pela intensidade do deslocamento".

Em uma construção, quando uma pessoa puxa uma corda que eleva um balde até uma certa altura, uma força é feita no balde para que ele seja deslocado. Essa força provocando um deslocamento corresponde ao trabalho realizado pela força aplicada na corda.

Fisicamente, há uma transferência de energia da pessoa para o balde. Essa quantidade de energia transferida fica armazenada no balde sob a forma de energia potencial gravitacional. Aqui está o verdadeiro significado físico de trabalho: o deslocamento provocado pela aplicação de uma força é responsável pela transferência de energia. A transferência de energia neste caso é: homem -> energia potencial gravitacional do balde. E se a corda for solta, essa energia potencial gravitacional se transformará em energia cinética durante a queda. Neste caso, a transferência de energia é: energia potencial gravitacional do balde -> energia cinética do balde.

### Idéia do Experimento

A idéia do experimento é verificar que com o uso adequado de um plano inclinado, pode-se realizar o mesmo trabalho fazendo-se menos força. O trabalho em questão é levantar um caixa a uma determinada altura.

O experimento consiste em utilizar duas rampas feitas com papelão, uma caixa de "chá mate", barbante, suportes, dinamômetro e massas. Para iniciar o experimento, as duas rampas devem estar montadas de acordo com a figura na seção Esquema Geral de Montagem.

Coloque as massas dentro da caixa e agora, sempre com a mesma velocidade e usando o dinamômetro, levante a caixa até a altura dos suportes de três modos: primeiramente sem o uso das rampas, depois na rampa mais curta (de maior inclinação) e finalmente na rampa mais longa (de menor inclinação). O que se observa no dinamômetro é que a força necessária para o levantamento é cada vez menor, enquanto a distância percorrida pela caixa é cada vez maior. Assim, o mesmo trabalho é feito usando-se de menos força, pagando-se o preço de se percorrer uma distância maior.

### Tabela do Material

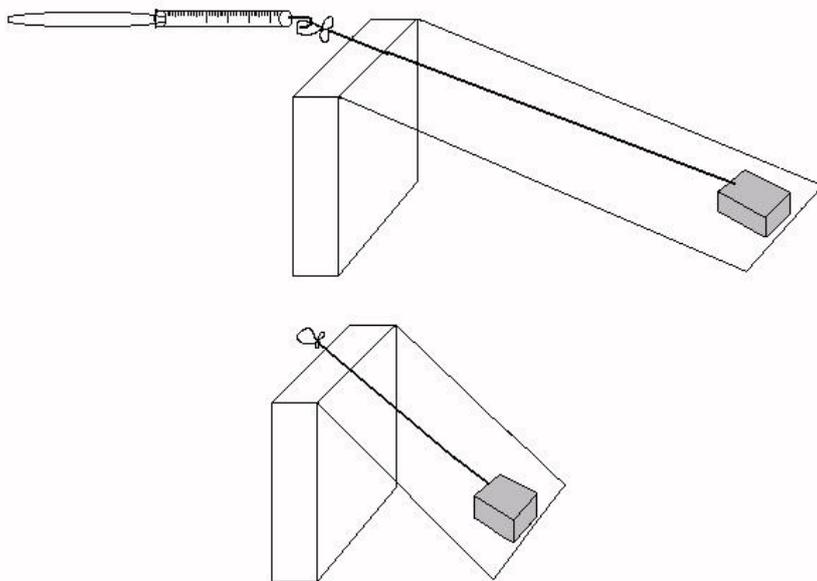
<i>Item</i>	<i>Observações</i>
<b>2 pedaços de papelão</b>	<b>Os papelões serão usados para formarem rampas.</b>
<b>suportes</b>	<b>Os suportes são utilizados para elevarem as rampas. Deverão ser iguais para ambas as rampas.</b>
<b>caixa</b>	<b>Utilizamos uma caixa de "chá mate", de 200 g, do tipo granel.</b>
<b>massas</b>	<b>Qualquer material para pôr nas caixas. Por exemplo: massa de modelar, moedas, etc...</b>
<b>barbante</b>	
<b>dinamômetro</b>	<b>Veja o anexo.</b>
<b>fita adesiva</b>	

### Montagem

- Corte uma das rampas de papelão com 60 cm de comprimento e a outra rampa com 30 cm.
- Faça dois suportes de mesmo tamanho e formato, se possível com os mesmos materiais para ambos.
- Coloque uma das rampas em um suporte e a outra no outro.
- Fixe com fita adesiva as rampas na borda dos suportes, para que estas não se desloquem.
- Fure dois lados da caixa de chá. Passe uma das extremidades do barbante nos furos e amarre-o na outra ponta. Este arranjo deverá ficar parecendo uma sacolinha.
- Coloque massas na caixa.

- Com o uso do dinamômetro, levante a caixa até que seu fundo atinja o topo dos suportes de 3 modos: sem a rampa nenhuma e depois usando cada rampa e em cada caso anote o valor da força.
- Em todo o processo procure medir a altura e o ângulo nos quais a rampa será configurada. Ao final calcule as energias cinética e potencial do sistema.

### Esquema Geral de Montagem



## ANEXO

### DINAMÔMETRO

Se você possuir dinamômetro, use-o. Se não tiver, faça este dinamômetro, que é bem simples e fácil de montar. Neste experimento sugerimos determinados materiais para a construção de um dinamômetro, mas materiais similares podem ser usados também, com sucesso.

#### Tabela do material

Item	Observações
um cano de metal	Utilizamos um cano de alumínio de antena de tv.
uma borrachinha de dinheiro	
um alfinete	
um pedaço de canudo para refrigerante	O canudo utilizado é do tipo mais largo.
arame	Um pedaço de arame dobrado em dois, de modo que, encaixe no canudo.
um clips	Para prender folhas de papel.
um pedaço de papel	O papel é usado para graduar o dinamômetro.
elástico	Utilizamos um elástico de dinheiro.

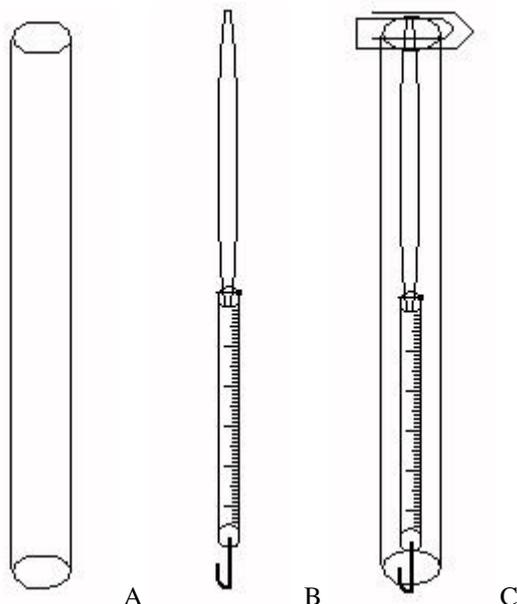
#### Montagem

- Corte o cano de metal com aproximadamente 17cm (Figura A).
- Corte o canudo com um comprimento aproximado de 10cm.
- Coloque uma das extremidades do elástico dentro de uma das extremidades do canudo. Fixe o alfinete no canudo, de forma que, o elástico e o canudo fiquem presos.

- Corte uma tira de papel que possa ser colada no canudo.
- Faça uma escala graduada em centímetros no papel cortado. Fixe com uma fita adesiva o papel no canudo.
- Na outra extremidade do canudo, coloque o arame dobrado ao meio. O arame deverá ficar encaixado dentro do canudo, como se fosse um "anzol" (Figura B).
- Coloque a outra extremidade do elástico encaixado no clips de acordo com a montagem abaixo.

Coloque o conjunto feito com o canudo, o elástico e o gancho dentro do cano de metal. Este ficará preso pelo clips na extremidade do cano (Figura C).

#### Esquema Geral de Montagem



Projeto Experimentos de Física com Materiais do Dia-a-Dia - UNESP/Bauru

FCB/FCL

### Determinação da Constante Elástica de uma Mola

#### Referência

Alunos da disciplina Produção de Material Didático (FEP 458)  
Licenciatura em Física - IFUSP -- Turma: Noturno/2005

#### Introdução

Podemos dizer que todo corpo sofre deformações ao ser submetido a qualquer tipo de força. Entre outros tipos de deformações, temos a deformação elástica. A deformação elástica é uma característica de todo tipo de material. Aplicando-se algum tipo de tração em um corpo, ele tende a se alongar, ou seja, seu comprimento final é maior que o comprimento inicial. Cessado o esforço que causou o alongamento, o objeto tende a voltar ao seu comprimento inicial. Isso significa dizer que não houve nenhuma deformação definitiva no objeto (uma deformação plástica ou mesmo uma ruptura no material). Para medir forças, um dos instrumentos utilizados é o dinamômetro de mola. O dinamômetro de mola é constituído de uma mola helicoidal, tendo na sua extremidade superior um cursor que desliza sobre uma escala previamente graduada quando o dinamômetro é calibrado. Na outra extremidade da mola é aplicada a força  $F$  que se quer medir (fig. 1).

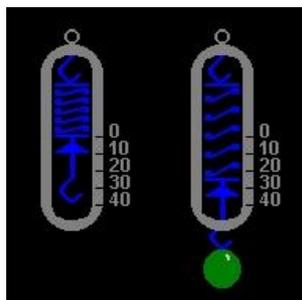


Figura 1

## OBJETIVOS

A experiência consiste na determinação da constante elástica de uma mola pela determinação direta do coeficiente entre a força aplicada à mola e seu alongamento.

## CONCEITOS ABORDADOS

O dinamômetro funciona baseado na Lei de Hooke. Quando a deformação  $X$  da mola é elástica, cessando a ação da força  $F$  que produziu a deformação, a mola volta à posição inicial devido à ação da força elástica  $F_{el}$  intrínseca à mola (fig. 2).

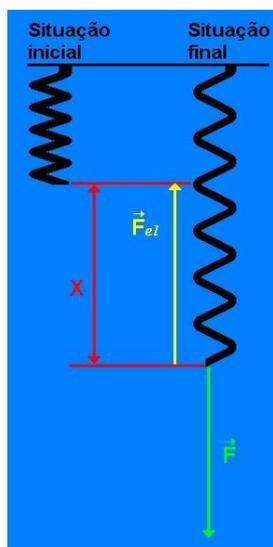


Figura 2

Hooke estabeleceu uma lei que relaciona a força elástica  $F_{el}$  com a deformação  $X$  produzida na mola que é a seguinte:

### Enunciado da Lei de Hooke:

"A intensidade da força elástica  $F_{el}$  é proporcional à deformação  $X$ ".

Expressão:

$$F_{el} = Kx$$

ou vetorialmente:

$$F_{el} = - Kx$$

onde  $K$  é a constante elástica da mola. A unidade da constante elástica da mola no Sistema Internacional é  $N/m$ .

Observação: O sinal negativo na expressão vetorial da Lei de Hooke significa que o vetor força elástica  $F_{el}$  atua no sentido contrário ao vetor deformação  $X$ .

### Materiais

---

- uma mola, por exemplo, uma espira de caderno.
- uma régua ou um papel milimetrado
- 10 massas iguais, por exemplo, 10 bolinhas de gude
- um suporte para colocar as massas escolhidas. Pode ser usado um copinho plástico com furos na parte superior para poder passar um barbante e amarrar o copinho à mola.
- um pedaço de barbante.

### Montagem

---

- Passe o barbante nos furos do copinho plástico e amarre-o na parte inferior da mola.
- Prenda a mola com o suporte em algum lugar de maneira que o conjunto possa ficar suspenso e com a extremidade inferior livre. Pode ser usado, por exemplo, a maçaneta de uma porta para prender o conjunto. O mais importante é que a extremidade inferior fique livre.

- Se for usada a porta como local para fazer a experiência, coloque ao lado do conjunto mola e suporte, ou seja, prenda na porta com uma fita adesiva, a régua ou o papel milimetrado.

A figura abaixo ilustra a montagem inicial.

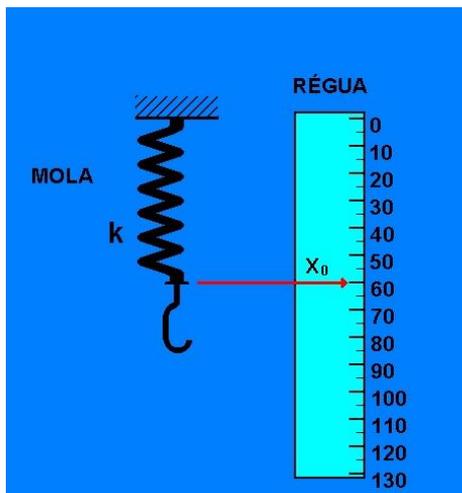


Figura 3

### Procedimento

Para determinar o valor da constante elástica da mola, siga o roteiro abaixo:

1. Determine o valor da massa do suporte (copinho) e de cada massa que você irá usar (no exemplo, as bolinhas de gude).
2. Estando o copinho preso à mola, verifique qual é a alongação inicial da mola. Nesse caso, o valor da massa do copinho corresponde à massa  $m_0$  e a alongação corresponde a  $x_0$ . Anote esses valores na tabela, na coluna 1 o valor da massa e na coluna 2 o valor da posição da mola.
3. Acrescente um valor conhecido de massa ao copinho (uma ou algumas bolinhas de gude). Some o valor da massa acrescentada à massa  $m_0$ . Essa nova massa será chamada de  $m_1$ . Verifique o valor correspondente da posição da mola que será chamado de  $x_1$ . Anote os valores de  $m_1$  e de  $x_1$  nos campos 1 e 2 da tabela, respectivamente.
4. Repita o procedimento anterior, acrescentando massas à quantidade anterior. Verifique o valor correspondente da posição da mola e anotes os na tabela.
5. Repita o procedimento descrito nos itens 3 e 4 entre oito e dez vezes.

A figura abaixo ilustra o procedimento para medição.

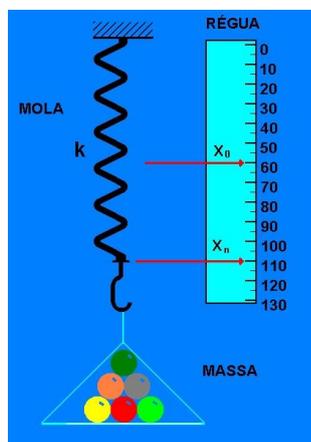


Figura 4

### Observação:

As massas são cumulativas, isto é, para cada medição realizada, serão acrescentadas massas à quantidade anterior. Isso permite que se tenha massas maiores e, conseqüentemente, alongamentos maiores.

Tendo preenchido os valores das massas  $m_n$  e dos respectivos alongamentos da mola  $X_n$ , colunas 1 e 2, siga os procedimentos descritos abaixo para completar os valores na tabela.

1. Calcule os valores dos pesos correspondentes às massas. Multiplique os valores de cada massa pelo valor da aceleração da gravidade. Considere  $g=10 \text{ m/s}^2$ . Anote esses valores nos campos correspondentes aos pesos  $P_n$  na coluna 3 da tabela.
2. Calcule os valores dos alongamentos da mola referentes a cada valor de  $P$  e anote os valores na coluna 4 da tabela. Os valores dos alongamentos correspondem à diferença entre a posição lida  $X_n$  e a posição inicial da mola  $X_0$ . Por exemplo, a alongação correspondente ao peso  $P_3$  é  $X_3 = X_3 - X_0$ .
3. Calcule os valores dos quocientes entre os pesos e as alongações correspondentes,  $P_n / X_n$ , e anote os resultados na coluna 5 da tabela.

1	2	3	4	5
Massa (kg)	Posição da mola (m)	Peso (N)	Alongamento (m)	Tg $\theta$ (N/m)
$M_0 =$	$X_0 =$	$P_0 =$	$X_0 =$	$P_0 / X_0 =$
$M_1 =$	$X_1 =$	$P_1 =$	$X_1 - X_0 =$	$P_1 / (X_1 - X_0) =$
$M_2 =$	$X_2 =$	$P_2 =$	$X_2 - X_0 =$	$P_2 / (X_2 - X_0) =$
$M_3 =$	$X_3 =$	$P_3 =$	$X_3 - X_0 =$	$P_3 / (X_3 - X_0) =$
$M_4 =$	$X_4 =$	$P_4 =$	$X_4 - X_0 =$	$P_4 / (X_4 - X_0) =$
$M_5 =$	$X_5 =$	$P_5 =$	$X_5 - X_0 =$	$P_5 / (X_5 - X_0) =$
$M_6 =$	$X_6 =$	$P_6 =$	$X_6 - X_0 =$	$P_6 / (X_6 - X_0) =$
$M_7 =$	$X_7 =$	$P_7 =$	$X_7 - X_0 =$	$P_7 / (X_7 - X_0) =$
$M_8 =$	$X_8 =$	$P_8 =$	$X_8 - X_0 =$	$P_8 / (X_8 - X_0) =$
$M_9 =$	$X_9 =$	$P_9 =$	$X_9 - X_0 =$	$P_9 / (X_9 - X_0) =$
$M_n =$	$X_n =$	$P_n =$	$X_n - X_0 =$	$P_n / (X_n - X_0) =$

Tabela para coleta de dados

Figura 5

Construa um sistema de coordenadas X e Y e coloque os valores dos pesos no eixo Y e os valores dos alongamentos da mola no eixo X. Cada valor de X corresponde a um valor de Y. Trace uma reta unindo os pontos que correspondem aos pares X, Y. Obteremos um gráfico do peso em função do alongamento da mola, semelhante ao gráfico da figura abaixo:

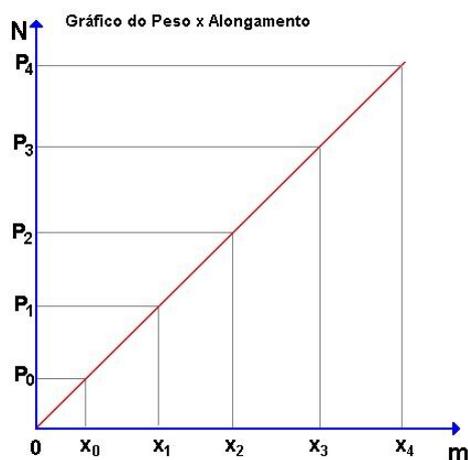


Figura 6

Determine em qual região do seu gráfico a curva do peso em função do alongamento pode ser aproximada por uma reta, e calcule o valor **K** da constante elástica da mola que se obtém considerando apenas os pontos do gráfico nessa região.

1. Enuncie a lei de Hooke.
2. Qual a relação entre o valor da constante da mola,  $k$ , com o valor da  $\tan$  do ângulo, descrito pela expressão  $P_n / (X_n - X_0)$ ?
3. Para um determinado valor da constante elástica  $k$ , a força necessária para fazer a mola deslocar um valor  $dX$  tem módulo igual a  $F$ . Se usarmos uma mola com constante elástica  $2k$ , qual será a força necessária para realizar o mesmo deslocamento  $dX$  da mola?
4. Qual é o significado físico da inclinação da reta do gráfico?
5. Como você acha que esse gráfico se modificaria se a mola não fosse ideal?
6. O que é um dinamômetro e qual é seu princípio de funcionamento?
7. Quais as utilidades de um dinamômetro? É possível determinar a constante elástica de uma mola usando um dinamômetro?
8. Utilizando um dicionário, verifique o significado da palavra calibração e da palavra aferição. Qual a diferença entre elas e qual dos termos se aplica na determinação da constante elástica da mola.
9. Qual a diferença entre balança e dinamômetro?
10. Faça uma pesquisa, na internet ou outro meio de divulgação, levantando algumas aplicações práticas do dinamômetro na indústria.

#### Conclusões

---

Em princípio, qualquer material elástico poderia ser usado para realizar essa atividade. Porém, é aconselhável que se utilize algum tipo de material onde a deformação elástica seja algo notório, por isso demos a sugestão de usar a espira de caderno que é um material que se alonga sem que haja deformação permanente, em um comprimento significativo e, com isso, poder observar a Lei de Hooke.

O ideal é utilizar as espiras plásticas de cadernos, mas outros tipos de molas podem ser usadas e atingirem resultados satisfatórios.

Para enriquecer ainda mais essa atividade, sugerimos que seja proposto aos alunos utilizarem como material, elásticos de roupa, tripa de mico, elásticos para prender dinheiro etc. Propor isso após a realização da atividade com a mola tradicional e que os alunos façam uma comparação das duas situações. Como essa atividade aborda o tema da constante elástica de uma forma mais conceitual, onde através da experiência, abordamos o conceito envolvido, a mesma pode ser aplicada tanto em nível médio, como nível superior e também em cursos técnicos.

#### Dados adicionais

---

Elaborado: Claudio Ubirajara Salício, Daniel Augusto de Castro Spiegiorin, Welton Ricardo Valente

[http://www.cienciamao.usp.br/tudo/exibir.php?midia=pmd&cod=\\_pmd2005\\_0402](http://www.cienciamao.usp.br/tudo/exibir.php?midia=pmd&cod=_pmd2005_0402)

---

## Experimento IV - Economia de Força I

### Objetivo

O objetivo deste experimento é ilustrar o conceito físico de trabalho.

### Contexto

Uma pessoa na rua está segurando a faixa de uma loja. Esta pessoa trabalha oito horas por dia sem se deslocar. Será que realmente ela está trabalhando? No cotidiano, sim. Mas, na Física, a palavra trabalho está associada a um deslocamento que uma força produz em um objeto. Portanto, no sentido físico, certamente que não.

"O trabalho de uma força é uma maneira de medir a quantidade de energia transferida, ou transformada, de um sistema para outro ou, em certos casos, a quantidade de energia transformada dentro de um mesmo sistema. O trabalho realizado por uma força constante corresponde ao produto da intensidade da força na direção do deslocamento pela intensidade do deslocamento".

Em uma construção, quando uma pessoa puxa uma corda que eleva um balde até uma certa altura, uma força é feita no balde para que ele seja deslocado. Essa força provocando um deslocamento corresponde ao trabalho realizado pela força aplicada na corda.

Fisicamente, há uma transferência de energia da pessoa para o balde. Essa quantidade de energia transferida fica armazenada no balde sob a forma de energia potencial gravitacional. Aqui está o verdadeiro significado físico de trabalho: o deslocamento provocado pela aplicação de uma força é responsável pela transferência de energia. A transferência de energia neste caso é: homem  $\rightarrow$  energia potencial gravitacional do balde. E se a corda for solta, essa energia potencial gravitacional se transformará em energia cinética durante a queda. Neste caso, a transferência de energia é: energia potencial gravitacional do balde  $\rightarrow$  energia cinética do balde.

### Idéia do experimento

A idéia do experimento é verificar que, para a realização de trabalho deve-se levar em conta a direção de aplicação da força. Ou seja, uma força imensa, mas mal aplicada pode não gerar transferência de energia e, assim, não realizar trabalho algum.

O experimento consiste na aplicação de forças em várias direções em um objeto com liberdade restringida, de modo que para o mesmo trabalho (mesma energia cinética final, neste caso) necessita-se menos força se esta for aplicada paralelamente à direção permitida de movimento do objeto.

Utilizamos duas réguas, um dinamômetro e uma caixa. Usa-se o dinamômetro para simultaneamente aplicar uma força sobre a caixa e medir sua intensidade. Aplica-se uma força na caixa, fazendo um ângulo qualquer com a direção permitida para o seu movimento, de tal modo que a sua velocidade final seja sempre, aproximadamente, a mesma (ou seja, aproximadamente a mesma energia cinética final).

O que se observa no dinamômetro é que na direção paralela ao movimento, precisa-se de menos força para produzir o mesmo trabalho. Neste caso, o ângulo entre a força e o deslocamento é zero graus. À medida que este ângulo aumenta, precisa-se de mais força para fazer o mesmo trabalho.

### Tabela do Material

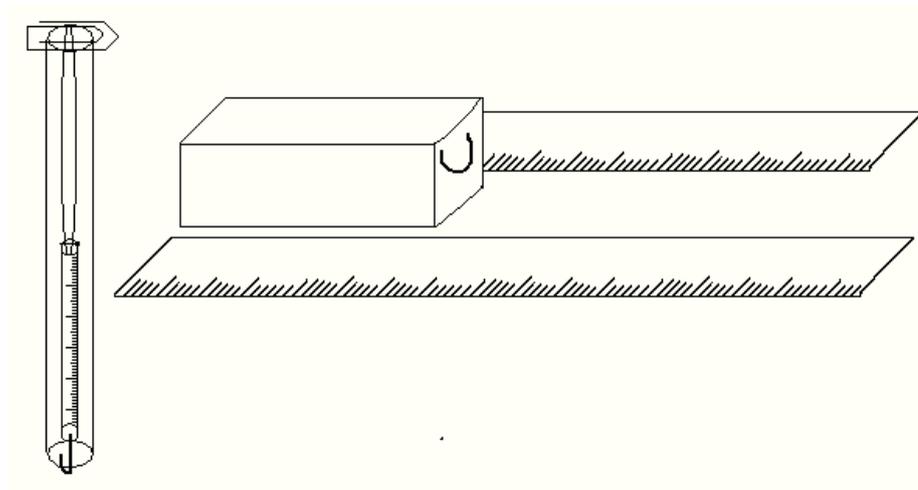
<i>Item</i>	<i>Observações</i>
<b>uma caixa</b>	Usamos uma caixinha pequena de clips, 10x5x2cm, aproximadamente. A caixa estava com alguns clips, para regular o peso total.
<b>duas réguas</b>	Podem ser de 30cm com pelo menos uma borda alta.
<b>fita adesiva</b>	
<b>barbante</b>	No experimento usamos barbante, mas pode ser uma cordinha ou outro material deste tipo.

### Montagem

- Para montar o dinamômetro, veja o anexo.
- Fixe com fita adesiva uma das réguas sobre a mesa.
- Encoste a caixa na borda alta da régua. Encoste a borda alta da outra régua no outro lado da caixa, conforme a figura abaixo, do Esquema Geral de Montagem. Fixe-a com fita adesiva.
- Use o barbante para fazer uma alça grudada na face que será usada para puxar a caixa.
- Encaixe o dinamômetro na alça da parte da frente da caixa e puxe-a até que ela atinja a velocidade desejada. Observe o quanto de força utilizada marca o dinamômetro. Varie o ângulo de aplicação e observe a intensidade da força.
- E em cada caso anote o valor da força.

- Em todo o processo procure medir a altura e o ângulo nos quais a rampa será configurada. Ao final calcule as energias cinética e potencial do sistema.

### Esquema Geral de Montagem



### Anexo 1

#### DINAMÔMETRO

Se você possuir dinamômetro, use-o. Se não tiver, faça este dinamômetro, que é bem simples e fácil de montar. Neste experimento sugerimos determinados materiais para a construção de um dinamômetro, mas materiais similares podem ser usados também, com sucesso.

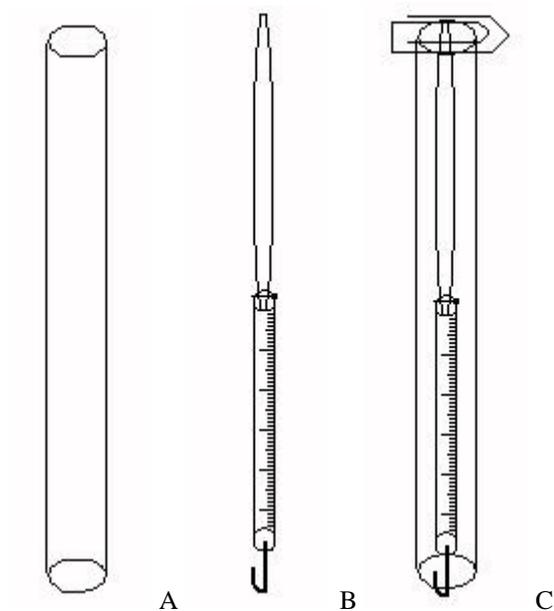
Tabela do material

Item	Observações
um cano de metal	Utilizamos um cano de alumínio de antena de tv.
uma borrachinha de dinheiro	
um alfinete	
um pedaço de canudo para refrigerante	O canudo utilizado é do tipo mais largo.
arame	Um pedaço de arame dobrado em dois, de modo que, encaixe no canudo.
um clips	Para prender folhas de papel.
um pedaço de papel	O papel é usado para graduar o dinamômetro.
elástico	Utilizamos um elástico de dinheiro.

#### Montagem

- Corte o cano de metal com aproximadamente 17cm (Figura A).
- Corte o canudo com um comprimento aproximado de 10cm.
- Coloque uma das extremidades do elástico dentro de uma das extremidades do canudo. Fixe o alfinete no canudo, de forma que, o elástico e o canudo fiquem presos.
- Corte uma tira de papel que possa ser colada no canudo.
- Faça uma escala graduada em centímetros no papel cortado. Fixe com uma fita adesiva o papel no canudo.
- Na outra extremidade do canudo, coloque o arame dobrado ao meio. O arame deverá ficar encaixado dentro do canudo, como se fosse um "anzol" (Figura B).
- Coloque a outra extremidade do elástico encaixado no clips de acordo com a montagem abaixo.
- Coloque o conjunto feito com o canudo, o elástico e o gancho dentro do cano de metal. Este ficará preso pelo clips na extremidade do cano (Figura C).

## Esquema Geral de Montagem



Projeto Experimentos de Física com Materiais do Dia-a-Dia - UNESP/Bauru

FCB /FCL

---

## Determinação da Constante Elástica de uma Mola

Referência

---

Alunos da disciplina Produção de Material Didático (FEP 458)  
Licenciatura em Física - IFUSP -- Turma: Noturno/2005

Introdução

Podemos dizer que todo corpo sofre deformações ao ser submetido a qualquer tipo de força. Entre outros tipos de deformações, temos a deformação elástica. A deformação elástica é uma característica de todo tipo de material. Aplicando-se algum tipo de tração em um corpo, ele tende a se alongar, ou seja, seu comprimento final é maior que o comprimento inicial. Cessado o esforço que causou o alongamento, o objeto tende a voltar ao seu comprimento inicial. Isso significa dizer que não houve nenhuma deformação definitiva no objeto (uma deformação plástica ou mesmo uma ruptura no material). Para medir forças, um dos instrumentos utilizados é o dinamômetro de mola. O dinamômetro de mola é constituído de uma mola helicoidal, tendo na sua extremidade superior um cursor que desliza sobre uma escala previamente graduada quando o dinamômetro é calibrado. Na outra extremidade da mola é aplicada a força  $F$  que se quer medir (fig. 1).

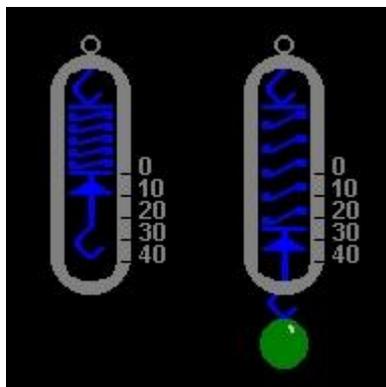


Figura 1

## OBJETIVOS

A experiência consiste na determinação da constante elástica de uma mola pela determinação direta do coeficiente entre a força aplicada à mola e seu alongamento.

## CONCEITOS ABORDADOS

O dinamômetro funciona baseado na Lei de Hooke. Quando a deformação  $X$  da mola é elástica, cessando a ação da força  $F$  que produziu a deformação, a mola volta à posição inicial devido à ação da força elástica  $F_{el}$  intrínseca à mola (fig. 2).

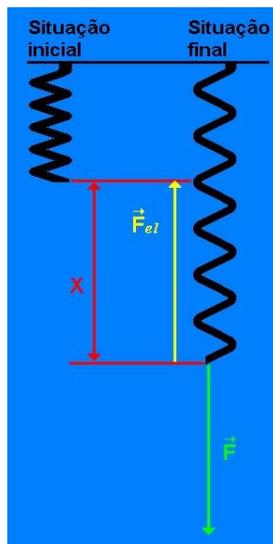


Figura 2

Hooke estabeleceu uma lei que relaciona a força elástica  $F_{el}$  com a deformação  $X$  produzida na mola que é a seguinte:

### Enunciado da Lei de Hooke:

"A intensidade da força elástica  $F_{el}$  é proporcional à deformação  $X$ ".

Expressão:

$$F_{el} = Kx$$

ou vetorialmente:

$$F_{el} = - Kx$$

onde  $K$  é a constante elástica da mola. A unidade da constante elástica da mola no Sistema Internacional é  $N/m$ .

Observação: O sinal negativo na expressão vetorial da Lei de Hooke significa que o vetor força elástica  $F_{el}$  atua no sentido contrário ao vetor deformação  $X$ .

### Materiais

---

- uma mola, por exemplo, uma espira de caderno.
- uma régua ou um papel milimetrado
- 10 massas iguais, por exemplo, 10 bolinhas de gude
- um suporte para colocar as massas escolhidas. Pode ser usado um copinho plástico com furos na parte superior para poder passar um barbante e amarrar o copinho à mola.
- um pedaço de barbante.

### Montagem

---

- Passe o barbante nos furos do copinho plástico e amarre-o na parte inferior da mola.
- Prenda a mola com o suporte em algum lugar de maneira que o conjunto possa ficar suspenso e com a extremidade inferior livre. Pode ser usado, por exemplo, a maçaneta de uma porta para prender o conjunto. O mais importante é que a extremidade inferior fique livre.
- Se for usada a porta como local para fazer a experiência, coloque ao lado do conjunto mola e suporte, ou seja, prenda na porta com uma fita adesiva, a régua ou o papel milimetrado.

A figura abaixo ilustra a montagem inicial.

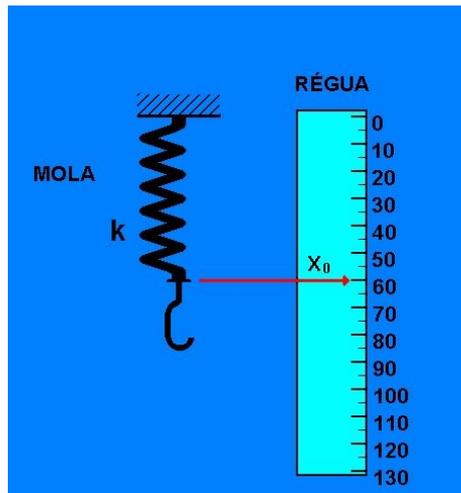


Figura 3

### Procedimento

Para determinar o valor da constante elástica da mola, siga o roteiro abaixo:

- Determine o valor da massa do suporte (copinho) e de cada massa que você irá usar (no exemplo, as bolinhas de gude).
- Estando o copinho preso à mola, verifique qual é a alongação inicial da mola. Nesse caso, o valor da massa do copinho corresponde à massa  $m_0$  e a alongação corresponde a  $x_0$ . Anote esses valores na tabela, na coluna 1 o valor da massa e na coluna 2 o valor da posição da mola.
- Acrescente um valor conhecido de massa ao copinho (uma ou algumas bolinhas de gude). Some o valor da massa acrescentada à massa  $m_0$ . Essa nova massa será chamada de  $m_1$ . Verifique o valor correspondente da posição da mola que será chamado de  $x_1$ . Anote os valores de  $m_1$  e de  $x_1$  nos campos 1 e 2 da tabela, respectivamente.
- Repita o procedimento anterior, acrescentando massas à quantidade anterior. Verifique o valor correspondente da posição da mola e anotes os na tabela.
- Repita o procedimento descrito nos itens 3 e 4 entre oito e dez vezes.

A figura abaixo ilustra o procedimento para medição.

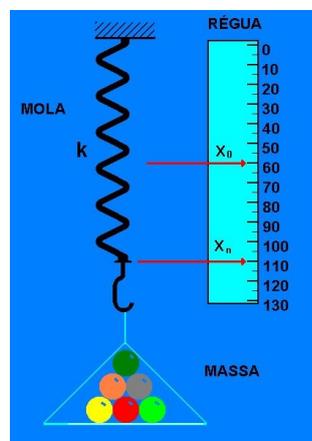


Figura 4

### Observação:

As massas são cumulativas, isto é, para cada medição realizada, serão acrescentadas massas à quantidade anterior. Isso permite

que se tenha massas maiores e, conseqüentemente, alongamentos maiores.

Tendo preenchido os valores das massas  $m_n$  e dos respectivos alongamentos da mola  $X_n$ , colunas 1 e 2, siga os procedimentos descritos abaixo para completar os valores na tabela.

- Calcule os valores dos pesos correspondentes às massas. Multiplique os valores de cada massa pelo valor da aceleração da gravidade. Considere  $g=10 \text{ m/s}^2$ . Anote esses valores nos campos correspondentes aos pesos  $P_n$  na coluna 3 da tabela.
- Calcule os valores dos alongamentos da mola referentes a cada valor de  $P$  e anote os valores na coluna 4 da tabela. Os valores dos alongamentos correspondem à diferença entre a posição lida  $X_n$  e a posição inicial da mola  $X_0$ . Por exemplo, a alongação correspondente ao peso  $P_3$  é  $X_3 = X_3 - X_0$ .
- Calcule os valores dos quocientes entre os pesos e as alongações correspondentes,  $P_n / X_n$ , e anote os resultados na coluna 5 da tabela.

1	2	3	4	5
Massa (kg)	Posição da mola (m)	Peso (N)	Alongamento (m)	Tg $\theta$ (N/m)
$M_0 =$	$X_0 =$	$P_0 =$	$X_0 =$	$P_0 / X_0 =$
$M_1 =$	$X_1 =$	$P_1 =$	$X_1 - X_0 =$	$P_1 / (X_1 - X_0) =$
$M_2 =$	$X_2 =$	$P_2 =$	$X_2 - X_0 =$	$P_2 / (X_2 - X_0) =$
$M_3 =$	$X_3 =$	$P_3 =$	$X_3 - X_0 =$	$P_3 / (X_3 - X_0) =$
$M_4 =$	$X_4 =$	$P_4 =$	$X_4 - X_0 =$	$P_4 / (X_4 - X_0) =$
$M_5 =$	$X_5 =$	$P_5 =$	$X_5 - X_0 =$	$P_5 / (X_5 - X_0) =$
$M_6 =$	$X_6 =$	$P_6 =$	$X_6 - X_0 =$	$P_6 / (X_6 - X_0) =$
$M_7 =$	$X_7 =$	$P_7 =$	$X_7 - X_0 =$	$P_7 / (X_7 - X_0) =$
$M_8 =$	$X_8 =$	$P_8 =$	$X_8 - X_0 =$	$P_8 / (X_8 - X_0) =$
$M_9 =$	$X_9 =$	$P_9 =$	$X_9 - X_0 =$	$P_9 / (X_9 - X_0) =$
$M_n =$	$X_n =$	$P_n =$	$X_n - X_0 =$	$P_n / (X_n - X_0) =$

Tabela para coleta de dados

Figura 5

Construa um sistema de coordenadas X e Y e coloque os valores dos pesos no eixo Y e os valores dos alongamentos da mola no eixo X. Cada valor de X corresponde a um valor de Y. Trace uma reta unindo os pontos que correspondem aos pares X, Y. Obteremos um gráfico do peso em função do alongamento da mola, semelhante ao gráfico da figura abaixo:

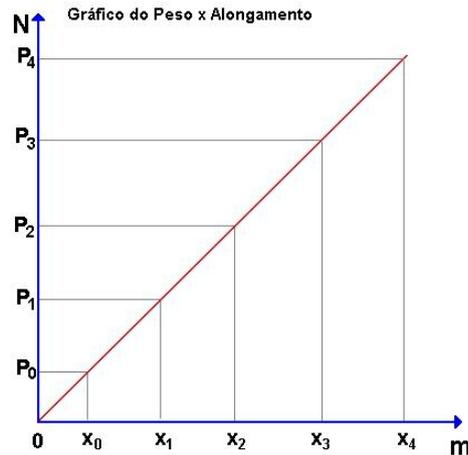


Figura 6

Determine em qual região do seu gráfico a curva do peso em função do alongamento pode ser aproximada por uma reta, e calcule o valor **K** da constante elástica da mola que se obtém considerando apenas os pontos do gráfico nessa região.

#### Roteiro

- Enuncie a lei de Hooke.
- Qual a relação entre o valor da constante da mola,  $k$ , com o valor da tg do ângulo, descrito pela expressão  $P_n / (X_n - X_0)$ ?

13. Para um determinado valor da constante elástica  $k$ , a força necessária para fazer a mola deslocar um valor  $dX$  tem módulo igual a  $F$ . Se usarmos uma mola com constante elástica  $2k$ , qual será a força necessária para realizar o mesmo deslocamento  $dX$  da mola?
14. Qual é o significado físico da inclinação da reta do gráfico?
15. Como você acha que esse gráfico se modificaria se a mola não fosse ideal?
16. O que é um dinamômetro e qual é seu princípio de funcionamento?
17. Quais as utilidades de um dinamômetro? É possível determinar a constante elástica de uma mola usando um dinamômetro?
18. Utilizando um dicionário, verifique o significado da palavra calibração e da palavra aferição. Qual a diferença entre elas e qual dos termos se aplica na determinação da constante elástica da mola.
19. Qual a diferença entre balança e dinamômetro?
20. Faça uma pesquisa, na internet ou outro meio de divulgação, levantando algumas aplicações práticas do dinamômetro na indústria.

### Conclusões

---

Em princípio, qualquer material elástico poderia ser usado para realizar essa atividade. Porém, é aconselhável que se utilize algum tipo de material onde a deformação elástica seja algo notório, por isso demos a sugestão de usar a espira de caderno que é um material que se alonga sem que haja deformação permanente, em um comprimento significativo e, com isso, poder observar a Lei de Hooke.

O ideal é utilizar as espiras plásticas de cadernos, mas outros tipos de molas podem ser usadas e atingirem resultados satisfatórios.

Para enriquecer ainda mais essa atividade, sugerimos que seja proposto aos alunos utilizarem como material, elásticos de roupa, tripa de mico, elásticos para prender dinheiro etc. Propor isso após a realização da atividade com a mola tradicional e que os alunos façam uma comparação das duas situações. Como essa atividade aborda o tema da constante elástica de uma forma mais conceitual, onde através da experiência, abordamos o conceito envolvido, a mesma pode ser aplicada tanto em nível médio, como nível superior e também em cursos técnicos.

### Dados adicionais

---

Elaborado: Claudio Ubirajara Salício, Daniel Augusto de Castro Spegiorin, Welton Ricardo Valente

[http://www.cienciamao.usp.br/tudo/exibir.php?midia=pmd&cod=\\_pmd2005\\_0402](http://www.cienciamao.usp.br/tudo/exibir.php?midia=pmd&cod=_pmd2005_0402)

---

## Experimento V

### Conservação de energia na queda livre de um objeto

- Objetivos:**
- 1) Observar e quantificar, dentro das limitações experimentais, a conservação da energia mecânica.
  - 2) Obter a imprecisão nas medições das energias mecânicas para efetivar a comparação.
  - 3) Enumerar as aproximações admitidas na proposta seguida e discutir as validades.
  - 4) Analisar o efeito do tempo de reação dos observadores.

### Proposta:

Quando um objeto de massa  $m$  cai em queda livre de uma altura  $h$ , a energia mecânica do objeto ao ser solto com velocidade inicial nula é dada por  $mgh$ , a energia potencial, onde  $g$  é a aceleração da gravidade. A queda livre implica que estamos supondo a resistência do ar desprezível. Assim sendo, a energia cinética ( $E_c$ ) do objeto, ao chegar ao solo, deve ser igual à energia potencial ( $E_p$ ). A velocidade final  $v$  pode ser obtida cinematicamente através do tempo de queda.

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2$$

onde:

$$v = gt$$

$$g = 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$E_p = E_c, \text{ isto é, } mgh = \frac{1}{2}mv^2$$

Se a queda não for livre, isto é, se existir um efeito mensurável da resistência do ar, a energia mecânica não será conservada. A resistência do ar é uma força dissipativa.

### Material necessário:

1. Blocos de madeira com massas aproximadamente iguais, mas com formatos diferentes. Podem ser caixas de fósforos (vazias ou cheias) ou blocos de outros materiais.
2. Cronômetro
3. Fita métrica ou trena

### Procedimento:

1. Numere os lados do paralelepípedo e use-o sempre na mesma posição. Por exemplo, lado 1 para baixo.
2. Um aluno solta um bloco rente a uma parede, de uma altura  $h$ , e um outro aluno mede o tempo de queda, repetindo várias vezes. Organize os dados numa tabela e obtenha o valor médio dos tempos de queda. Calcule a velocidade correspondente ao valor médio dos tempos medidos.
3. Repita as medições com o outro lado virado para baixo, de preferência de área bem diferente à do lado 1. Suponhamos que o lado escolhido seja o lado 2.
4. Meça as áreas dos lados 1 e 2 do paralelepípedo.
5. Compare as velocidades obtidas com o lado 1 voltado para baixo e com o lado 2 para baixo. Discuta qual o efeito da resistência do ar nesses dois casos.
6. Discuta qual o efeito da massa do objeto na verificação da conservação da energia. Diferentes grupos de alunos poderão usar objetos diferentes, com massas diferentes. A comparação dos resultados obtidos por grupos diferentes deve embasar essa discussão.
7. Meça o seu tempo de reação. Cada aluno deve ligar e desligar o cronômetro o mais rapidamente possível. Meça esse intervalo de tempo repetidas vezes. Compare a dispersão dos valores obtidos por cada aluno com as dispersões dos demais alunos. Note que o mesmo atraso para iniciar a cronometragem ocorre no momento de desligar o aparelho. Mas a dispersão afeta a medição. Deve-se notar também que esse tempo de reação vale para o equipamento usado. Outro equipamento mais (ou menos) adequado para acionar e parar dará resultados diferentes.
8. Calcule  $E_p = mgh$  através de determinações da massa  $m$  e da altura  $h$ .
9. Calcule  $E_c = 1/2mv^2$  para os diferentes casos. Obtenha inicialmente o valor médio do tempo de queda e calcule a velocidade e energia cinética correspondentes.
10. Compare  $E_p$  com  $E_c$  para o lado 1 para baixo.
11. Compare  $E_p$  com  $E_c$  para o lado 2 para baixo.
12. Calcule os desvios em  $E_p$  e  $E_c$ . Compare essas duas energias dentro dos desvios experimentais. Discuta os resultados.

Observação: Use altura  $h$  relativamente grande: 2m ou 2,5m. Cuidado para iniciar e terminar a cronometragem de queda olhando as marcas da altura  $h$  cuidadosamente, de preferência bem de frente. Vários alunos poderão participar simultaneamente das medições dos intervalos de tempo.

[http://www.cepa.if.usp.br/e-fisica/mecanica/basico/cap22/cap22\\_09.php](http://www.cepa.if.usp.br/e-fisica/mecanica/basico/cap22/cap22_09.php)

## Experimento VI

### Conservação da energia mecânica – Lançamento horizontal

#### 1. Objetivos:

- Verificar a conservação da energia mecânica através do estudo do lançamento horizontal de uma esfera;
- Comparar dois modelos de descrição desse fenômeno e estudar a limitação de cada um;

#### 2. Estudo do modelo teórico 1:

Primeiramente, considere a esfera como sendo uma partícula pontual, com o que podemos considerar que a energia mecânica ao final da rampa (ver figura do arranjo experimental) é a energia cinética de translação do centro de massa da esfera. Com isso, escrevemos:

$$E_i = mgh \text{ (energia mecânica inicial)} \quad (1)$$

$$E_f = \frac{1}{2}mv^2 \text{ (energia mecânica final)} \quad (2)$$

onde  $m$  é a massa da esfera,  $h$  a altura da rampa,  $g$  aceleração da gravidade e  $v$  a velocidade final. Considerando, por hipótese, que a energia mecânica seja conservada, temos  $E_i = E_f$

#### 3. Estudo do modelo teórico 2:

O modelo acima despreza o fato que, devido à força de atrito, a esfera rola ao descer a rampa.

Neste caso, devemos levar em conta a energia cinética de rotação da esfera. Com isso, a energia mecânica da esfera ao final da rampa será a soma da energia de translação do centro de massa e a energia de rotação da esfera, ou seja:

$$E_f = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}I\omega^2 \quad (3)$$

onde  $I$  é o momento de inércia da esfera e  $\omega$  a velocidade angular de rotação da esfera em torno de seu centro. Sabendo que o momento de inércia de uma esfera de massa  $m$  e raio  $r$  que gira em torno de seu eixo é dado por:

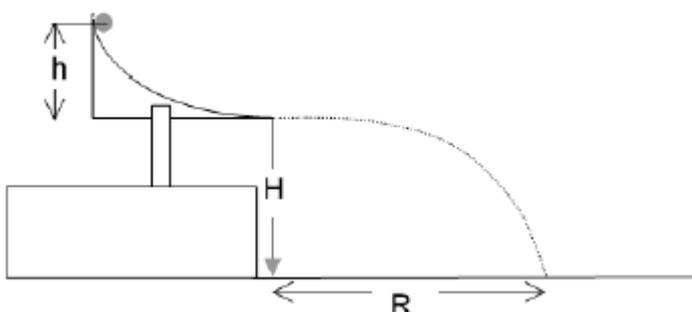
$$I = \frac{2}{5}mr^2 \quad (4)$$

E lembrando que:

$$\omega = \frac{v}{r} \quad (5)$$

Podemos estudar a conservação da energia mecânica para esse segundo modelo.

#### 4. Estudo do arranjo experimental:



Nos modelos acima utilizamos a hipótese da energia mecânica ser conservada ao longo do movimento da esfera sobre a rampa.

Para verificarmos a imprecisão desta hipótese, podemos trabalhar com o arranjo experimental aqui esquematizado em que a esfera é lançada horizontalmente em sua saída da rampa. Conhecendo os valores da altura  $H$  e do alcance  $R$ , podemos estudar a cinemática do movimento do projétil (esfera) e determinar experimentalmente a velocidade da esfera ao final da rampa. Para tanto, vale lembrar que, nesse caso, a componente horizontal da velocidade é constante (MRU) e a componente vertical varia uniformemente (MRUV).

#### 5. Procedimento Experimental:

1. Determine a expressão matemática para o cálculo da velocidade teórica,  $v_{teor}$ , prevista pelo modelo 1.

2. Determine a expressão matemática para o cálculo da velocidade teórica,  $v_{teoII}$ , prevista pelo modelo 2.
3. Determine a expressão matemática para o cálculo da velocidade,  $v_{exp}$ , a ser encontrada com o arranjo experimental proposto.
4. Verifique o nivelamento horizontal da base da rampa para garantir que realmente o lançamento seja horizontal (componente y da velocidade nula).
5. Fixe uma folha de papel branco na mesa estimando o ponto em que o projétil a tocará. Sobre a folha em branco fixe uma folha de papel carbono. O objetivo dos papéis será o de fazer o projétil tocá-los ao cair e assim marcar o ponto exato de queda. A esfera deverá fazer apenas uma marca na folha branca.
6. Com a trena, meça a altura do pé da rampa à mesa H.
7. Posicione a esfera no ponto de onde partirá e a solte.
8. Meça o alcance com a trena, medindo a distância entre o ponto  $x_0$  e a marca que a esfera fez no papel.
9. Realize quatro medidas do alcance R e determine o seu valor médio,  $R_m$ .
10. Determine o valor experimental da velocidade da esfera ao final da rampa,  $v_{exp}$ , a partir da expressão encontrada no item 3 (utilize os valores encontrados para  $R_m$  e H e considere  $g = 9,78 \text{ m/s}^2$ ).
11. Meça o valor da altura da rampa, h, e determine o valor de v teórico previsto pelo modelo 1,  $v_{teoI}$ , através da equação encontrada no item 1 e compare com o valor experimental. Calcule o  $\Delta\%$ .
12. Com o mesmo valor de h, determine o valor de v teórico previsto pelo modelo 2,  $v_{teoII}$ , através da equação encontrada no item 2 e compare com o valor experimental. Calcule o  $\Delta\%$ .

$$\Delta\% = \left| \frac{v_{teo} - v_{exp}}{v_{teo}} \right| \cdot 100$$

13. Discuta a adequação e as limitações de cada um dos modelos, comparando-os.

**Engenharia Civil/Controle e Automação, Física Experimental para Engenharia 1 (HFE11 e N1FE1), Professores Marcia Saito e Osvaldo Canato Júnior**