

## Quadro de aderência magnética para Mecânica 1000735

### Instruções para o uso

06/15 ALF



#### 1. Descrição

O conjunto de montagem Mecânica - Estática permite a execução de todas as experiências fundamentais relativas à estática. A particularidade consiste no fato que todas as montagens experimentais podem ser realizadas na vertical, graças aos elementos experimentais equipados de discos magnéticos. Os fortes ímãs aderentes garantem uma fixação segura de todos os elementos. A vantagem desta técnica experimental consiste por um lado na ausência de necessidade de um dispositivo de pé de apoio, por outro lado, no fácil deslocamento de todos os elementos experimentais. Por isso, é possível uma montagem rápida de cada ordenação experimental e um fácil ajuste. A montagem na vertical e as grandes dimensões de todas as peças proporcionam uma boa visibilidade de todos os elementos da montagem experimental. Por não precisar de pé de apoio, as dificuldades a este associadas desaparecem. Além disso, o trabalho no quadro de aderência magnética permite escrever imediatamente ao lado dos

elementos montados. Tanto pode-se (caso seja útil) anotar os nomes das peças, como também grandezas físicas, que podem ser anotadas após medidas e alteradas, como, por exemplo, comprimentos e forças nas suas situações correspondentes. Finalmente, também pode-se desenhar esboços das experiências imediatamente ao lado da montagem experimental que contém os princípios de funcionamento da experiência. Esse esboço pode ser realizado antes de montar a experiência, de modo que a montagem siga o esboço previamente desenhado. Ele pode porém, também ser desenvolvido após a montagem experimental, de modo que os pontos mais importantes da experiência podem ser sublinhados. Desta forma, é possível a representação de forças e de paralelogramos de forças.

Para a realização das experiências é necessária, além do conjunto experimental, um quadro de aderência magnética de pelo menos 100 cm x 100 cm.

## 2. Fornecimento

Nº.	Elemento	Quantidade
1.	Dinamômetro 5 N	2
2.	Plano inclinado com roldanas fixas e compasso	1
3.	Barril 5 N	1
4.	Esquadro de alumínio com 2 ganchos 2 N	1
5.	Corpo do gancho 1 N	6
6.	Roldana, pequena	1
7.	Roldana, grande	1
8.	Polia com 2 roldanas	1
9.	Alavanca	1
10.	Vara de aço com passo	1
11.	Contrapeso com parafuso de fixação	1
12.	Molas parafuso	3
13.	Disco de centro de gravidade	1
14.	Prumo	1
15.	Suporte	3
16.	Mangas de borracha	3
17.	Ganchos de latão	3
18.	Cabide de latão	1
19.	Escala aderente	1
20.	Flechas aderente	4
21.	Triângulo aderente	1
22.	Fio de náilon com laço	4

## 3. Experiências com o conjunto de aparelhos

### Constituição de uma força, composição e decomposição de forças

1. Medição de força com um dinamômetro de mola - a força como grandeza vetorial
2. Deslocamento de uma força ao longo da sua linha de ação
3. Lei de Hooke
4. Adição de forças com linhas de ação comum
5. Lei da Ação-Reação
6. Adição de forças de direções diferentes - utilização de dinamômetros
7. Adição de forças de direções diferentes - utilização de corpos em gancho
8. Decomposição de uma força em dois componentes perpendiculares um ao outro
9. Decomposição de uma força em duas forças paralelas

## Centro de gravidade e ponto de equilíbrio

10. Linhas de gravidade e centro de gravidade de um disco de plástico
11. Pontos de equilíbrio de um corpo pendurado
12. Pontos de equilíbrio - centro de gravidade fora da alavanca

## Dispositivos de transformação de forças

13. Equilíbrio de forças numa alavanca de dois lados
14. Equilíbrio de forças numa alavanca de um único lado
15. Momento de torção
16. Forças na roldana fixa
17. Forças na roldana móvel
18. Forças numa polia
19. Forças no plano inclinado - pesquisa com o dinamômetro
20. Forças no plano inclinado - pesquisa com corpos em gancho
21. Atrito dinâmico - pesquisa com o dinamômetro
22. Atrito dinâmico - pesquisa com pesas
23. Atrito estático
24. Atrito de rolamento

## Oscilações

25. Duração do período de um pêndulo de fio
26. Duração do período de um pêndulo de torção vertical
27. Ressonância de dois pêndulos de torção

## 4. Indicações para alguns elementos de montagem

### 1. Dinamômetro de mola

Os dinamômetros podem ser de utilidade em qualquer situação. Caso necessário, deve-se levar em conta o peso próprio dos fios, ganchos, etc. Utilizando-se porém as forças maiores possível, a sua influência ficará reduzida. O ajuste ao ponto zero do indicador é obtido girando o disco da escala. O fio deve ser colocado no sentido horário sobre o disco para fio.

### 2. Plano inclinado

O plano inclinado pode ser facilmente fixado no quadro aderente em diferentes inclinações. O prumo nele pendurado mostra a inclinação em cada caso.

### 3. Polia com 2 roldanas

A polia com duas roldanas pode também ser utilizada como roldana livre. Para tal, é útil desaparafusar uma roldana. Assim a ordenação experimental fica mais visível e a força do peso da polia reduzido.

### 4. Flechas aderentes e triângulo aderente

A direção das forças ou dos movimentos pode ser marcada na montagem experimental com as flechas aderentes. Por causa do comprimento idêntico das duas flechas, deveria se indicar que o tamanho das flechas não reflete os valores das forças representadas.

Com o triângulo aderente pode-se marcar muito bem a localização do ponto de torção .

## 5. Execução das experiências

### 1. Medição de força com um dinamômetro de mola - a força como grandeza vetorial

#### Aparelhos

1. Dinamômetro
2. Barril
3. Esquadro de alumínio com 2 ganchos
4. Corpo em gancho
5. Ganchos de latão
6. 3 fios com laço, de diversos comprimentos

#### Montagem experimental

- Instalar o dinamômetro na parte superior do quadro aderente.
- Nela é fixado o fio com laço e na sua extremidade é colocado o gancho de latão.

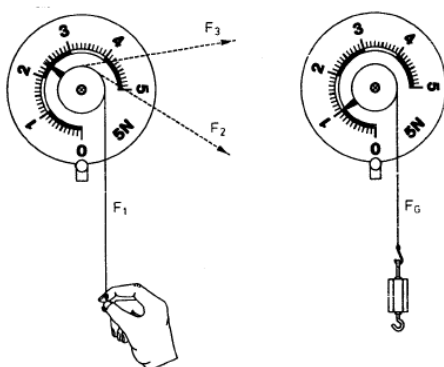


Fig. 1

#### Experiência

- Exercer uma força em aumento progressivo no dinamômetro com a mão.

- Deixar agir a força a cada vez numa direção diferente.
- Finalmente, são pendurados, um após o outro, o corpo em gancho, o esquadro de alumínio e o barril no dinamômetro de mola.

#### Resultado

Forças possuem diferentes valores que podem agir em direções diferentes. A força da gravidade é direcionada verticalmente para baixo. Para a definição de uma força são necessários o valor e a direção.

### 2. Deslocamento de uma força ao longo da sua linha de ação

#### Aparelhos

1. Dinamômetro
2. 3 corpos em gancho
3. Ganchos de latão
4. 3 fios com laço

#### Montagem experimental

- Pendurar o dinamômetro na parte superior do quadro aderente.
- Pendurar os 3 fios com laço no seu ponto de medição.

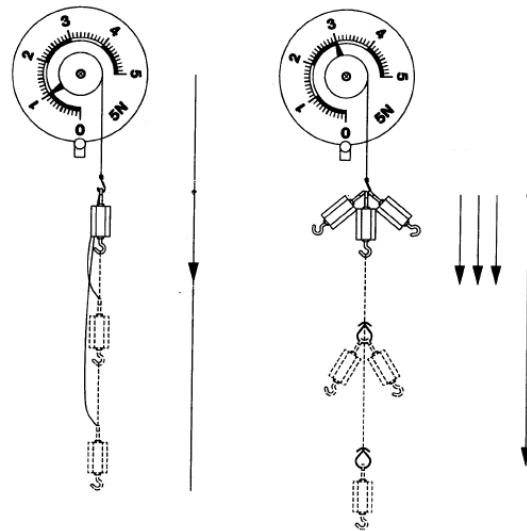


Fig. 2

#### Experiência

- Primeiro, pendurar um corpo em gancho no gancho do dinamômetro e registrar a força indicada.
- Logo, pendurar o corpo em gancho mais e mais baixo de gancho a gancho progressivamente.

- A seguir, fixar 3 corpos em gancho no dinamômetro de mola.
- Finalmente, levar primeiro este, logo os dois outros corpos em gancho progressivamente de gancho para gancho para baixo.
- Registrar a força exercida a cada vez.

### Resultado

Uma força pode ser deslocada ao longo da sua linha de ação.

### 3. Lei de Hooke

#### Aparelhos

1. 3 corpos em gancho
2. 2 molas em parafuso
3. Suporte
4. Manga de borracha
5. Escala aderente

#### Montagem experimental

- Instalar a escala aderente na vertical sobre o quadro aderente.
- Fixar o suporte na sua extremidade superior.
- Ali é pendurada uma mola que é fixada com uma manga de borracha.

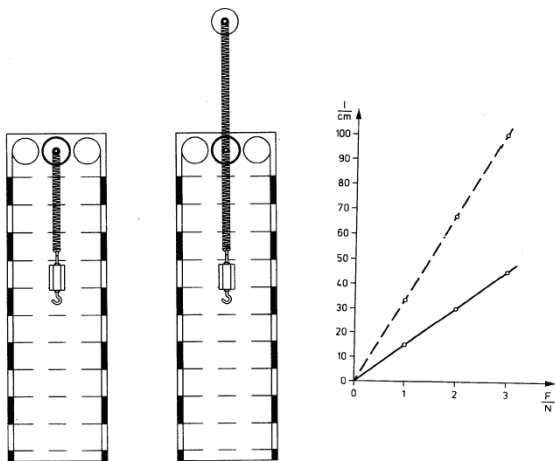


Fig. 3

#### Experiência

- Determinar a posição da ponta inferior da mola.
- Logo, fixar um corpo em gancho na mola, determinar a distensão e inserir o valor na tabela.
- A seguir, pendurar 2 e 3 corpos em gancho na mola e determinar a distensão em cada caso.

- Repetir a experiência com 2 molas penduradas uma debaixo da outra. Sendo que é útil colocar os suportes para molas por cima da escala aderente.
- Registrar novamente cada distensão e a força do peso em ação na tabela.
- Representar graficamente a distensão em função da força.

#### Tabela

Força do peso dos corpos em gancho $F_G$ em N	Distensão de uma mola $\Delta l$ em cm	Distensão de duas molas $\Delta l$ em cm
0		
1		
2		
3		

### Resultado

Quanto maior é a força ativa, maior também é a distensão. É válida a lei de Hooke:  $\Delta l \sim F$ . A distensão por uma força específica depende das características da mola.

### 4. Adição de forças com linhas de ação comum

#### Aparelhos

1. Dinamômetro
2. 5 corpos em gancho
3. 2 fios com laço

#### Montagem experimental

- Fixar o dinamômetro de mola na parte superior do quadro aderente.
- Colocar ambos fios com laço no dinamômetro de mola.

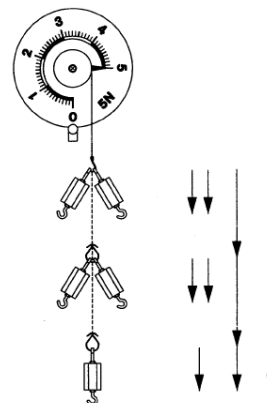


Fig. 4

### Experiência

- Primeiro, fixar um corpo em gancho no dinamômetro. A seguir, fixar os restantes na seqüência, seja no dinamômetro, seja nos fios.
- Ler a força indicada em cada caso.

### Resultado

Se todas as forças agem ao longo de uma mesma linha de ação então, a força total resulta da soma das forças parciais. A direção da força total é idêntica com a das forças parciais.

## 5. Lei da Ação-Reação

### Aparelhos

1. 2 Dinamômetros
2. Fio com laço

### Montagem da experiência

- Instalar ambos dinamômetros em ambos lados do quadro aderente de modo que entre eles se encontre o fio com laço curto. Por enquanto ele não está tenso.

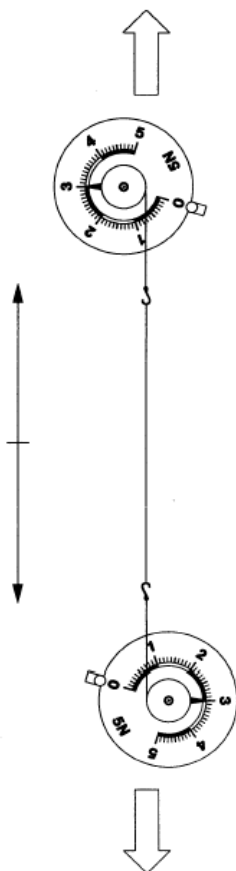


Fig. 5

### Experiência

- Empurrar o dinamômetro da esquerda lentamente mais e mais para a esquerda.

Quando fio estiver tenso, ambos dinamômetros indicam uma força. As forças aumentam ao ser movido o dinamômetro. Elas são em todo caso do mesmo tamanho.

- Levar o dinamômetro da esquerda novamente à sua posição inicial e levar o da direita cada vez mais para a direita .

Ao aumentar a distância entre os dinamômetros surgem então duas forças de mesmo tamanho.

### Resultado

Se uma força age sobre um corpo, este corpo exerce uma força de mesmo tamanho mas de direção oposta em contra da força: ação-reação.

## 6. Adição de forças de diferentes direções - Utilização de dinamômetros

### Aparelhos

1. 2 dinamômetros
2. Mola
3. Disco de centro de gravidade
4. 3 suportes
5. 3 mangas de borracha
6. Ganchos
7. Fios com laços

### Montagem experimental

- Fixar ambos dinamômetros na parte superior do quadro aderente em ambos lados e liga-los com um fio com laço.
- Pendurar os ganchos nesse fio.
- Fixar a mola de parafuso no gancho. Ela é distendida para baixo e fixada lá num suporte com manga de borracha.
- Colocar mais um suporte no lugar onde se encontra o gancho.
- Fixar o disco de centro de gravidade num suporte na frente da mola de parafuso de modo que a mola esteja coberta e só o gancho com o suporte sejam visíveis.

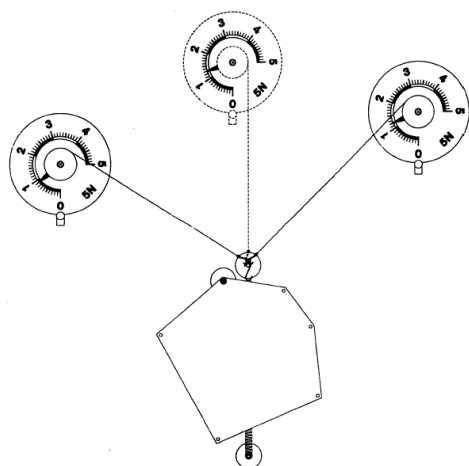


Fig. 6

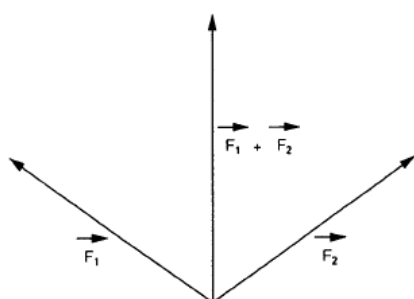


Fig. 6 a

### Experiência

- Deslocar ambos dinamômetros de modo que os ganchos não estejam mais no suporte.

Nessa situação, duas forças agem sobre os ganchos, que se encontram em equilíbrio com a força da mola.

- Desenhar no quadro ambas forças dos dinamômetros no seu valor e direção.
- Logo, retirar um dos dinamômetros da montagem e pendurar o laço agora livre do fio no ponto de medição do dinamômetro restante.
- Deslocar agora esse dinamômetro até que o gancho por sua vez não toque mais no suporte.

Neste caso, a força fornecida pelo dinamômetro tem o mesmo efeito que as duas forças anteriores adicionadas no gancho.

- Registrar também esta força, no seu valor e na sua direção, no quadro.

Essa força representa a diagonal no paralelogramo de forças.

### Resultado

Se duas forças com direções diferentes agem sobre um corpo, estas podem ser substituídas

por uma só força. O valor e a direção dessa força resultam da diagonal no paralelogramo de forças.

## 7. Adição de forças de diferentes direções - Utilização de corpos em gancho

### Aparelho

1. Dinamômetro
2. Roldana, grande
3. Roldana, pequena
4. 6 corpos em gancho
5. Mola de parafuso
6. Disco de centro de gravidade
7. 3 suportes
8. 3 mangas de borracha
9. Ganchos de latão
10. Fios com laço, longo

### Montagem experimental

- Fixar ambas roldanas nos dois lados na parte superior do quadro aderente.
- Colocar os fios sobre as roldanas e pendurar 2 corpos em gancho em cada laço.
- Fixar as molas com uma manga de borracha na parte inferior do quadro aderente.
- Ligar a outra extremidade das molas com os fios por meio de um gancho.
- Deslocar o suporte para baixo até o ângulo desejado entre as duas forças dirigidas para cima inclinadas seja obtido.
- Logo, colocar um suporte no lugar do gancho sem que este seja tocado.
- Com mais um suporte, fixar o disco de centro de gravidade de modo que cubra a mola e só o gancho e o suporte fiquem visíveis.

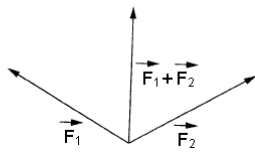
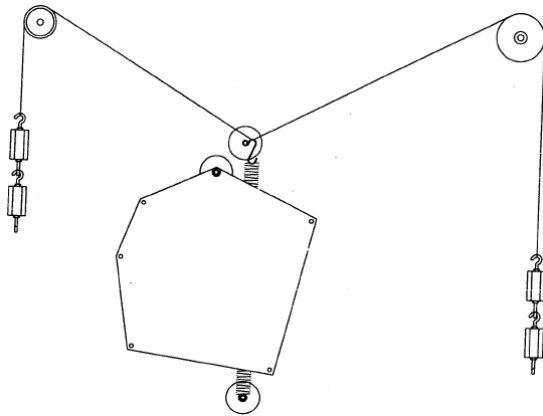


Fig. 7

### Experiência

Os dois corpos em gancho exercem uma força sobre cada um dos ganchos de modo que ele permanece nessa posição.

- Marcar as duas direções das forças no quadro e assim associa-las a vetores com tamanhos proporcionais às forças que representam.

O objetivo agora é substituir essas duas forças por uma só de modo que permaneça o mesmo efeito.

- Para tal, em vez de pendurar nos ganchos o fio com corpos em gancho, fixar o dinamômetro de mola e empurrar para cima ou para o lado de modo que o gancho volte a balançar livremente.

Agora, o dinamômetro exerce a mesma força sobre os ganchos que os corpos em gancho anteriormente.

- Esboçar no quadro o valor e a direção da força do dinamômetro de mola.

Depois de retirar o dinamômetro, reconhece-se que a força resultante é igual a diagonal no paralelogramo de forças, que é constituída pelas duas forças.

### Resultado

Se duas forças de direções diferentes agem sobre um corpo, então estas forças podem ser substituídas por uma força única. A diagonal no paralelogramo que parte dos pontos de ataque das duas forças corresponde em valor e direção às duas forças individualmente.

## 8. Decomposição de uma força em dois componentes perpendiculares um ao outro

### Aparelhos

1. 2 dinamômetros
2. 5 corpos em gancho
3. Roldana
4. Suporte
5. Manga de borracha
6. Gancho de latão
7. 2 fios com laço

### Montagem da experiência

- Fixar um dinamômetro a meia altura da parte esquerda o quadro aderente, e o outro no meio da parte superior.
- Ligar os dois dinamômetros com o fio com laço curto.
- Pendurar o gancho de latão nesse fio e pendurar outro fio com laço.
- Pendurar os 5 pesos no laço livre e passar o fio por cima da roldana de modo que ele puxe inclinado para a direita e para abaixo.
- Alterar a posição do dinamômetro de mola de cima de modo que entre as duas forças exista um ângulo reto.
- Colocar o suporte no lugar do gancho de latão sem que este seja tocado pelo gancho.

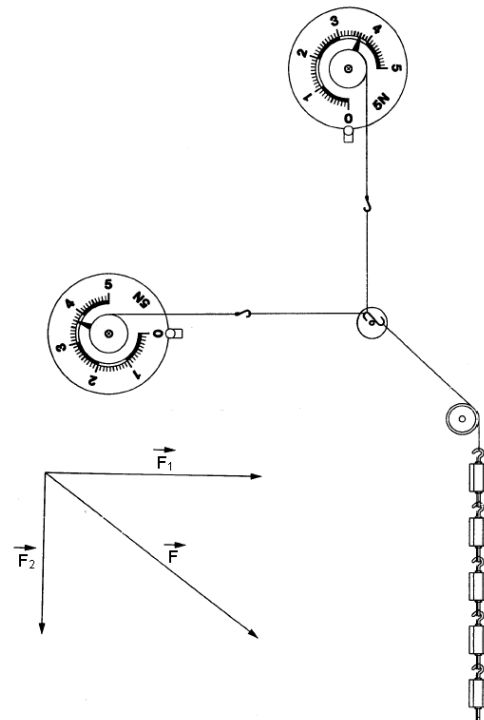


Fig. 8

## Experiência

Os corpos em gancho exercem uma força sobre os ganchos de latão direcionada em diagonal para baixo. Esta força é decomposta no gancho em duas forças de direções perpendiculares. Uma das forças é direcionada na vertical, a outra na horizontal. Ambas forças indicadas pelos dinamômetros mostram a contra-força de cada um dos dois elementos nos quais a força está decomposta.

- Inserir a força  $F$  dos corpos em gancho dirigida para baixo em diagonal no paralelogramo de forças em valor e direção.
- Logo, desenhar uma linha horizontal e outra vertical a partir do ponto de partida dessa força.
- Agora construir um paralelogramo de modo que a força dos corpos em gancho forme a diagonal do retângulo.

As duas forças parciais que se originam no ponto de ataque da força podem ser lidas em seus valores no paralelogramo. Esses valores correspondem aos valores mostrados pelos dois dinamômetros de mola. A direção das forças e agem nos dinamômetros é oposta a daquelas forças parciais, já que estas representam contra-forças.

## Resultado

Cada força pode ser decomposta em duas forças parciais direcionadas perpendicularmente uma a outra. Os valores de ambas forças parciais correspondem aos comprimentos de ambos lados do retângulo, no qual a força decomposta forma a diagonal. Cada uma das forças parciais é menor do que a força decomposta.

## 9. Decomposição de uma força em duas forças paralelas

### Aparelhos

1. 2 dinamômetro
2. Alavanca
3. 4 corpos em gancho

### Montagem experimental

- Fixar ambos dinamômetros à mesma altura do lado esquerdo e direito do quadro aderente.
- Pendurar a alavanca nos dinamômetros de modo que os pontos de ataque da força se encontrem cada um no último orifício da alavanca.

- Agora, alterar a posição do dinamômetro de modo que as forças ajam na vertical para cima e que a alavanca se encontre na horizontal.

Os movimentos de ponteiro dos dinamômetros provocados pela força do peso da alavanca são corrigidos girando a escala rotatória.

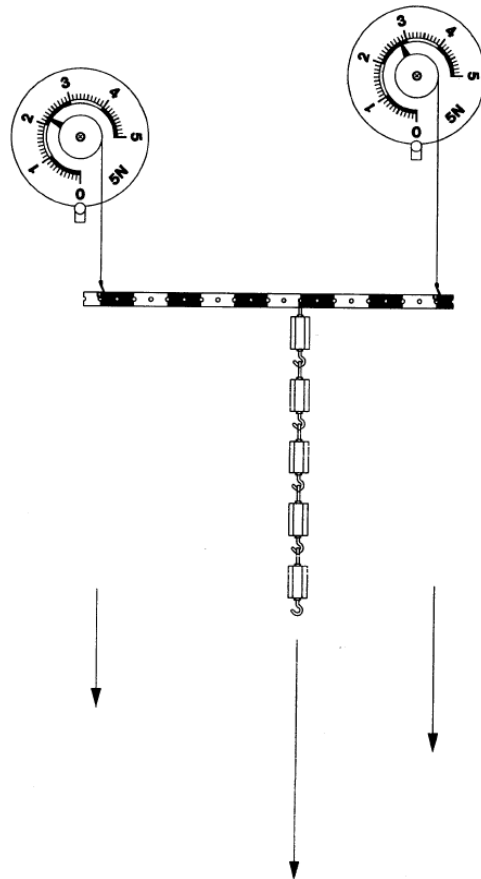


Fig. 9

## Experiência

- Primeiro, determinar a força do peso (idêntica) mostrada pelos dinamômetros.
- Logo, pendurar todos os 4 corpos em gancho num princípio no meio da alavanca e determinar e determinar as forças parciais mostradas pelos dinamômetros.
- Depois, levar o ponto de pendurar sempre mais para fora e determinar a cada vez as forças parciais. Para tal, é necessário posicionar a alavanca novamente na horizontal deslocando verticalmente o dinamômetro.
- Inscrever as forças parciais  $F_1$  e  $F_2$  e as distâncias  $a_1$  e  $a_2$  na tabela.

A soma das forças mostradas pelos dinamômetros é igual à força do peso dos corpos em gancho.



Tabela

Força $F_1$ em N	Força $F_2$ em N	Distância $a_1$ em cm	Distância $a_2$ em cm

### Resultado

Uma força pode ser decomposta em duas forças de percursos paralelos a ela. Sendo que a soma dos valores das forças parciais é igual ao valor da força total. As forças parciais se comportam inversamente às distâncias entre os pontos de ataque das forças parciais e o ponto de ataque da força total.

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{a_2}{a_1}$$

## 10. Linhas de gravidade e centro de gravidade de um disco de plástico

### Aparelhos

1. Disco de centro de gravidade
2. Prumo
3. Suporte
4. Manga de borracha

### Montagem da experiência

- Fixar o suporte no meio da parte superior do quadro aderente e pendurar nela o disco de centro de gravidade por uma de suas perfurações .
- Logo fixar o prumo no suporte e fixar com a manga de borracha.

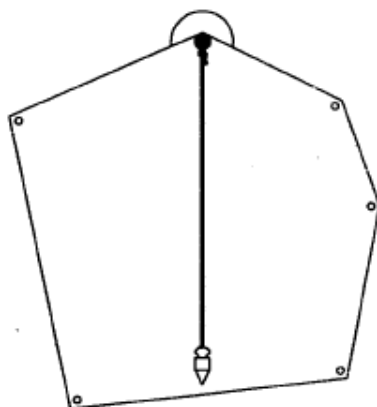


Fig. 10

### Experiência

- Desenhar finas linhas com lápis ao longo do prumo.
- Logo, pendurar o disco de centro de gravidade num dos seus outros orifícios, fixar novamente o prumo o suporte e traçar mais uma linha ao longo do prumo.
- Proceder do mesmo modo com os orifícios restantes do disco de centro de gravidade.

### Resultado

Todas as chamadas linhas de gravidade se entrecortam num mesmo ponto. é o centro de gravidade do disco de plástico.

- Para comprovar isso, retirar o disco do suporte, leva-lo à posição horizontal e apoiar no centro de gravidade com um lápis de ponta fina.

O disco apoiado no ponto de gravidade não altera a sua posição.

### Observação

Na realidade, o centro de gravidade o disco se encontra dentro do disco. Por isso o disco não fica em qualquer situação em repouso na sua posição quando apoiado no ponto calculado .

## 11. Situações de equilíbrio de um corpo pendurado

### Aparelhos

1. Alavanca
2. Barra de aço com passo
3. Suporte
4. Manga de borracha

### Montagem experimental

- Fixar o suporte no meio da parte superior do quadro aderente, inserir a alavanca no seu orifício do meio e fixar com a manga de borracha.

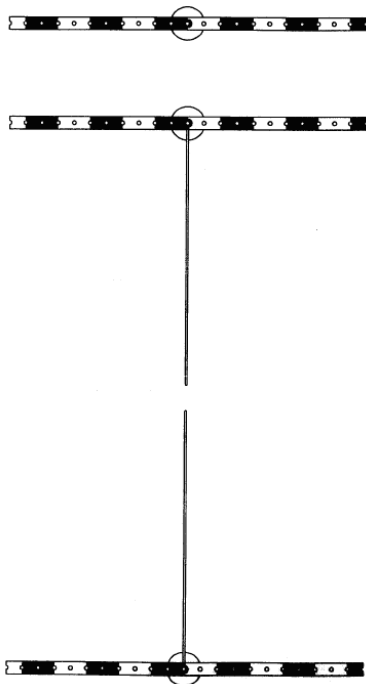


Fig. 11

### Experiência

- Levar a alavanca a diversas posições e largá-la a cada vez.
- Logo, fixar barra com passo no meio da alavanca de modo que a barra aponte para baixo.
- Levar a alavanca a diferentes posições novamente, sendo que a barra de aço deve encontrar-se por baixo do ponto de pendurar.
- Girar a alavanca em  $180^\circ$  de modo que a barra esteja na vertical e aponte para cima.
- Soltar a alavanca também nesta posição.

### Resultado

No primeiro caso, a alavanca se encontra num equilíbrio indiferente. Ela permanece em repouso em qualquer situação à qual ele seja levado.

No segundo caso, a alavanca se entra em situação de equilíbrio estável. Se ela for tirada da sua posição de equilíbrio, ela sempre voltará a ele.

No terceiro caso, a alavanca se encontra em equilíbrio instável. Ela só permanece nessa situação por um curto instante. Por menor que seja o desvio dessa situação, isto leva a que ela se distancie cada vez mais dessa posição e passe para o estado de equilíbrio estável.

## 12. Situações de equilíbrio – centro de gravidade fora da alavanca

### Aparelhos

1. Alavanca
2. Barra de aço com passo
3. Contrapeso com parafuso de fixação
4. Prumo
5. Suporte
6. Manga de borracha

### Montagem experimental

- Aparafusar a barra de aço no meio da alavanca.
- Fixar o contrapeso com parafuso de fixação na proximidade da extremidade inferior da barra de aço.
- Instalar o suporte na parte mediana superior do quadro aderente e empurrar o prumo no suporte até a placa base.
- Inserir a alavanca no suporte por um orifício qualquer e fixa-lo com a manga de borracha.

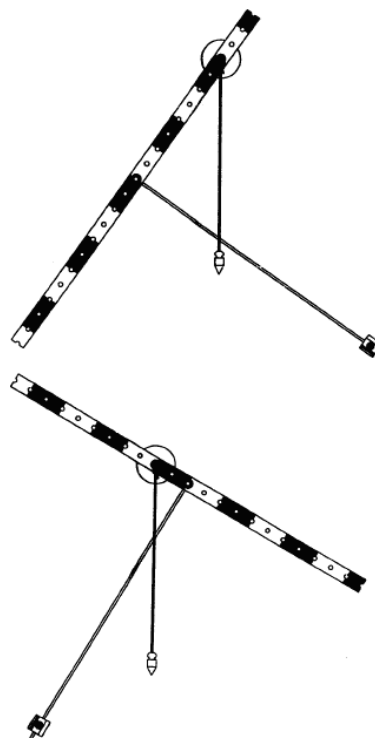


Fig.12

### Experiência

- Marcar o ponto onde o prumo corta a barra, por exemplo, com um pequeno pedaço fita adesiva.

- Logo inserir a alavanca no suporte por um outro orifício e determinar o ponto de encontro com do prumo com a barra.
- Repetir a experiência com dois orifícios que se encontrem, do ponto de vista da barra de aço, do outro lado da alavanca.
- Finalmente, tirar a alavanca e colocar a barra de aço sobre um dedal de forma que o ponto de apoio se encontre no ponto marcado na barra de aço.

### Resultado

Em todos os casos, o ponto de encontro do prumo com a barra de aço é sempre no mesmo lugar. Este ponto se encontra fora da alavanca. Ele é o centro de gravidade do sistema.

### 13. Equilíbrio de forças na alavanca de dois lados

#### Aparelho

1. 6 corpos em gancho
2. Alavanca
3. Barra de aço com passo
4. Contrapeso com parafuso de fixação
5. Suporte
6. Manga de borracha
7. Triângulo aderente

#### Montagem experimental

- Fixar o suporte no meio da parte superior do quadro aderente, inserir a alavanca no suporte pelo orifício do meio e com a manga de borracha impedir que escorregue.
- Aparafusar a barra com passo na alavanca debaixo do suporte e fixar o contrapeso a meia altura com o parafuso de fixação.

Quanto mais alto for instalada a massa de compensação, mas sensível será a reação da alavanca.

- Marcar o ponto de torção da alavanca com o triângulo aderente.

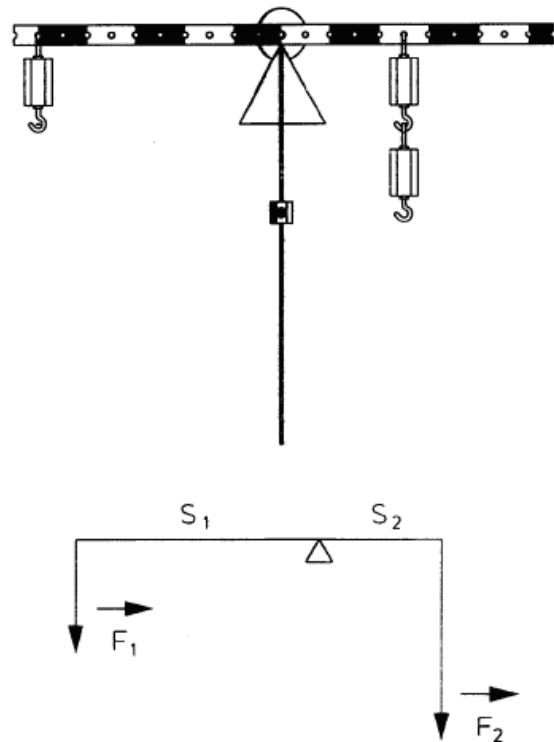


Fig. 13

#### Experiência

- Pendurar um dos corpos em gancho no orifício mais a esquerda da alavanca.
- Logo, procurar o orifício no lado direito da alavanca, no qual também deve ser pendurado um corpo em gancho, para que a alavanca esteja em equilíbrio.
- Os pontos nos quais as forças agem podem ser marcados com as flechas de força.
- Medir a distância dos dois pontos de força e inscrever na tabela, assim como as forças dos pesos de ambos corpos em gancho.
- Logo, pendurar mais um corpo em gancho no corpo à direita e procurar o orifício no qual ambos corpos em gancho devem ser pendurados para estabelecer o equilíbrio.
- Inscrever as forças e os braços de força na tabela.
- Agora, pendurar o corpo em gancho da esquerda a dois orifícios mais para dentro (8° orifício a partir do ponto de torção).
- Para estabelecer o equilíbrio, primeiro pendurar um corpo em gancho à direita, logo dois e depois quatro nos lugares correspondentes.
- Inscrever novamente comprimento dos braços de força e o valor das forças na tabela.

Tabela

Braço esquerdo de alavanca $s_1$ em cm	Força agindo à esquerda $F_1$ em N	Braço direito de alavanca $s_2$ em cm	Força agindo à direita $F_2$ em N	$F_1 \cdot s_1$ em Ncm	$F_2 \cdot s_2$ em Ncm

### Resultado

Numa alavanca, quanto mais longe do ponto de torção age a força, menor ela tem que ser para manter o equilíbrio das forças. Para a análise matemática, são formados os produtos da força com o braço de força para ambos braços de alavanca (as duas últimas colunas na tabela). É válido:

$$F_1 \cdot s_1 = F_2 \cdot s_2.$$

### 14. Equilíbrio de forças numa alavanca de um só lado

#### Aparelhos

1. Dinamômetro
2. 6 corpos em gancho
3. Alavanca
4. Suporte
5. Manga de borracha
6. Triângulo aderente

#### Montagem da experiência

- Fixar o suporte no meio da parte superior do quadro aderente.
- Inserir a alavanca no suporte (último orifício à esquerda) e pendurar a parte de medição do dinamômetro de mola no último orifício à direita.
- Fixar o dinamômetro de mola no quadro aderente de modo que a alavanca se encontre em posição horizontal e a linha de ação da força tenha um percurso vertical para baixo.

O movimento de ponteiro provocado pelo próprio peso do dinamômetro pode ser corrigido girando o disco da escala de modo que o indicador se encontre no zero.

- Marcar o ponto de torção da alavanca com o triângulo aderente.

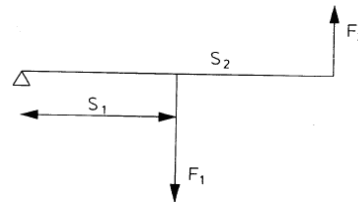
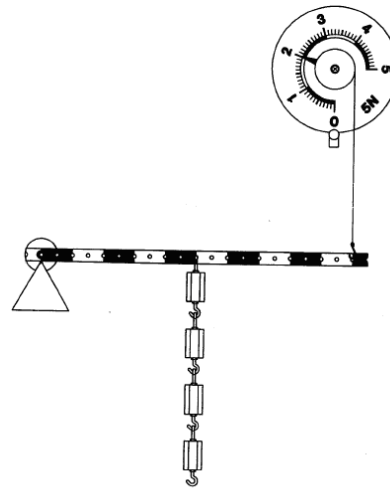


Fig. 14

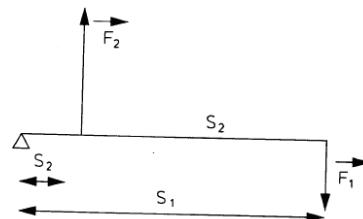
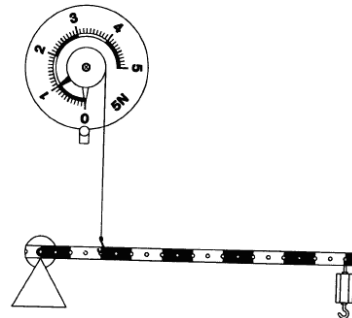


Fig. 14 a

#### Experiência

- Pendurar 4 corpos em gancho uns nos outros e, primeiro, fixa-los no meio comprimento da alavanca.
- Inscrever o comprimento dos braços de alavanca e os valores das forças na tabela de valores medidos.
- Primeiro pendurar os corpos em gancho num orifício que esteja virado para o ponto de torção. Os valores das grandezas físicas também são inscritos na tabela.

- Soltar o dinamômetro da alavanca e engancha-lo no 4º orifício contando a partir do ponto de torção .
- Isto ocorre de modo que a alavanca está na horizontal e a linha de ação na vertical para cima.
- Executar mais um correção de ponto zero no dinamômetro.
- Agora, colocar um após os outros os corpos em gancho nos três pontos da alavanca que se encontram à direita do ponto de medição.
- Inscrever os valores medidos a cada vez para as grandezas físicas na tabela.

- Colocar um dos dinamômetros de mola por cima do braço direito da alavanca, o outro por baixo.
- Marcar o ponto de torção da alavanca com o triângulo aderente.

Tabela

Braço de alavanca $s_1$ em cm	Força atuando para baixo $F_1$ em N	Braço de alavanca $s_2$ em cm	Força atuando para cima $F_2$ em N	$F_1 \cdot s_1$ em Ncm	$F_2 \cdot s_2$ em Ncm

### Resultado

Quanto maior a distância entre os pontos de ataque e o ponto de torção , menor deve ser a força para que se estabeleça o equilíbrio. Para a análise matemática, são formados os produtos da força com o braço de força para ambos braços de alavanca (as duas últimas colunas na tabela). Para a alavanca de só lado é válido:

$$F_1 \cdot s_1 = F_2 \cdot s_2.$$

## 15. Momento de torção

### Aparelhos

1. 2 dinamômetros
2. Alavanca
3. Suporte
4. Manga de borracha
5. Triângulo aderente

### Montagem da experiência

- Fixar o suporte no meio do quadro aderente.
- Inserir a alavanca no suporte pelo orifício do meio e coloque a manga de borracha impedindo que escorregue.

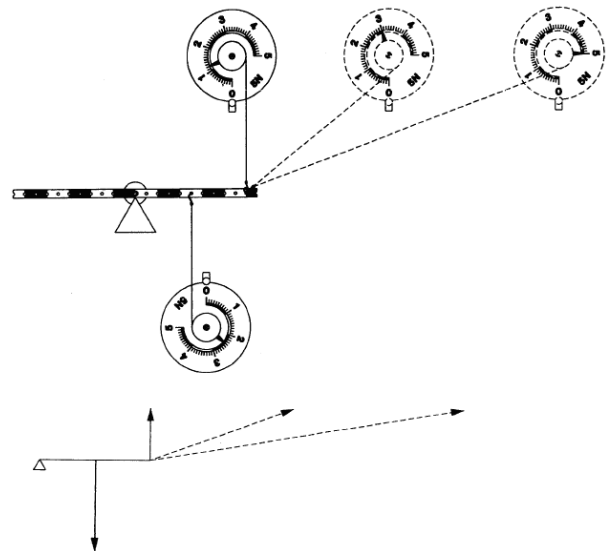


Fig. 15

### Experiência

- Primeiro, enganchar o ponto de medição do dinamômetro de cima no último orifício da alavanca.
- Enganchar o ponto de medição do dinamômetro de baixo no quinto orifício contando a partir do ponto de torção.
- Alterar a posição do dinamômetro de mola de modo que a alavanca se encontre na horizontal e os fios na vertical para cima ou para baixo.
- Ao fazê-lo, ajustar uma força de vários Newton num dos dinamômetros.
- Inscrever na tabela as distâncias de cada ponto de ataque de cada força ao ponto de torção da alavanca, assim como as forças correspondentes.
- Logo, primeiramente variar duas vezes o ponto de ataque do dinamômetro de baixo, depois, variar também o ponto de ataque do dinamômetro de cima.
- Em qualquer caso acertar uma posição horizontal da alavanca e levar em conta as forças correspondentes na vertical.
- Inscrever na tabela as distâncias do ponto de torção e das forças.
- A seguir, altera a posição do dinamômetro inferior de modo que a direção da força cada vez com mais força se desvie da vertical para a alavanca. Sendo que a alavanca deve continuar na posição horizontal.

Tabela

Distância da 1ª força a partir do p. de torção $s_1$ em cm	1ª força $F_1$ em N	Distância da 2ª força a partir do p. de torção $s_2$ em cm	2ª força $F_2$ em N	Momento de torção 1 $F_1 \cdot s_1$ em Ncm	Momento de torção 2 $F_2 \cdot s_2$ em Ncm

### Resultado

Para a descrição do equilíbrio de um corpo com apoio rotativo pode-se utilizar o momento de rotação. Ele é o produto de cada distância do ponto de ataque da força ao ponto de torção e da força vertical dirigida a ele. No caso de haver equilíbrio, o valor do momento de torção à direita é igual ao valor do momento de torção à esquerda

$$F_1 \cdot s_1 = F_2 \cdot s_2.$$

Quanto mais a força se desvia da direção perpendicular à alavanca, maior ela deve ser para que o equilíbrio seja mantido. Este resultado prova que é útil definir o momento de torção como o produto da distância do ponto de ataque da força do ponto de torção e da força perpendicular a este. Quanto maior o desvio da força dessa direção, maior tem que ser o seu valor para que ocorra o mesmo momento de torção.

## 16. Forças na roldana fixa

### Aparelhos

- 6 corpos em gancho
- Roldana, grande
- Suporte
- Manga de borracha
- Escala aderente
- Fio de náilon com laços

### Montagem da experiência

- Fixar a escala aderente na vertical no quadro aderente.
- Instalar a roldana grande na extremidade superior da escala aderente no meio.
- Colocar o fio com laços por cima da roldana. Fixar um corpo em gancho em cada laço.

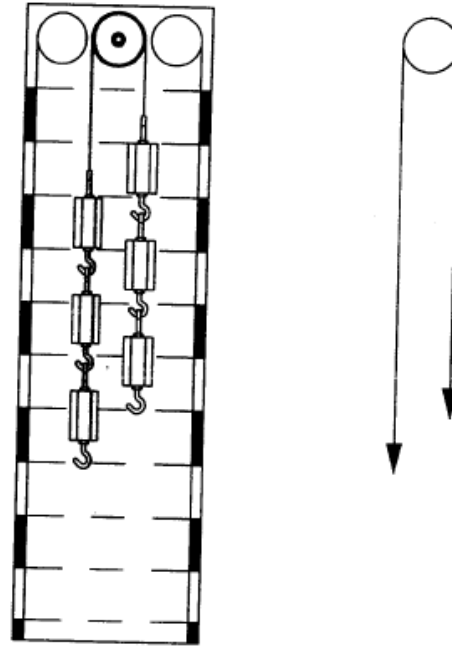


Fig. 16

### Experiência

- Elevar o número de corpos em gancho, primeiro a 2 cada, a três.
- Em cada caso os corpos em gancho são colocados em diferentes posições e o comportamento de todo o sistema pode ser observado.

### Resultado

Na roldana fixa, existe equilíbrio quando a cada lado agem forças idênticas.

## 17. Forças na roldana móvel

### Aparelhos

- Dinamômetro
- Roldana grande
- Garrafa com duas roldanas
- 6 corpos em gancho
- Contrapeso com parafuso de fixação
- Suporte
- Manga de borracha
- Escala aderente
- Fio de náilon com laço

### Montagem da experiência

- Fixar a escala aderente na vertical no quadro aderente.
- Instalar o suporte na extremidade superior da escala aderente no meio.

- Colocar a roldana grande por cima bem junto.
- Pendurar um dos laços do fio no suporte e fixar com a manga de borracha.
- Logo, passar o fio por baixo e pendurar lá a garrafa com a roldana. Trazer o fio para cima novamente e coloca-lo por cima da roldana fixa na extremidade superior da escala aderente.
- Pendurar um dos corpos em gancho no laço na ponta do fio e carregar a garrafa com dois corpos em gancho.
- Como compensação para a força do peso da garrafa com as roldanas, colocar um corpo em gancho adicional no contrapeso com parafuso de fixação e, caso necessário, pôr um pouco de plasticina.

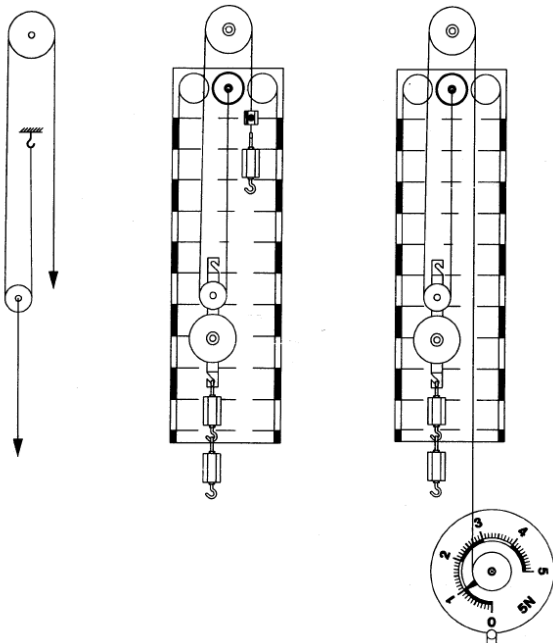


Fig. 17

Fig. 17 a

Fig. 17 b

### Experiência 1

- Colocar os corpos em gancho ao longo da escala em diferentes posições e soltar a cada vez.
- A seguir pendurar um segundo corpo em gancho na garrafa e colocar mais corpos em gancho no laço até atingir-se o estado de equilíbrio. Experiência 2
- Substituir a roldana fixa por um dinamômetro e pendurar o seu ponto de medição no fio com laço onde os corpos em gancho com o contrapeso com parafuso de fixação se encontravam.
- Retirar os corpos em gancho da garrafa.
- A seguir, girar a escala em disco para ajustar o dinamômetro a zero compensando

o movimento de ponteiro ocasionado pelo peso próprio da roldana móvel e da garrafa.

- Logo, pendurar os corpos em gancho uns após os outros na garrafa e registrar a força indicada pelo dinamômetro em cada caso.

### Resultado

A roldana móvel se encontra em equilíbrio quando a força que age no fio é igual À metade da força da roldana.

### Observação

Para a execução das experiências, é útil desparafusar a roldana grande da garrafa. Assim aumenta-se a visibilidade e reduz-se a perturbação pela força do peso da garrafa.

## 18. Forças em polias

### Aparelhos

1. 6 corpos em gancho
2. Roldana pequena
3. Roldana grande
4. Garrafa com 2 roldanas
5. Contrapeso com parafuso de fixação
6. Suporte
7. Manga de borracha
8. Escala aderente
9. Fio de náilon com laço, longo

### Montagem da experiência

- Fixar a escala aderente no quadro aderente na vertical.
- Colocar a roldana grande acima do meio da escala, por baixo na parte superior da escala, colocar a roldana pequena e mais abaixo ainda, o suporte.
- Enganchar o laço do fio no suporte, fixar com a manga de borracha e logo inserir a roldana pequena na garrafa. A garrafa deve ser segurada enquanto isso de modo que a roldana pequena se encontre acima.
- Logo, levar o fio para cima e coloca-lo por cima da roldana pequena, logo leva-lo de novo para baixo por cima do da roldana grande da garrafa e finalmente, por cima da roldana grande.
- Pendurar o contrapeso com parafuso de fixação e caso necessário um pouco de plasticina, para compensar o peso da garrafa.

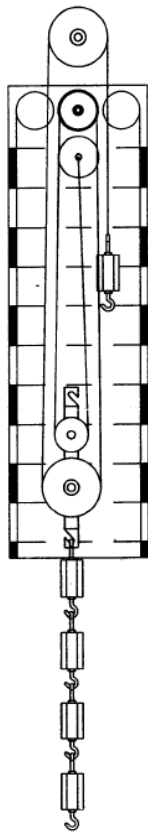


Fig. 18

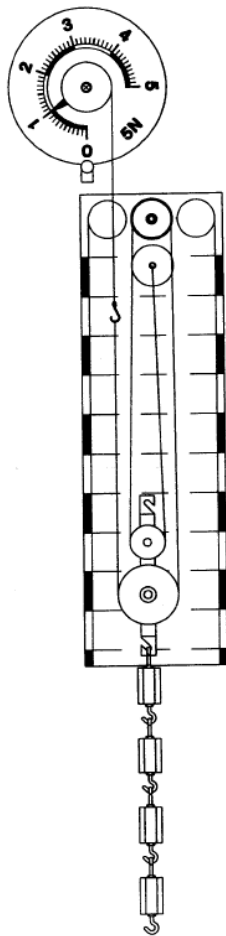


Fig. 18 a

### Experiência

- Pendurar um corpo em gancho no laço livre.
- Pendurar na garrafa tantos corpos em gancho quanto forem necessários até que a polia se encontre em equilíbrio.

Subindo e descendo a roldana pode-se comprovar se a polia se encontra em equilíbrio em qualquer situação.

### Resultado

A polia com um total de 4 roldanas se encontra em equilíbrio quando a força na roldana é 4 vezes maior do que na ponta do fio.

### Observação

Em vez da roldana grande superior, pode também ser utilizado um dinamômetro (fig. 18b). Ele é instalado no lugar da roldana grande na parte de cima do quadro aderente. Neste caso, primeiro compensa-se a força girando a escala, a qual é determinada pelo próprio peso da roldana. Ao adicionar um corpo em gancho, a força indicada aumenta a cada vez em 0,25 N.

## 19. Forças no plano inclinado - pesquisa com o Dinamômetro

### Aparelhos

1. Dinamômetro
2. Plano inclinado
3. Barril
4. Alavanca
5. 2 suportes
6. Prumo
7. 2 mangas de borracha
8. Fio de náilon com laço

### Montagem da experiência

- Instalar o plano inclinado no quadro aderente na vertical e pendurar o prumo na parte superior do compasso.
- Ajustar o ângulo horizontal a  $10^\circ$ .
- Colocar o barril sobre o plano de modo que este se encontre bem junto à placa aderente.
- Pendurar o barril num dos laços do fio e passar o fio sobre a roldana vertical para baixo até o dinamômetro de mola.
- A partir da extremidade esquerda inferior do plano inclinado, fixar a alavanca com a manga de borracha na horizontal em dois enganches no  $5^\circ$  e no  $10^\circ$  orifício contando da esquerda.

A altura do plano inclinado pode ser determinada como distância vertical da alavanca que se encontra na posição horizontal, a partir da ponta direita inferior do plano inclinado.

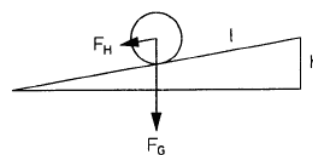
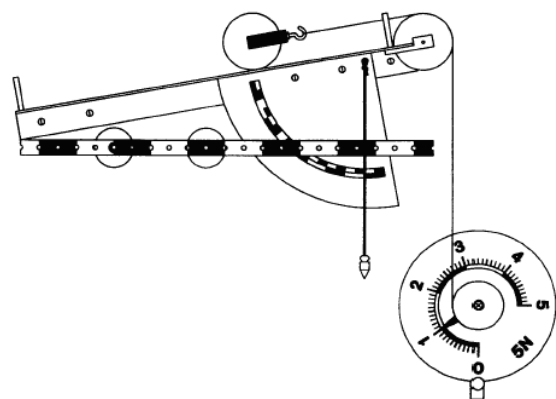


Fig. 19



## Experiência

- Aumentar progressivamente o ângulo entre o plano inclinado e a horizontal de 10° a 40°.
- Inscrever a cada vez na tabela a altura do plano inclinado e registrar a força tangencial paralela ao plano mostrada no dinamômetro de mola.

Tabela

Altura $h$ em cm	Comprimento $l$ em cm	Força tangencial $F_H$ em N	Força peso $F_G$ em N	$\frac{h}{l}$	$\frac{F_H}{F_G}$

## Resultado

Quanto maior a altura do plano inclinado, maior é a força tangencial paralela ao plano. Para a análise matemática, são formados os quocientes da força tangencial  $F_H$  e da força do peso  $F_G$  assim como da altura  $h$  e o comprimento  $l$  do plano inclinado (últimas duas colunas da tabela). A comparação dos quocientes mostra que é válido:

$$\frac{F_H}{F_G} = \frac{h}{l}$$

## Observações

1. O fio esticado entre a roldana fixa e o dinamômetro de mola pode também percorrer por trás da roldana na horizontal ou em qualquer outro ângulo. A condição é só que na proximidade do barril, ele esteja paralelo ao plano inclinado. A ordenação é particularmente fácil de compreender quando o fio que vai do barril até o dinamômetro de mola é paralelo ao plano inclinado. Então deve-se, porém, a cada alteração da inclinação do plano inclinado, também alterar a posição do dinamômetro de mola.
2. O equilíbrio no plano inclinado também pode ser estabelecido pendurando pesos nas pontas do fio no lugar do dinamômetro de mola, cujas forças sejam iguais às da força tangencial.
3. Sempre que os requisitos matemáticos estejam dados, pode-se incluir o ângulo no cálculo, em vez da altura e do comprimento ( $F_H = F_G \cdot \sin\alpha$ ).

## 20. Forças no plano inclinado - Pesquisa com corpos em gancho

### Aparelhos

1. Plano inclinado
2. Barril
3. 4 corpos em gancho
4. Alavanca
5. 2 suportes
6. Prumo
7. 2 mangas de borracha
8. Fio de náilon com laço

### Montagem da experiência

- Instalar o plano inclinado no quadro aderente vertical, e pendurar o prumo na parte superior do compasso.
- Posicionar o plano inclinado na horizontal.
- Colocar o barril no plano de modo que ela se encontre bem junto à placa aderente.
- Pendurar o barril num dos laços do fio e levar o fio na vertical para baixo para o dinamômetro de mola passando por cima da roldana.
- Fixar a alavanca bem embaixo do plano inclinado em dois enganches no 5° e no 10° orifício contando da esquerda. Fixar a abertura e prender com a manga de borracha impedindo que escorregue.

A altura do plano inclinado pode ser determinada a cada vez como distância vertical da alavanca que se encontra na posição horizontal, a partir da ponta direita inferior do plano inclinado.

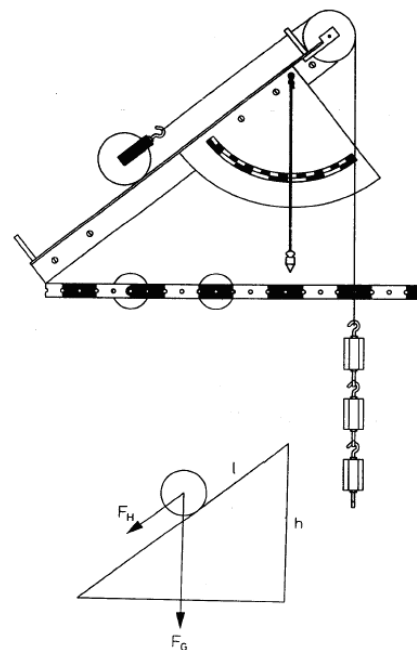


Fig. 20

## Experiência

- Pendurar um corpo em gancho no segundo laço do gancho.
- Primeiro, segurar o barril e aumentar a inclinação do plano até que os corpos em gancho compensem a força tangencial do barril.
- Medir a altura do plano inclinado e inscrever o valor na tabela junto com o comprimento do plano, a força do peso do barril e a força do peso do corpo em gancho.
- A seguir, fixar dois corpos em gancho no laço e aumentar a inclinação do plano até que a força do peso das massas compensem a força tangencial do barril.
- Repetir a experiência com 3 e 4 corpos em gancho.

Tabela

Altura $h$ em cm	Comprimento $l$ em cm	Força tangencial $F_H$ em N	Força peso dos corpos em gancho $F_G$ em N	$\frac{h}{l}$	$\frac{F_H}{F_G}$

## Resultado

Quanto maior a altura do plano inclinado, maior também é a força tangencial. Para a análise matemática são formados os quocientes da força tangencial  $F_H$  e a força do peso  $F_G$  assim como a altura  $h$  e o comprimento  $l$  do plano inclinado (últimas duas colunas da tabela). Os quocientes são iguais:

$$\frac{F_H}{F_G} = \frac{h}{l}$$

## Observação

No lugar dos corpos em gancho pode ser utilizado um prato de balança bem leve e pequeno. Assim pode ser aplicado qualquer ângulo de inclinação ao plano inclinado. A força tangencial é então determinada colocando pesos no prato de balança.

## 21. Atrito dinâmico - pesquisa com o dinamômetro

### Aparelhos

1. Dinamômetro
2. Plano inclinado
3. Esquadro de alumínio com 2 ganchos
4. 6 corpos em gancho
5. Fio de náilon com laço

### Montagem da experiência

- Colocar o plano inclinado na horizontal no lado esquerdo do quadro aderente.
- Colocar o esquadro de alumínio com dois ganchos na ponta esquerda do plano inclinado de modo que ele esteja apoiado na superfície maior.
- Fixar o fio com laço no gancho. Levar o fio por cima da roldana fixa de modo que este esteja praticamente paralelo ao plano inclinado.
- Enganchar o segundo laço no ponto de medição do dinamômetro de mola.

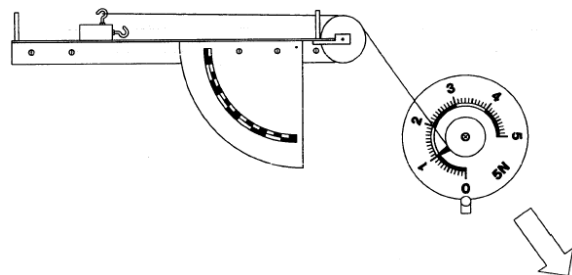


Fig. 21

### Experiência

- Mover o dinamômetro de mola cuidadosamente na horizontal ou diagonal para baixo, de modo que o esquadro de alumínio se mova de forma homogênea.
- Ler a força de atrito no dinamômetro de mola durante o movimento.
- Logo, colocar o esquadro de alumínio sobre a superfície menor com a mesma estrutura superficial e repetir a experiência.

Colocando corpos em gancho a força pode ser progressivamente aumentada.

- Depois, cobrir o plano inclinado com tiras de diversos materiais (por exemplo, madeira, papelão, papel, plástico) e executar a experiência na mesma forma.

### Resultado

O atrito dinâmico depende do tipo das matérias que deslizam uma sobre a outra. Ela aumenta

proporcionalmente à força do peso do corpo deslizante. Ela independe do tamanho da superfície de atrito.

### Observação

O coeficiente de atrito pode ser facilmente calculado formando os quocientes da força de atrito e da força do peso do esquadro. O lado mais fino do esquadro está coberto por uma camada de borracha. A comparação das forças com superfície de atrito do mesmo tamanho mas de características diferentes, mostra de modo bem claro a dependência da constituição das superfícies que entram em atrito.

## 22. Atrito dinâmico - pesquisa com pesos de balança

### Aparelhos

1. Plano inclinado
2. Esquadro de alumínio com 2 ganchos
3. 2 corpos em gancho
4. Prumo
5. Fio de náilon com laço

### Montagem da experiência

- Fixar o plano inclinado com pouca inclinação na parte superior do quadro aderente.
- Pendurar o prumo na parte superior do compasso.
- Colocar o esquadro de alumínio com 2 ganchos na ponta esquerda do plano inclinado de modo que ele esteja apoiado na superfície maior.
- Enganchar o laço do fio no gancho virado para a roldana.
- Levar o fio do modo mais paralelo possível ao plano inclinado por cima da roldana fixa e carregar a outra ponta do fio com um corpo em gancho.

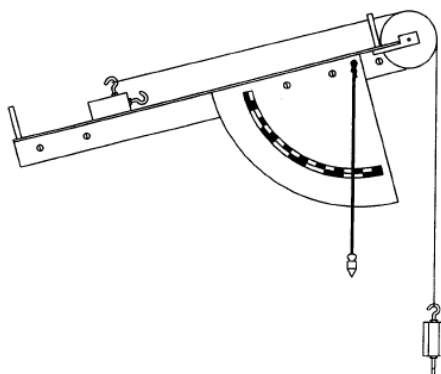


Fig. 22

### Experiência

- Repetir a experiência cobrindo o plano inclinado com tiras de diversos materiais (por exemplo, madeira, papelão, papel, plástico).
- Reduzir a inclinação do plano inclinado até que o esquadro de alumínio deslize com uma velocidade constante com a ajuda de um leve empurrão.
- Determinar a inclinação do plano como medida para a força necessária. Repetir a experiência do mesmo modo após ter apoiado o esquadro de alumínio sobre a sua superfície menor.
- Depois, aumentar a força com a qual o esquadro de alumínio pressiona a superfície adicionando progressivamente corpos em gancho.
- Cobrir o plano inclinado com tiras de diversos materiais (por exemplo, madeira, papelão, papel, plástico) e executar as experiências da mesma forma.

### Resultado

O atrito é tanto maior quanto a força da pressão que o corpo exerce sobre a superfície de deslize. Ela depende de que material compõe as superfícies de deslize. Com o mesmo peso, o atrito é independente do tamanho da superfície de deslize.

### Observações

1. A força de atrito dinâmico pode ser determinada constatando o quanto horizontal o plano deve ser para que o corpo em gancho puxe o esquadro de alumínio inclinação acima. Mas também pode ser determinada colocando o plano cada vez mais inclinado e determina o ângulo no qual o esquadro de alumínio puxa os corpos em gancho para cima.
2. Também é possível dispensar o uso dos corpos em gancho e dos fios. Coloca-se o esquadro de alumínio na ponta superior do plano inclinado e aumenta a sua inclinação até que o bloco de alumínio deslize no plano com uma velocidade constante.
3. Com a inclinação do plano também altera-se a força com a qual o corpo pressiona a superfície de deslize na perpendicular. Ela só é idêntica à força de peso no caso de um plano horizontal. Com o aumento da inclinação essa força diminui. Na análise, porém, supõe-se uma força constante. Por isso, com a experiência só se obtém uma estimativa da dependência da força de atrito.

### 23. Atrito estático

#### Aparelhos

1. Dinamômetro
2. Plano inclinado
3. Esquadro de alumínio com 2 ganchos
4. 6 corpos em gancho
5. Fio de náilon com laço

#### Montagem da experiência

- Fixar o plano inclinado na horizontal no lado esquerdo na parte superior do quadro aderente.
- Posicionar o esquadro de alumínio na ponta esquerda. Fixar o fio num gancho e leva-lo por cima da roldana de modo que fique quase paralelo ao plano inclinado.
- Fixar a outra ponta do fio no ponto de medição do dinamômetro.

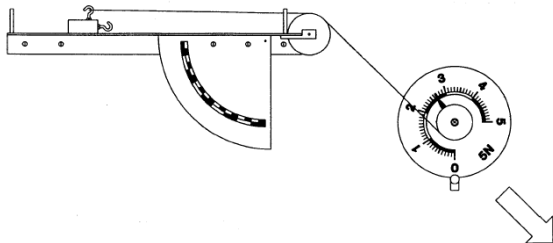


Fig. 23

#### Experiência

- Mover o dinamômetro de mola cuidadosamente na horizontal ou diagonal para baixo. Determinar ao fazê-lo a força necessária para que o esquadro de alumínio entre em movimento.
- Repetir a experiência, após apoiar o esquadro de alumínio sobre a sua superfície menor.
- Depois, cobrir o plano inclinado com tiras de diversos materiais (por exemplo, madeira, papelão, papel, plástico) e repetir a experiência.
- A seguir, carregar progressivamente o esquadro de alumínio com corpos em gancho e determinar a força necessária para mover o bloco a cada vez.

#### Resultado

O atrito estático depende do tipo de materiais em atrito. Ele aumenta proporcionalmente à pressão exercida. A força de atrito é maior quando a superfície de atrito aumenta.

Em todos os casos a força do atrito estático é maior do que a força do atrito dinâmico determinada na experiência 21.

#### Observação

No lugar do dinamômetro pode-se também pendurar um corpo em gancho na ponta do fio. É possível então tirar conclusões sobre o tamanho da força de atrito inclinando o plano (compare com a experiência 21). Pode-se, porém, também prescindir do fio, aplicando uma inclinação tão grande que o esquadro de alumínio começa a deslizar. Aqui vale a observação 3 sobre a experiência 22.

### 24. Atrito de rolamento

#### Aparelhos

1. Dinamômetro
2. Plano inclinado
3. Barril
4. Esquadro de alumínio com 2 ganchos
5. 3 corpos em gancho
6. Fio de náilon com laço

#### Montagem da experiência

- Fixar o plano inclinado horizontalmente na parte superior à esquerda no quadro aderente.
- Colocar o barril na ponta esquerda do plano inclinado e fixar uma ponta do fio nele
- Levar o fio por cima da roldana fixa e fixar no dinamômetro de mola que se encontra no lado direito do quadro aderente, por baixo do plano.

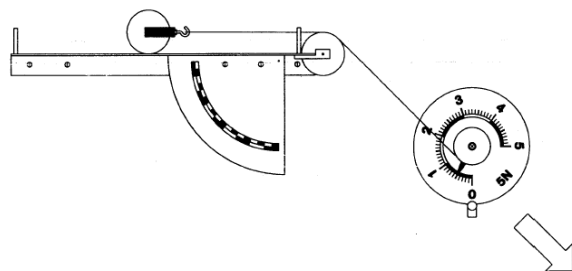


Fig. 24

#### Experiência

- Mover o dinamômetro lentamente para a direita. Determinar ao fazê-lo a força necessária para manter o movimento do barril.
- Depois, substituir o barril pelo esquadro de alumínio que foi carregado com 3 corpos em gancho. Assim, a força do seu peso equivale à do barril.
- Determinar com a mesma montagem a força necessária para manter um movimento regular do esquadro.

## Resultado

Em comparação à força de atrito dinâmica e à força de atrito estática, a força de atrito de rolamento é sensivelmente menor.

## 25. Duração do período de um pêndulo de fio

### Aparelhos

1. 3 Corpos em gancho
2. Suporte
3. Manga de borracha
4. Cabide de latão
5. Escala aderente
6. Fio de náilon com laço, longo
7. Cronômetro

### Montagem da experiência

- Fixar escala aderente no quadro aderente na vertical.
- Colocar o suporte no círculo mediano na extremidade superior da escala e cobrir a sua ponta anterior com uma manga de borracha.
- Colocar o cabide de latão por cima do suporte.
- Pendurar um laço do fio em cada ponta e fixar nele um corpo em gancho.

Cada comprimento pode ser lido diretamente na escala. A extremidade superior efetiva se encontra no meio do cabide de latão no começo da escala, a extremidade inferior se encontra no meio do peso de balança.

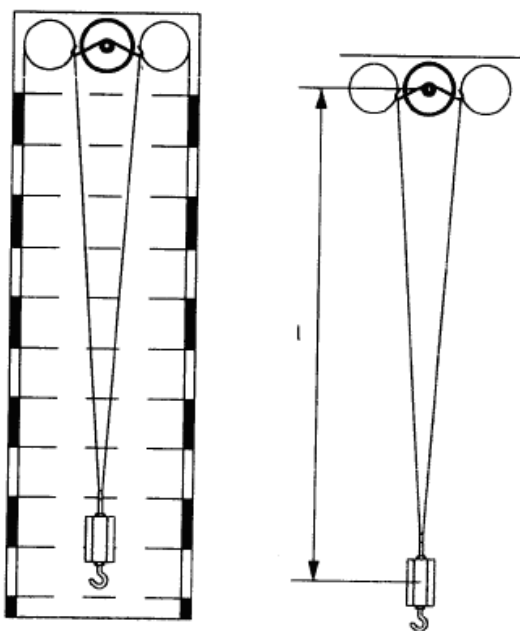


Fig. 25

## Experiência 1

### Relação entre a duração do período e a massa do pêndulo de fio

- Deslocar a massa para o lado até a beira da escala e soltá-la.
- Determinar o tempo para 10 períodos com o cronômetro e inscrever na tabela.
- Depois, fixar no fio no lugar do corpo em gancho dois, e logo três, corpos em gancho um ao lado do outro.
- Para cada caso, determinar a duração do período para 10 oscilações. Repetir a pesquisa com um segundo comprimento de pêndulo (fio de outro comprimento).

### Tabela

Comprimento $l$ em cm	Massa $m$ em g	Tempo para 10 períodos $t$ em s	Duração do período $T$ em s

## Resultado

A duração do período de um pêndulo independe da massa.

## Experiência 2

### Relação entre a duração do período e o comprimento do pêndulo

Um corpo em gancho serve de massa de pêndulo. O comprimento do pêndulo deveria ser de uns 50 cm.

- Deslocar o corpo em gancho até a beira da escala e soltá-lo. Determinar o tempo para 10 períodos e inscrever na tabela.
- Reduzir o comprimento do pêndulo a 40 cm. Para tal, fixar o fio com um laço fácil de soltar na lateral do cabide de latão.
- Determinar o tempo par 10 períodos e inscrever na tabela.
- A seguir, continuar a reduzir progressivamente o comprimento do pêndulo.
- Determinar a duração do período a partir do tempo de 10 oscilações.
- Logo, calcular o quadrado da duração do período e inscrever na última coluna da tabela.

Tabela

Comprimento <i>l</i> em cm	tempo para 10 períodos <i>t</i> em s	Duração do período <i>T</i> em s	Quadrado da duração do período <i>T</i> <sup>2</sup> em s <sup>2</sup>

**Resultado**

Quanto maior o comprimento do pêndulo de fio, maior será também a duração de período. É válido:

$$T^2 \sim l$$

**Observações**

1. Na primeira experiência, o centro de gravidade se desloca levemente para cima através da adição, um ao lado do outro, de dois ou mais corpos em gancho. Para que o comprimento de pêndulo permaneça o mesmo de experiência em experiência, deve-se caso necessário, colocar um pedacinho de arame (por exemplo de um clipe de escritório) entre o fio e o corpo de pêndulo.

2. A segunda experiência pode também ser aplicada para a comprovação da equação para a duração da oscilação de um pêndulo de fio:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

Aplicando os diferentes comprimentos de pêndulo *l* e a aceleração da gravidade *g* determina-se a duração do período. Esta corresponde com a duração medida para cada experiência parcial.

**26. Duração do período de um pêndulo de torção**

**Aparelhos**

- 3 Corpos em gancho
- 3 mola de parafuso
- Suporte
- Manga de borracha
- Escala aderente
- Cronômetro

**Montagem da experiência**

- Fixar a escala aderente no quadro aderente na vertical e instalar um suporte na sua ponta superior.
- Enganchar a moa e fixar com uma manga de borracha.
- Pendurar um corpo em gancho na extremidade inferior da mola.

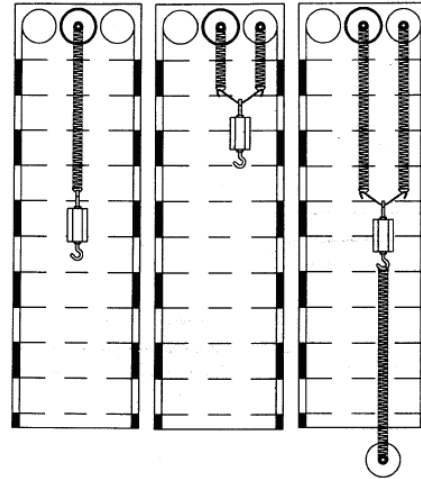


Fig. 26 a

Fig. 26 b

**Experiência 1**

**Relação entre a duração do período e a massa do pêndulo de torção**

- Mover o corpo em gancho verticalmente em uns 5 centímetros e soltar.
- Determinar o tempo necessário para 10 períodos com o cronômetro e logo inscrever na tabela.
- No lugar do corpo em gancho, fixar 2 e 3 corpos em gancho uns debaixo dos outros na mola de parafuso.
- A cada vez determinar a duração de período para 10 oscilações e inscrever na tabela.
- Representar graficamente a duração de período como função da massa.

Tabela

Massa <i>m</i> em g	Tempo para 10 períodos <i>t</i> em s	Duração do período <i>T</i> em s	Quadrado da duração do período <i>T</i> <sup>2</sup> em s <sup>2</sup>

**Resultado**

A duração do período de um pêndulo de torção aumenta com a massa. É válido:

$$T^2 \sim m.$$

## Experiência 2

### Relação entre a duração do período e a constante de mola

- Primeiro pendurar uma mola no suporte e determinar a posição da sua extremidade inferior.
- Logo, pendurar um corpo em gancho na mola e determinar a sua extensão.
- A seguir, pendurar 2 molas no suporte, uma debaixo da outra, e determinar novamente a sua extensão ao pendurar um corpo em gancho.
- Repetir a experiência com 3 molas.
- Formar o quociente das extensões e a força atuante para todos os três casos e inserir na tabela.
- No caso de uma mola com um corpo em gancho, ocorre uma oscilação vertical de cerca de 5 cm, depois soltar o corpo em gancho e determinar o tempo para 10 períodos.
- Repetir a experiência com as duas outras montagens (2 molas e 3 molas).
- Inscrever os tempos na tabela.
- Representar graficamente o quadrado da duração do período através do quociente das variações de comprimento.

Tabela

Número de molas	Força $F$ em N	Constante de mola $k$ em N/cm	Tempo para 10 períodos $t$ em s	Duração do período $T$ em s	Variação do comprimento $l$ em cm
1	100				
2	100				
3	100				

### Resultado

O quociente entre a força e a variação de comprimento de uma mola é caracterizado pela sua firmeza (constante de mola  $k = F/l$ ). Quanto maior a constante de mola, menor a duração de período.

É válido:

$$T^2 \sim \frac{l}{k}$$

### Observações

1. Ao determinar precisamente a proporcionalidade entre  $T^2$  e  $l/k$ , levar em conta

as forças de peso das molas penduradas e as correspondentes variações de comprimento!

2. Na experiência 2 podem também ser ordenadas várias molas uma ao lado da outra, assim reduz-se a constante de mola. A instalação de duas molas ao lado uma da outra é possível colocando dois suportes um ao lado do outro nos quais são penduradas uma mola em cada um. A ponta inferior de ambas molas são juntas com um cabide de latão, no qual os corpos em gancho são fixados (veja fig. 26a).

3. As duas experiências também servem para comprovação da equação para a duração de período de um pêndulo de torção

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$$

Neste caso, são aplicadas a massa  $m$  e a constante de mola  $k$  na equação e daí calcula-se a duração de período. Ela corresponde para cada experiência parcial com a duração de período medida.

4. A constante de mola ainda pode ser alterada pendurando mais uma mola de parafuso no gancho inferior do corpo em gancho, em cuja ponta inferior está fixado um suporte (veja fig. 26b).

## 27. Ressonância de dois pêndulos de torção

### Aparelhos

1. 4 Corpos em gancho
2. Alavanca
3. 2 molas de parafuso
4. 2 suportes
5. 2 mangas de borracha
6. Escala aderente
7. 2 ganchos de latão

### Montagem da experiência

- Fixar a escala aderente no quadro aderente na vertical e instalar um suporte na altura da sua parte superior, um à esquerda e outro à direita.
- Fixar os suportes com mangas de borracha e colocar a alavanca deitada por cima. Escolher uma distância entre suportes de modo que quase todo o comprimento da alavanca possa ser utilizado.
- Fixar as duas molas de parafuso no meio da alavanca a distância de 2 orifícios com a ajuda do gancho de latão e fixar 2 corpos em gancho em cada.

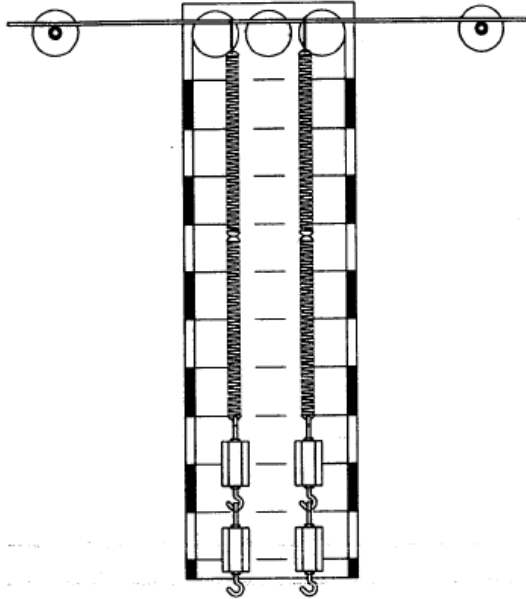


Fig.27

### Experiência

- Puxar a ponta inferior de uma das molas na vertical em uns 5 centímetros para baixo e logo soltar.

Ao oscilar ele transmite a sua energia aos poucos para o outro pêndulo, o qual começa a oscilar com cada vez mais amplitude. Logo, o primeiro pêndulo entra em repouso. Depois, a energia é transferida de volta para o primeiro pêndulo.

### Resultado

No caso de pêndulos acoplados de mesma frequência própria, ocorre mais uma transferência completa da energia de um pêndulo para o outro.