

PAQUÍMETRO, MICRÔMETRO E DINAMÔMETRO

META

Apresentar aos estudantes três instrumentos de medida: o paquímetro, o micrômetro e o dinamômetro.

OBJETIVOS

Ao final desta aula, o estudante deverá ser capaz de:

1. Manusear um paquímetro e um micrômetro;
2. Reconhecer a resolução, realizar medidas com e explicar o funcionamento destes instrumentos
3. Manusear um dinamômetro e explicar seu funcionamento
4. Entender a lei de Hooke;
5. Construir gráficos com as medidas realizadas e extrair deles informações importantes, como a constante elástica de molas;
6. Identificar as dificuldades do experimento e suas conseqüências.

PRÉ-REQUISITO

Ter estudado todo o conteúdo da primeira aula deste livro e estar no laboratório didático com as experiências de “Paquímetro e Micrômetro” e de “Lei de Hooke” montadas.

INTRODUÇÃO

Olá! Tudo bem?

Você já estudou a primeira aula?

Todo o conteúdo dela será utilizado intensamente nesta e em todas as próximas aulas. A partir desta aula, vamos iniciar a parte prática do nosso curso. É você quem vai “fazer” a aula. O livro servirá apenas de guia para orientá-lo a executar o experimento. Todos os experimentos serão executados em grupo, assim como os relatórios.

Em cada uma das próximas aulas, serão apresentados dois experimentos. Para cada um deles, o grupo deverá elaborar um relatório. Como os laboratórios montados em cada pólo são diferentes, as orientações contidas neste livro são genéricas. Será preciso que você entenda muito bem quais os objetivos do experimento para conseguir fazer as adaptações que forem necessárias para adequar o experimento à realidade do seu pólo.

É possível dividir as aulas experimentais em três partes: i. pré-experimento, no qual você deve ler atentamente a aula, para entender os objetivos do experimento e como a experiência deve ser executada para alcançá-los; ii. experimento, no qual todo o grupo deve trabalhar em harmonia, discutindo e entendendo todas as etapas da realização do experimento; iii. pós-experimento, que consiste na elaboração do relatório. Todas as partes são igualmente importantes e o aprendizado está diretamente relacionado à correta execução de todas as etapas.

Nesta aula, você será orientado a realizar duas experiências, que ensinarão a manusear instrumentos de medida: o paquímetro, o micrômetro e o dinamômetro. O primeiro experimento é intitulado “Paquímetro e Micrômetro”, e o segundo é sobre o funcionamento do dinamômetro de molas e é denominado de “Lei de Hooke”.

2.1 Paquímetro e Micrômetro

O paquímetro e o micrômetro são dois instrumentos que fornecem medidas precisas de dimensões lineares, como comprimentos, espessuras e diâmetros.

2.1.1 O paquímetro

Ao medirmos com uma régua, a menor divisão, que é denominada de resolução, é normalmente 1 mm. Para se medir décimos de mm ou até centésimos de mm, bastaria então acrescentar mais subdivisões à escala. Na prática isto é inviável, visto que os traços das subdivisões ficariam tão próximos que seria impossível visualizá-los. Uma forma de contornar este problema é utilizando um paquímetro. O paquímetro é uma régua normal equipada com uma escala móvel chamada nônio ou vernier, que permite medições de décimos ou centésimos de mm, dependendo das divisões da escala. A figura 2.1 apresenta uma ilustração de um paquímetro.

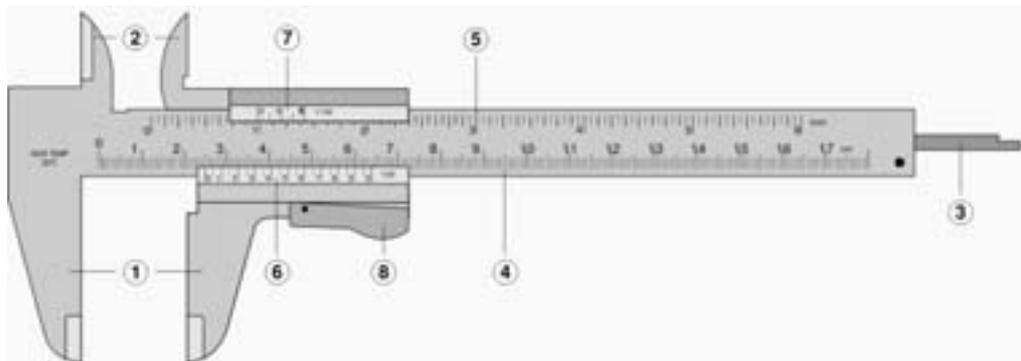


Figura 2.1: Ilustração de um paquímetro: 1: bicos (esquerdo fixo e direito móvel), 2: orelhas (esquerda fixa e direita móvel), 3: haste de profundidade, 4: escala fixa inferior (graduada em centímetros), 5: escala fixa superior (graduada em polegadas), 6: escala móvel (nônio ou vernier) inferior (cm), 7: escala móvel (nônio ou vernier) superior (polegada), 8: impulsor e trava. Em vários paquímetros, o impulsor e a trava são dispositivos distintos, ficando esta última na parte superior.

A diferença entre a régua e o paquímetro é o nônio ou vernier, que tem este nome em homenagem aos seus inventores o português Pedro Nunes e o

Laboratório de Física A

francês Pierre Vernier. O nônio (como passaremos a chamar a escala móvel a partir deste ponto) é uma ampliação da menor divisão da escala fixa, com novas divisões. A resolução do paquímetro, ou seja, sua menor divisão, é obtida pela divisão da resolução da escala fixa pelo número de divisões do nônio (como passaremos a chamar a escala móvel a partir deste ponto). Para facilitar a compreensão, vamos apresentar um exemplo de um nônio simples, cuja escala tem 10 divisões e está acoplado a uma escala fixa cuja menor divisão é 1 mm, como ilustrado na figura 2.2.

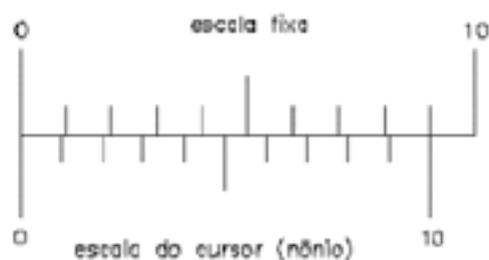


Figura 2.2: Ilustração de um nônio.

Na escala fixa, a menor divisão da escala é 1 mm. Já o nônio têm comprimento total de 9 mm, e, portanto, a sua menor divisão da escala é de 0,9 mm. Consequentemente, quando os zeros das duas escalas coincidem, a distância entre o 1 (primeiro traço) da escala principal e o 1 (primeiro traço) do nônio é de 0,1 mm, entre o 2 (segundo traço) da escala principal e o 2 (segundo traço) do nônio é de 0,2 mm, e assim por diante até o nono traço, cuja distância entre escalas é de 0,9 mm. Portanto, a utilização deste nônio permite que se avalie até 0,1 mm, que é $1/10$ da menor divisão da escala fixa.

Mas como?

Imagine que você coloque uma peça entre os bicos do paquímetro. Quando você fizer isso, o que vai acontecer é que a escala móvel será deslocada exatamente o tamanho da peça. Então, se colocarmos uma peça de 0,1 mm entre os bicos, os zeros das duas escalas da Figura 2.2 deixarão de ser coincidentes. A posição do zero da escala móvel é que indicará o tamanho da peça. Mas seria possível ler na escala fixa o deslocamento de 0,1 mm do zero da escala móvel? Não, certamente não seria possível ter certeza da distância entre os zeros. Mas lembre agora das distâncias entre os traços de cada escala. O que aconteceria com o primeiro traço da escala móvel? Ele agora coincidiria com o primeiro traço da escala fixa!

E se colocássemos uma peça de 0,2 mm?

O segundo traço seria o único a coincidir. E assim, sucessivamente. Você agora consegue visualizar que temos uma nova resolução de 0,1 mm?

Neste nosso exemplo, a resolução foi de 0,1 mm. Mas há vários tipos de paquímetro, com resoluções diferentes, e para determiná-las é preciso saber

a menor divisão da escala fixa e do número de divisões do nônio, como apresentado na Equação 2.1.

$$\text{Resolução} = \frac{\text{unidade da escala fixa}}{\text{número de divisões do nônio}} \quad (2.1)$$

Exemplos para um paquímetro com unidade da escala fixa de 1 mm

Nônio com 10 divisões: Resolução = 1 mm / 10 divisões = 0,1 mm

Nônio com 20 divisões: Resolução = 1 mm / 20 divisões = 0,05 mm

Nônio com 50 divisões: Resolução = 1 mm / 50 divisões = 0,02 mm

Para realizar uma medida com o paquímetro, você deve:

1. Posicionar a peça a ser medida na região correta do paquímetro: coloque-a entre os bicos para medidas de dimensões externas, coloque as orelhas dentro da peça para medidas de dimensões internas, ou coloque a haste dentro da peça para medidas de profundidade. As figuras 2.3 a 2.5 ilustram cada caso.
2. Após o posicionamento da peça, mova as partes móveis com o polegar atuando no impulsor até que a parte móvel (bico, orelha ou haste) encoste suavemente na peça.

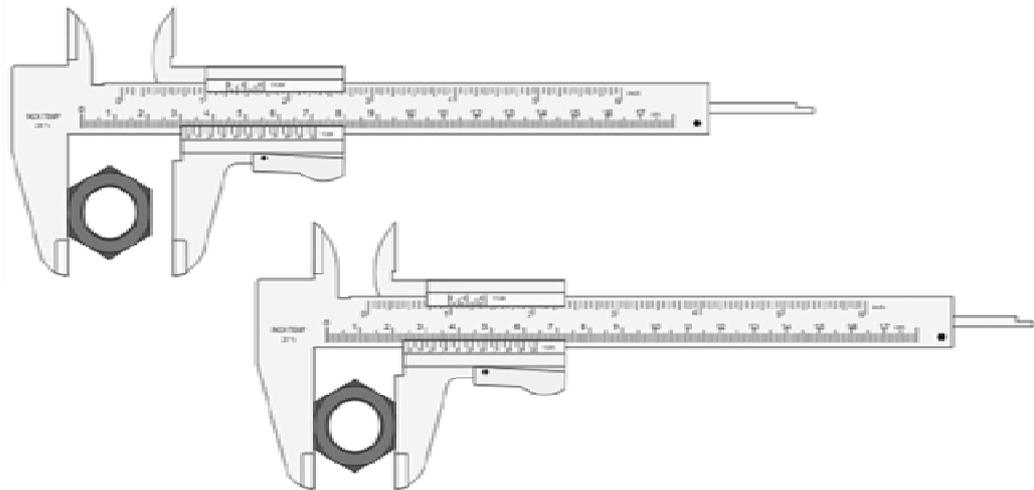


Figura 2.3: Exemplo de como posicionar um objeto para medida do seu diâmetro externo.

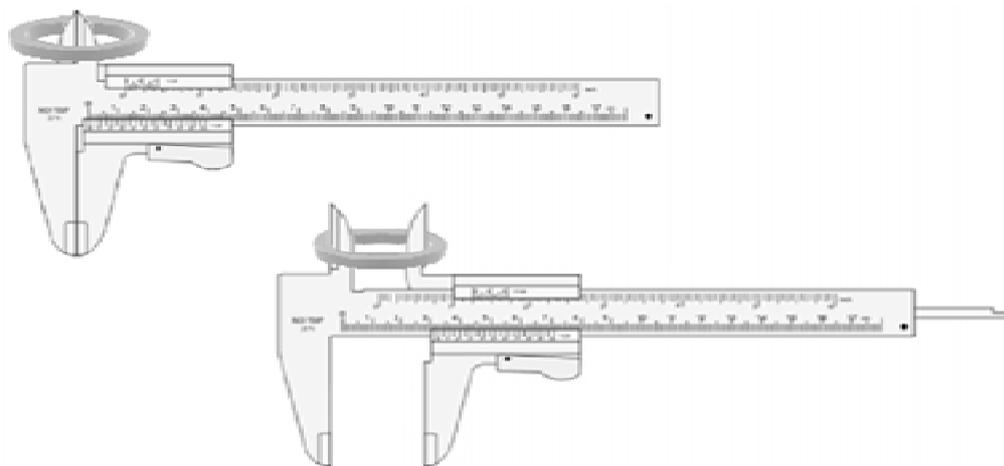


Figura 2.4: Exemplo de como posicionar um objeto para medida do seu diâmetro interno.

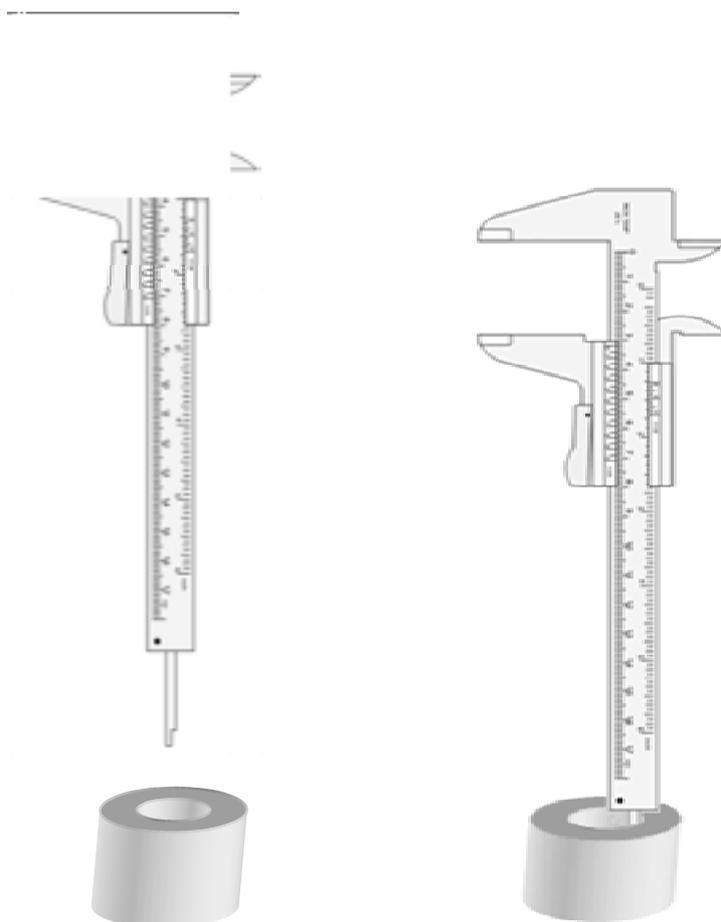


Figura 2.5: Exemplo de como posicionar um objeto para medida da sua profundidade.

3. Leia, na escala fixa, o número de centímetros inteiros (à esquerda do zero do nônio), como ilustra a figura 2.6.

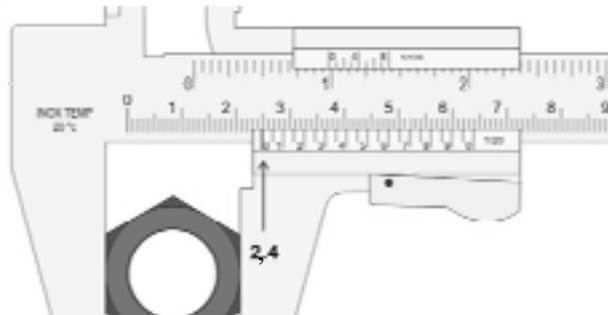


Figura 2.6: Leitura da escala fixa num exemplo de medida de diâmetro externo.

4. Leia a parte fracionária da medida observando qual traço do nônio coincide com algum traço da escala fixa e calcule o valor da fração multiplicando o número desse traço pela resolução, como ilustra a figura 2.7. Neste caso, a resolução é 1 mm/20 divisões, ou seja, 0,05 mm = 0,005 cm.

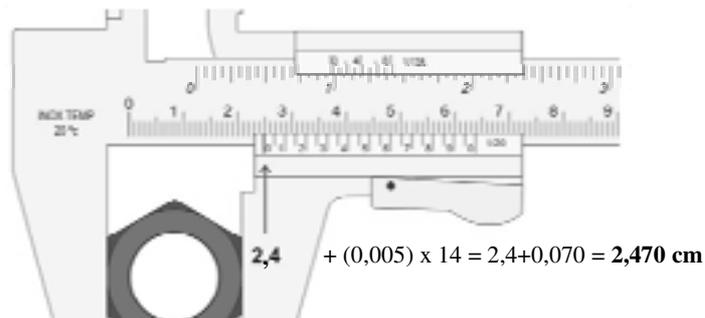


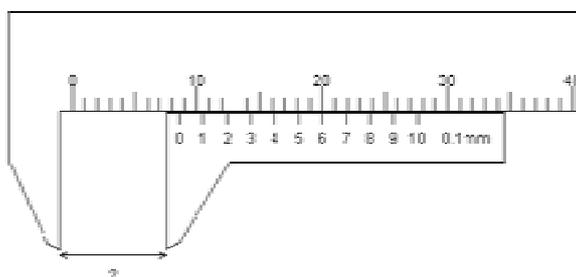
Figura 2.7: Leitura do nônio num exemplo de medida de diâmetro externo.

COMENTÁRIO

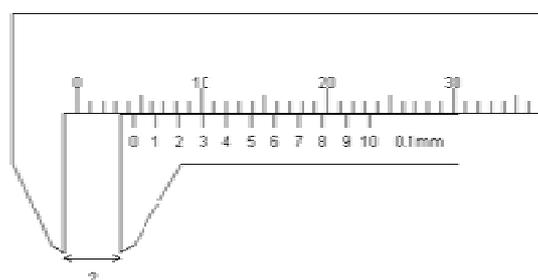
Perceba que, embora o traço esteja numerado como 7, entre cada dois traços numerados, há um outro traço não numerado. Portanto, o traço coincidente é o décimo quarto, e não o sétimo.

ATIVIDADE

Indique as leituras exemplificadas nos paquímetros apresentados a seguir.



L= _____



L= _____

COMENTÁRIO SOBRE A ATIVIDADE

Em ambos os casos, o paquímetro tem resolução de 0,1 mm. No primeiro exemplo, o zero do nônio está após o 8 mm e o traço coincidente é o 6. Assim, temos que a leitura é $8 + (0,1) \times 6 = 8,6 \text{ mm}$. E, no segundo exemplo, a leitura é 4,4 mm.

2.1.2 O Micrômetro

O micrômetro é um instrumento de medida de alta precisão que permite efetuar medições de até milésimos do milímetro. Um micrômetro típico é composto basicamente por um parafuso especial chamado de parafuso micrométrico, cujo passo é de 0,5 mm por volta completa do parafuso. Isto significa que, a cada volta, o parafuso avança ou recua uma distância equivalente a 0,5 mm. As partes típicas de um micrômetro podem ser vistas na figura 2.8.

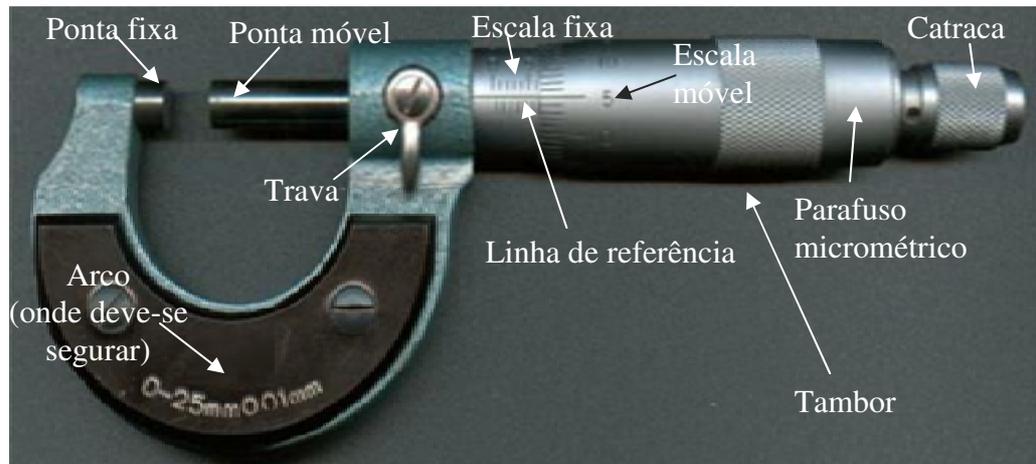


Figura 2.8: Um micrômetro.

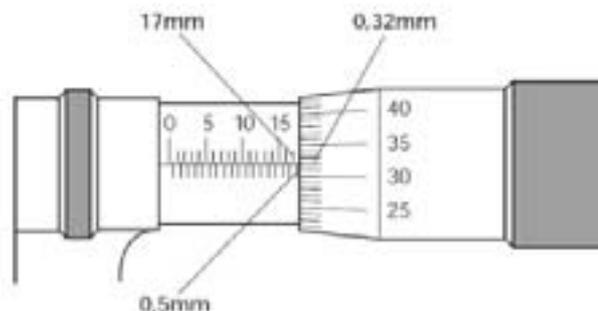
Observe que a escala fixa contém divisões em mm acima e abaixo da linha horizontal, deslocadas entre si de 0,5 mm. Isto porque, como já foi mencionado, cada volta do parafuso micrométrico, desloca o tambor de 0,5 mm. Isto facilita a leitura.

Para realizar uma medida com o micrômetro, você deve:

1. Posicionar o objeto a ser medido entre as faces da ponta fixa e da ponta móvel, encostado na face da ponta fixa;
2. Girar o tambor até que a face da ponta móvel esteja próxima ao objeto, mas sem tocá-lo;
3. Girar a catraca até ouvir o sinal sonoro de indicação de toque da face da ponta móvel com o objeto;
4. Fazer a leitura em mm na escala fixa acima da linha horizontal (ou seja, ler os milímetros inteiros que estão visíveis antes da borda do tambor);
5. Ver se a marcação de 0,5 mm superior ao último milímetro inteiro medido já está visível;
6. Ler os centésimos de milímetros na escala móvel.

Para entender melhor como obter o resultado final, veja os exemplos a seguir:

Exemplo 1:



Laboratório de Física A

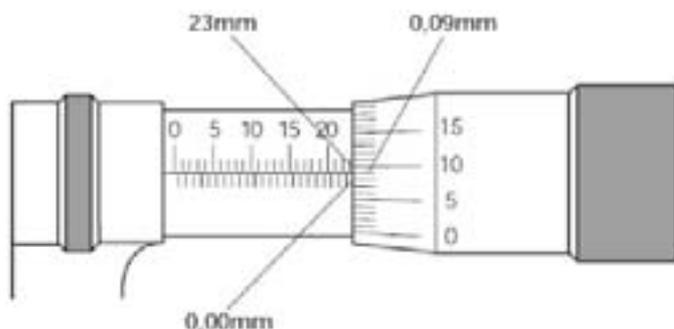
A leitura dos inteiros é 17 mm;

A marcação de meio milímetro já está aparente, portanto, têm-se mais 0,5 mm;

A leitura na escala do tambor é 0,32 mm;

O resultado final é $17+0,5+0,32 = 17,82$ mm.

Exemplo 2:



A leitura dos inteiros é 23 mm;

A marcação de meio milímetro não está aparente ainda;

A leitura na escala do tambor é 0,09 mm;

O resultado final é $23+0+0,09 = 23,09$ mm.

ATIVIDADE

Indique as leituras exemplificadas nos micrômetros apresentados a seguir.



L= _____



L= _____

COMENTÁRIO SOBRE A ATIVIDADE

A leitura no primeiro micrômetro é $7+0,5+0,28 = 7,78$ mm. E no segundo é $24+0,5+0,22 = 24,72$ mm.

O PRIMEIRO EXPERIMENTO: PAQUÍMETRO E MICRÔMETRO

OBJETIVOS

Nesta experiência, você aprenderá a manusear dois instrumentos, o paquímetro e o micrômetro, e a tratar dos dados de forma adequada para obtenção dos resultados experimentais e suas incertezas.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais necessários para realização deste experimento são:

- ✓ Paquímetro
- ✓ Micrômetro
- ✓ Régua
- ✓ 2 tubos cilíndricos de diâmetros e/ou alturas diferentes;
- ✓ 2 esferas de diâmetros diferentes.

ROTEIRO EXPERIMENTAL

- i. Com o paquímetro, meça o diâmetro interno, o diâmetro externo e a altura de cada tubo cilíndrico. Repita cada medida mais 4 vezes. A partir das medidas, determine o valor médio e a incerteza total (combinada) para cada dimensão medida;
- ii. Com o micrômetro, meça o diâmetro de cada esfera. Repita cada medida mais 4 vezes. A partir das medidas, determine o valor médio e a incerteza total para cada dimensão medida;
- iii. Com a régua, meça, apenas uma vez, as mesmas dimensões de uma das cascas cilíndricas e de uma das esferas.

Durante a coleta dos dados, os alunos devem analisar se eles estão dentro do esperado, buscando identificar possíveis erros nas medidas. Dados coletados sem que haja o devido cuidado e atenção levam a resultados incorretos e de difícil discussão.

É fundamental que os dados sejam coletados de forma organizada e, para tanto, é muito útil fazer uma tabela de dados. Nos experimentos deste curso, será feita sempre uma sugestão de tabela de dados, que você poderá usar diretamente ou fazer adaptações. Para este primeiro experimento, a sugestão está apresentada na Tabela 2.1.

Laboratório de Física A

Tabela 2.1: Dados coletados com o paquímetro e com o micrômetro.

Paquímetro					
Cilindro		Altura (cm)	Diâmetro Interno (cm)	Diâmetro Externo (cm)	
	Medida 1				
	Medida 2				
	Medida 3				
	Medida 4				
	Medida 5				
	Média				
	Desvio Padrão				
	σ_a				
	σ_b				
	σ_c				
Resultado	(_____ \pm _____) _____	(_____ \pm _____) _____	(_____ \pm _____) _____		
Cilindro		Altura (cm)	Diâmetro Interno (cm)	Diâmetro Externo (cm)	
	Medida 1				
	Medida 2				
	Medida 3				
	Medida 4				
	Medida 5				
	Média				
	Desvio Padrão				
	σ_a				
	σ_b				
	σ_c				
Resultado	(_____ \pm _____) _____	(_____ \pm _____) _____	(_____ \pm _____) _____		
Medida com a Régua Cilindro _____					
Micrômetro					
Esfera		Diâmetro (mm)	Esfera		Diâmetro (mm)
	Medida 1			Medida 1	
	Medida 2			Medida 2	
	Medida 3			Medida 3	
	Medida 4			Medida 4	
	Medida 5			Medida 5	
	Média			Média	
	Desvio Padrão			Desvio Padrão	
	σ_a			σ_a	
	σ_b			σ_b	
	σ_c			σ_c	
Resultado	(_____ \pm _____) _____	Resultado	(_____ \pm _____) _____		
Medida com a Régua Esfera _____					

DISCUSSÃO

Na elaboração do relatório, você deverá sempre buscar discutir os seus resultados e, para auxiliar a discussão, serão sempre levantados questionamentos que devem ser respondidos nos relatórios. Não responda aos questionamentos como se o relatório fosse um questionário. Insira no seu texto, as respostas pedidas.

A partir dos dados desta primeira experiência você deve determinar:

1. Os volumes das cascas cilíndricas com as respectivas incertezas, que precisará ser determinada por propagação das incertezas associadas às grandezas medidas (ler o comentário lateral);
2. Os volumes das esferas e suas respectivas incertezas (também por propagação de incertezas);
3. As incertezas relativas em cada caso e discuta se os volumes calculados são precisos;
4. A diferença entre as dimensões obtidas com os instrumentos mais precisos e com a régua convencional. Ilustre sua resposta apresentando as medidas feitas pelo grupo e quantificando, em termos percentuais, as diferenças obtidas.

Dicas: Para calcular o que é pedido no item 1, você precisa saber como determinar o volume de uma casca cilíndrica. Visualize a casca cilíndrica como a subtração do cilindro externo pelo cilindro interno. Sabendo qual o volume do cilindro, é possível calcular a equação para o volume da casca cilíndrica. Além disso, lembre que você fez medidas de diâmetro, portanto, a sua propagação de incertezas ficará bem mais simples se você colocar sua expressão em termos dos diâmetros ao invés dos raios.

Dica: No caso do item 2, também vale a regra de colocar a expressão do volume em termos da grandeza medida, ou seja, do diâmetro da esfera.



Agora é uma boa hora para uma pausa. Antes de começar a próxima experiência, seria mais interessante fazer o relatório da experiência que você acabou de realizar. Assim, com as lembranças vivas, haverá menos dificuldade de relatar o que foi feito.

Relatório concluído?
Pronto para uma nova experiência?

A segunda experiência deste curso é sobre a Lei de Hooke, que você já deve ter estudado no ensino médio. Vamos entender como, usando esta lei, uma mola simples pode medir a força peso, e assim funcionar como um dinamômetro rudimentar?

Dinamômetro é um instrumento utilizado para medir forças.

2.1.3 Lei de Hooke

Quando uma “mola ideal” é submetida a uma deformação (distensão ou compressão), uma força elástica restauradora é gerada de acordo com a lei de Hooke:

$$F = -k \cdot \Delta x \quad (2.2)$$

Δx é o alongamento ou encurtamento da mola e k é chamada de constante elástica da mola. Seu valor é uma característica da mola.

Na prática, uma “mola real” obedece a lei de Hooke até um certo valor de deformação que chamamos de limite elástico. A partir deste valor, a deformação da mola se torna permanente.

Podemos usar o fato da força restauradora de uma mola ser proporcional a sua deformação para medir forças em situações estáticas. Um dinamômetro, portanto, nada mais é do que uma mola com suas deformações “calibradas” para uma escala de forças. Um dinamômetro pode ser “calibrado” utilizando o arranjo apresentado na figura 2.9.

Como as massas na figura 2.9 estão em repouso, então o sistema está em equilíbrio, e têm-se:

$$|\vec{P}| = |\vec{F}_{el}| \quad (2.3)$$

Portanto:

$$m \cdot g = k \cdot \Delta x \quad (2.4)$$

De acordo com a Equação 2.4, se fizermos um gráfico em papel milimetrado do Peso versus Δx , deveremos obter uma reta cujo coeficiente angular é a constante elástica da mola.

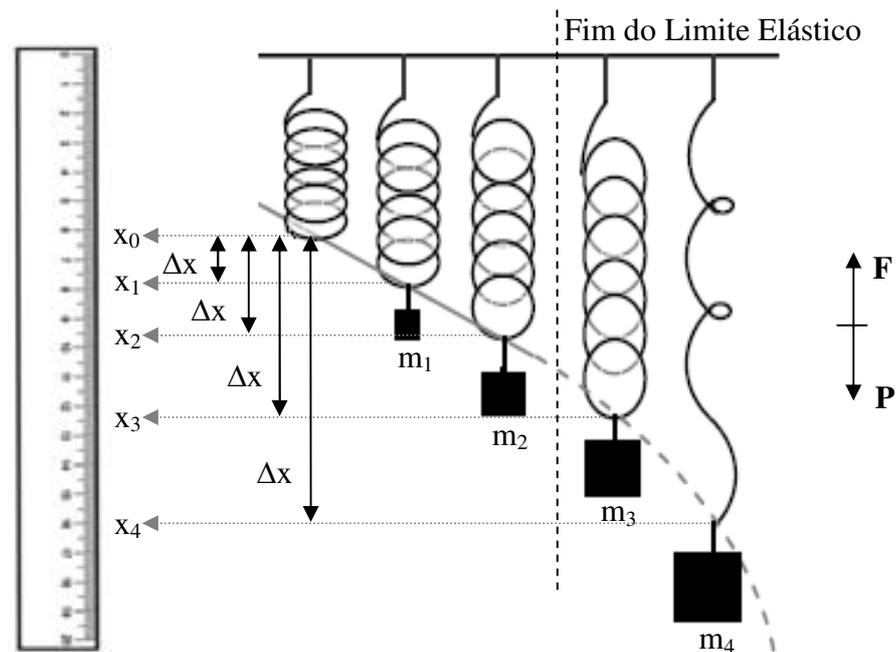


Figura 2.9: Esquema do arranjo para “calibrar” uma mola como dinamômetro.

O SEGUNDO EXPERIMENTO: LEI DE HOOKE

OBJETIVOS

O objetivo principal desta experiência é proporcionar aos alunos uma melhor compreensão da lei de Hooke, por meio da construção e calibração de dois “dinamômetros” rudimentares. Você aprenderá a determinar a constante elástica de uma mola utilizando um arranjo experimental simples.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais necessários para realização deste experimento são:

- ✓ 2 molas com fios de mesmo material e feitas com fios de mesmo diâmetro, mas com enrolamentos de diâmetros diferentes (se não for possível utilizar molas de mesmo material, utilizar quaisquer duas molas)
- ✓ Suporte para mola com tripé e escala graduada
- ✓ Suporte aferido para massas
- ✓ Conjunto de massas aferidas

A figura 2.10 apresenta uma ilustração do arranjo experimental utilizado.

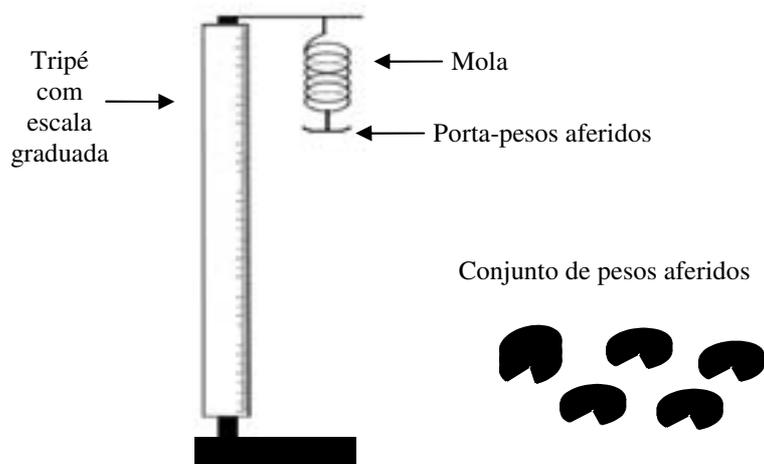


Figura 2.10: Esquema do aparato experimental.

ROTEIRO EXPERIMENTAL

- i. Coloque uma mola suspensa e, sem nenhuma força externa aplicada, determine posição da extremidade da mola, definida como a origem (x_0);
- ii. Pendure o porta-pesos, cuja massa deve ser conhecida, e anote o valor de x correspondente à deformação da mola;
- iii. Retire o porta-pesos e refaça a medida ii mais 2 vezes;
- iv. Complete a tabela 2.2 medindo as deformações causadas por outros 7 valores diferentes de massa, colocadas no porta-pesos, tomando o cuidado de medir 3 vezes em cada caso e de não ultrapassar o limite elástico da mola, para não deformá-la permanentemente;
- v. Ao retirar as massas, observe se a posição da extremidade da mola sem deformação, ou seja, x_0 , sofreu alguma variação;
- vi. Repita os procedimentos anteriores para a segunda mola.

Assim como foi dito na experiência anterior, é fundamental que os alunos analisem os dados durante a realização do experimento, buscando identificar e corrigir possíveis erros nas medidas. Esta recomendação é válida para *todos os experimentos* a serem realizados.

A Tabela 2.2 é uma sugestão para a tabela de dados.

Tabela 2.2: Dados coletados na experiência de lei de Hooke.

Mola:		X ₀ (m): _____			X (m)					Resultado de ΔX			
m (Kg)	Peso (N)	Medida 1	Medida 2	Medida 3	X	σ _a (m)	σ _b (m)	σ _c (m)	ΔX (m)	σ _{ΔX} (m)	Resultado de ΔX		
Massa 1											(±)		
Massa 2											(±)		
Massa 3											(±)		
Massa 4											(±)		
Massa 5											(±)		
Massa 6											(±)		
Massa 7											(±)		
Massa 8											(±)		
Mola:		X ₀ (m): _____			X (m)					Resultado de ΔX			
m (Kg)	Peso (N)	Medida 1	Medida 2	Medida 3	X	σ _a (m)	σ _b (m)	σ _c (m)	ΔX (m)	σ _{ΔX} (m)	Resultado de ΔX		
Massa 1											(±)		
Massa 2											(±)		
Massa 3											(±)		
Massa 4											(±)		
Massa 5											(±)		
Massa 6											(±)		
Massa 7											(±)		
Massa 8											(±)		
σ _b em m = _____ Kg		→			σ ₀ no peso = _____ N								

DISCUSSÃO

1. A partir dos dados obtidos, construa, em papel milimetrado, um gráfico da força peso em função da elongação para cada uma das molas avaliadas. Utilize, para tanto, o valor de $g = 9,78 \text{ m/s}^2$ (valor da aceleração da gravidade a aproximadamente 6° de latitude sul). Qual é o comportamento do gráfico?
2. Podemos afirmar que as molas obedecem à lei de Hooke? Por quê?
3. Determine o valor do coeficiente angular da reta ajustada e, a partir dele, determine a constante elástica de cada mola.
4. Qual a relação entre a constante elástica das molas e o diâmetro do enrolamento?
5. Qual é o significado físico da constante elástica de uma mola? O que ela indica?
6. Quais as dificuldades encontradas na execução do experimento? Como será que estas dificuldades afetaram os dados obtidos?
7. Houve deformações permanentes na mola?

CONCLUSÃO

Chegamos ao final de mais uma experiência. Agora você deve se reunir com o seu grupo para elaborar o relatório. Assim como é importante executar o experimento com cuidado e atenção, é importante saber relatá-lo e saber apresentar os resultados obtidos de forma clara e objetiva. O relatório deve conter todas as informações que faça qualquer pessoa, mesmo sem ter conhecimento prévio sobre a experiência, entender o que está sendo descrito.

Antes de terminar esta aula, gostaria que você pensasse um pouco sobre o seu papel no trabalho de equipe. Você ficou satisfeito com a sua participação? Não esqueça que o seu aprendizado nesta disciplina depende da sua participação em cada etapa do experimento. Nem sempre é fácil trabalhar em equipe, mas o sucesso do experimento depende do entrosamento do grupo e, para tanto, todos os componentes do grupo devem ser prestativos, tolerantes e paciente.

RESUMO

Nesta aula, você foi levado a realizar dois experimentos. O primeiro experimento permitiu que você aprendesse a usar dois instrumentos bastante utilizados para medidas precisas de dimensões lineares: o paquímetro e o micrômetro. Tanto o paquímetro, quanto o micrômetro funcionam com uma combinação de uma escala fixa e uma escala móvel, que é a responsável pela melhoria da precisão do equipamento. O segundo experimento foi sobre a utilização da lei de Hooke para a calibração de uma mola. Por meio deste experimento, você pode entender o princípio de funcionamento dos dinamômetros de mola. Além disso, para elaborar os relatórios, você precisou aplicar os conhecimentos sobre relatórios, cálculos estatísticos, cálculo de incertezas, propagação de incertezas e gráficos.

AUTO-AVALIAÇÃO

- Eu sei como usar um paquímetro?
- Eu sei como usar um micrômetro?
- Eu sei como funciona um dinamômetro de molas?
- Eu participei ativamente da execução dos experimentos?
- Eu colaborei na elaboração dos relatórios?

PRÓXIMA AULA

Na próxima aula, você realizará mais duas experiências: uma sobre a força de atrito estático e outra sobre o movimento parabólico.

REFERÊNCIAS

1. Hugh D. Young e Roger A. Freedman: “Física I – Mecânica”; Tradução de Adir Moysés Luiz. Editora Addison Wesley, São Paulo. 10ª Edição, 2003.
2. Frederick J. Keller, W. Edward Gettys e Malcolm J. Skove: “Física”, Volume 1; Tradução de Alfredo Alves de Farias. Editora Makron Books, São Paulo. 1ª Edição, 1997.
3. Robert Resnick, David Halliday e Kenneth S. Krane: “Física 1”; Tradução de Pedro M. C. L. Pacheco, Marcelo A. Savi, Leydervan S. Xavier, Fernando R. Silva. LTC Editora, Rio de Janeiro. 5ª Edição, 2003.