

Experimento 1 - Segunda Lei de Newton: Movimento com atrito

OBJETIVOS DO EXPERIMENTO

- ✓ Utilizar a segunda lei de Newton para determinar a aceleração adquirida por um corpo sob a ação de forças constantes atuando sobre ele.
- ✓ Determinar o coeficiente de atrito entre duas superfícies.
- ✓ Discutir situações do dia a dia que envolvem força de atrito.

PREPARAÇÃO

Considere dois corpos de massa m e M ligados entre si por um fio muito leve e inextensível, de acordo com o esquema mostrado na Figura 01 ao lado. Na parte inicial do movimento, ao serem abandonados, o sistema (corpos m e M e o fio) terão a mesma aceleração em módulo, até o corpo M tocar o solo. Na parte final do movimento, o corpo de massa m estará sujeito apenas à força de atrito com a superfície, até parar.

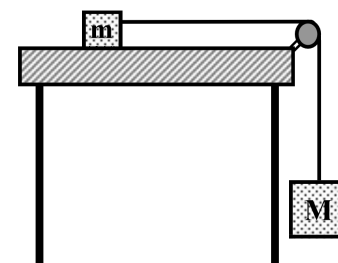


Figura 01: Esquema do experimento. Fonte: Adaptada de Física Experimental I Ufes

Medindo-se a aceleração da parte final do movimento de m , será possível determinar o coeficiente de atrito cinético μ entre o corpo e a superfície. Com este valor, será possível verificar também que a aceleração adquirida pelo corpo m , na primeira parte do movimento, é proporcional à soma de forças que atuam sobre ele, verificando o que é estabelecido pela segunda lei de Newton

Questionário

Antes de começar as atividades práticas, discuta com seu grupo e responda as perguntas abaixo:

- 1 - Descreva qualitativamente o comportamento da posição, velocidade e aceleração ao longo de todo o movimento do corpo de massa m .

Posição:

Velocidade:

Aceleração:

- 2 - Represente todas as forças externas, e suas respectivas reações, nos corpos de massa **m** e **M**.

- 3 - Aplique a segunda Lei de Newton nos corpos **m** e **M** e mostre que a aceleração adquirida por **m** é dada por $a_i = \left(\frac{M - \mu m}{M + m} \right) g$ (na parte inicial do movimento), onde g é a aceleração da gravidade e μ é o coeficiente de atrito cinético entre **m** e a superfície.

- 4 - Mostre que na parte final, a aceleração será dada por $a_f = \mu g$.

Referências

É recomendada a leitura das referências abaixo para uma revisão e compreensão da segunda lei de Newton e suas aplicações:

- ✓ Jearl, HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; W. **Fundamentos de Física - Vol. 1 - Mecânica**,

10ª edição. Grupo GEN, 2016. [Grupo GEN]. Ler capítulos 5 e 6.

- ✓ TIPLER, P. (2000) **Física para Cientistas e Engenheiros**. Vol 1. 4ª Edição. Editora LTC. Rio de Janeiro-RJ. Ler capítulos 5 e 6.

EXECUÇÃO

O material a ser utilizado para a realização deste procedimento experimental está listado abaixo:

- ✓ Uma caixa de creme de leite ou leite moça, no formato de paralelepípedo, com indicação de 200g na embalagem. A massa total da caixa (embalagem+produto) é de $m = (208,5 \pm 0,5)\text{g}$. Este deve ser usado como o objeto de massa **m** (ver Figura 01).
- ✓ Uma caixa de creme de leite ou leite moça, no formato de paralelepípedo, com indicação de 395g na embalagem. A massa total (embalagem+produto) é de $M = (408,0 \pm 0,5)\text{g}$. Este deve ser usado como o objeto de massa **M** (ver Figura 01).
- ✓ Barbante.
- ✓ Fita crepe.
- ✓ Régua.
- ✓ Uma câmera filmadora capaz de gravar vídeos de curta duração, que pode ser a do próprio celular.
- ✓ Tripé para máquina fotográfica ou celular.
- ✓ Software Tracker instalado em um computador, para a análise do vídeo, disponível para download em <https://physlets.org/tracker/>.

Para a realização do experimento, visando a coleta de dados, proceda da seguinte forma:

- 5 - Amarre o barbante entre as caixas de massas **m** e **M**, de acordo com o esquema da Figura 01. O comprimento deverá ser ajustado de acordo com a mesa a ser usada para a realização do experimento. Veja o vídeo disponível no link (<https://drive.google.com/file/d/1VtjqyyXs7XeyXuEd4KiwYBQA28eNlo78/view?usp=sharing>) para ter uma orientação mais precisa.
- 6 - Utilize uma mesa com superfície lisa e nivelada. Isso pode ser verificado colocando-se uma bolinha de gude sobre a mesa. Ela permanecendo em repouso, é um bom indício de que a mesa esteja nivelada.
- 7 - Posicione a câmera, de preferência usando um tripé fixo simples, de modo que o plano da lente e da linha que contém o movimento do corpo **m** sejam paralelos entre si. Siga as orientações contidas no vídeo citado acima.

- 8 - Fixe a régua de modo que fique visível no vídeo, e bem próxima do corpo **m**. Cole um pedaço de fita crepe no corpo **m** e faça uma pequena marca com caneta de tinta preta (isso serve para facilitar a coleta dos dados com o software *Tracker*).
- 9 - Inicie a gravação do vídeo e abandone o sistema de corpos. (OBS: O ambiente precisa estar bem iluminado, para garantir um vídeo de boa qualidade. Para isso, sugere-se fazer o vídeo de dia e com incidência direta da luz solar sobre o corpo que será filmado).
- 10 - Certifique-se de que as imagens dos vídeos estejam de boa qualidade e permitam a futura análise com o software *Tracker*. (Obs: Pode ser necessário regravar o vídeo.)

ANÁLISE DOS DADOS

- 11 - Utilize *software Tracker* para marcar os pontos e coletar dados da velocidade e do tempo, tanto da parte inicial quanto da parte final do movimento do corpo de massa **m** (corpo sobre a mesa). Cada integrante do grupo deverá fazer separadamente este procedimento, usando o mesmo vídeo. Veja orientações disponíveis neste link (<https://drive.google.com/file/d/1AjFS5KZ2EKzU283YZzyBhRa4dem76Ql7/view?usp=sharing>) para realizar esse procedimento de coleta de dados:

- 12 - Anote os valores da parte inicial do movimento na tabela abaixo:

Dados do aluno 1		
Ponto i	$t_{1i}(s)$	$v_{1i}(mm/s)$
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		

Dados do aluno 2		
Ponto i	$t_{2i}(s)$	$v_{2i}(mm/s)$
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		

Dados do aluno 3		
Ponto i	$t_{3i}(s)$	$v_{3i}(mm/s)$
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		

- 13 - Use algum programa de planilha eletrônica para plotar os gráficos de $v \times t$ da parte inicial do movimento do corpo **m**.
- 14 - Utilize os recursos de adicionar linha de tendência para obter a equação de cada um dos gráficos e em seguida obtenha o valor da aceleração:

Aceleração_i (aluno1) = _____

Aceleração_i (aluno2) = _____

Aceleração_i (aluno3) = _____

- 15 - De posse desses valores, determine o valor médio da aceleração do corpo **m**, e de sua respectiva incerteza, na parte inicial do movimento.

Aceleração corpo de massa **m**, parte inicial: _____ \pm _____ m/s^2

- 16 - Comente sobre os fatores que podem influenciar no valor da incerteza que foi determinada neste experimento.

- 17 - Repita os passos anteriores para a parte final do movimento. Anote os valores coletados com o Tracker na tabela abaixo:

Dados do aluno 1		
Ponto <i>i</i>	$t_{1i}(\text{s})$	$v_{1f}(\text{mm/s})$
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		

Dados do aluno 2		
Ponto <i>i</i>	$t_{2i}(\text{s})$	$v_{2f}(\text{mm/s})$
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		

Dados do aluno 3		
Ponto <i>i</i>	$t_{1f}(\text{s})$	$v_{1f}(\text{mm/s})$
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		

- 18 - Use algum programa de planilha eletrônica para plotar os gráficos de $v \times t$ da parte final do movimento do corpo **m**.

- 19 - Utilize os recursos de adicionar linha de tendência para obter a equação de cada um dos gráficos e em seguida obtenha o valor da aceleração:

Aceleração_f (aluno1) = _____

Aceleração_f (aluno2) = _____

Aceleração_f (aluno3) = _____

- 20 - De posse desses valores, determine o valor médio da aceleração do corpo **m**, e de sua respectiva incerteza, na parte final do movimento.

Aceleração corpo de massa **m**, parte final: _____ \pm _____ m/s^2

- 21 - Com o valor da aceleração da parte final do movimento, determine o coeficiente de atrito cinético entre a superfície e o corpo de massa **m** a partir da expressão $a = \mu g$ (use o valor de referência do Observatório Nacional $g = (9,79 \pm 0,03) \text{m/s}^2$) e anote o valor abaixo.

$\mu =$ _____ \pm _____

- 22 - Usando os valores teóricos (e suas respectivas incertezas) conhecidos de **m**, **M** e **g**=(9,79±0,03)m/s², e o valor de **μ** calculado acima, determine o valor da aceleração na parte inicial e final do movimento, bem como suas respectivas incertezas:

Aceleração da parte inicial do movimento $a_i = \left(\frac{M-\mu m}{M+m} \right) g = \underline{\hspace{1cm}} \pm \underline{\hspace{1cm}} \text{ m/s}^2$

Aceleração da parte final do movimento $a_f = \mu g = \underline{\hspace{1cm}} \pm \underline{\hspace{1cm}} \text{ m/s}^2$

DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

- 23 - Compare o valor da aceleração obtido de modo “teórico” e de modo experimental, na parte inicial do movimento do corpo de massa **m**.

	Valor teórico	Valor experimental
Aceleração parte inicial	$\underline{\hspace{1cm}} \pm \underline{\hspace{1cm}}$	$\underline{\hspace{1cm}} \pm \underline{\hspace{1cm}}$

Faça a representação gráfica destes valores, de acordo com as orientações na página 40, para facilitar a comparação entre eles.

- 24 - Levando-se em consideração as respectivas incertezas, o grupo deve constatar que esses valores não são iguais. Fundamentado na previsão da segunda Lei de Newton, e nas condições em que o experimento foi realizado, discuta e explique porque isso ocorre.

- 25 - Discuta em grupo melhorias ou modificações que podem ser feitas no procedimento experimental para encontrar o valor esperado da aceleração na parte inicial do movimento. Sugere-se colocar a(s) modificação(ões) em prática e verificar se realmente produz(em) os resultados esperados. Descreva abaixo o que o grupo fez e os resultados que encontrou.

- 26 - Ao longo do movimento, houve algum momento em que a aceleração do corpo **m** foi igual a zero? Explique sua resposta.

- 27 - Se a massa do corpo m fosse aumentada (que pode ser feito colocando uma segunda caixa em cima da primeira), o que aconteceria com o coeficiente de atrito cinético entre o corpo e a superfície? Vai aumentar, diminuir ou permanecer o mesmo? Explique suas respostas. (OBS: Uma análise com base na segunda Lei de Newton possibilita responder essa pergunta. Adicionalmente, o grupo pode explorar essa situação gravando um segundo vídeo e confirmando a resposta apresentada. Sugiro que façam essa verificação.)

- 28 - Descreva pelo menos três situações do nosso dia a dia em que o atrito entre uma superfície e um corpo seja diminuído por causa de um produto existente entre eles. Discuta também as possíveis implicações práticas de cada uma das situações.

- 29 - Escreva um breve relato da execução do experimento e das dificuldades encontradas pelo grupo na realização das atividades.

ATIVIDADES ADICIONAL 1 - OPCIONAL

- 30 - Este procedimento permite determinar o coeficiente de atrito cinético entre o corpo m e a mesa. Discutam modificações/ajustes que podem ser feitas no experimento e que permitam calcular também o coeficiente de atrito estático entre a superfície e o corpo.

- 31 - Sugere-se colocar tal proposta em prática e verificar se realmente produz os resultados esperados. Registre os comentários no espaço abaixo.

ATIVIDADES ADICIONAL 2 - OPCIONAL

- 32 - Coloque uma fina camada de talco sobre a mesa, para diminuir o coeficiente de atrito entre as superfícies, e grave um novo vídeo do movimento
- 33 - Considerando os movimentos do corpo **m**, sem e com o talco, descreva as diferenças observadas nos valores da velocidade e aceleração. (OBS: O grupo deve refazer alguns dos passos anteriores para determinar experimentalmente a velocidade e a aceleração, facilitando a descrição sugerida nessa questão.)

- 34 - Sugere-se colocar tal proposta em prática e verificar se realmente produz os resultados esperados. Registre os comentários no espaço abaixo.
