

## DEMONSTRAÇÕES SOBRE ROTAÇÕES

### Objetivo

Facilitar a compreensão dos conceitos envolvidos na rotação de um corpo rígido através da realização de uma série de experimentos qualitativos.

### Introdução

Inegavelmente, a área de rotações é aquela onde os alunos apresentam a maior dificuldade. A fim de tornar mais claros os conceitos envolvidos, você realizará, nesta atividade, uma série de pequenos experimentos demonstrativos que ilustram características importantes das rotações.

### Experimento 12.1: Deslocamento do CM de um rolo de papel desenrolado sobre uma superfície plana

Se o bloco da figura 1a é puxado sobre uma superfície horizontal, de forma que um ponto P do fio sofre um deslocamento  $\bar{x}_P$ , o deslocamento do centro de massa (CM) do bloco será  $\bar{x}_{CM} = \bar{x}_P$ .

*Qual será o deslocamento  $\bar{x}_{CM}$  do CM do rolo de papel em relação ao deslocamento  $\bar{x}_P$  de um ponto P do papel desenrolado (figura 1b)?*

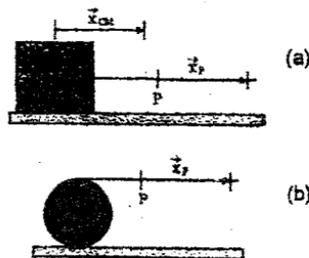


Figura 1.

### Procedimentos Experimentais

- Repouse o rolo de papel sobre a mesa e assinala a posição inicial do seu CM. Desenrole o papel sobre a mesa, sem permitir que este deslize, puxando a extremidade livre do papel paralelamente à superfície horizontal, como indicado na figura 1b.
- Meça o deslocamento  $\bar{x}_P$  de um ponto (P) do papel desenrolado e compare com o correspondente deslocamento  $\bar{x}_{CM}$  do CM do rolo de papel.

### Experimento 12.2: Rolamento de um carretel sob a ação de forças em diferentes direções

Se o bloco da figura 2a pode deslizar sobre a superfície horizontal, a aplicação de uma força  $\vec{F}$  ou  $\vec{F}'$  (indicadas na figura 2a) fará com que o bloco desloque-se para a direita.

*Para que lado o carretel rola sob a ação de  $\vec{F}$  ou  $\vec{F}'$  (figura 2b)?*

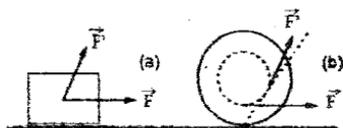


Figura 2.

## Procedimentos Experimentais

- Enrole o fio ao redor do eixo do carretel e coloque o carretel sobre a mesa, com a ponta do fio saindo por baixo do eixo.
- Puxe a ponta do fio nas direções das forças  $\vec{F}$  e  $\vec{F}'$  indicadas na figura 2b, de forma que o carretel role sobre a mesa sem deslizar, e observe a direção do deslocamento do carretel.

## Experimento 12.3: Rolamento de um "cone duplo" em um plano inclinado

Se um corpo pode deslizar sobre um plano inclinado, ele sempre descerá o plano (figura 3a).

*O que acontece com um "cone duplo" que rola sobre um plano inclinado formado por uma estrutura triangular, como esquematizado na figura 3b?*

### Procedimento Experimental

- Coloque o corpo, formado por dois cones unidos por de suas bases, para rolar sobre a armação de alumínio que constitui o plano inclinado, e observe o seu movimento.

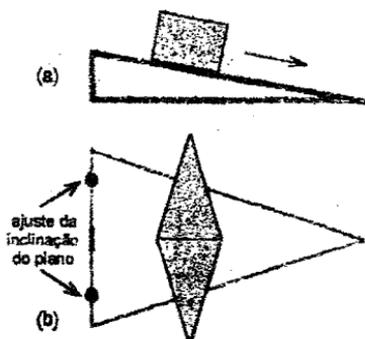


Figura 3.

## Experimento 12.4: Rolamento de corpos homogêneos de simetria radial em um plano inclinado

Quando um corpo qualquer desliza sobre um plano inclinado sem atrito (figura 4a), a sua aceleração vale

$$a = g \operatorname{sen} \theta$$

onde  $\theta$  é o ângulo de inclinação do plano. Este resultado independe da massa ou da forma do corpo.

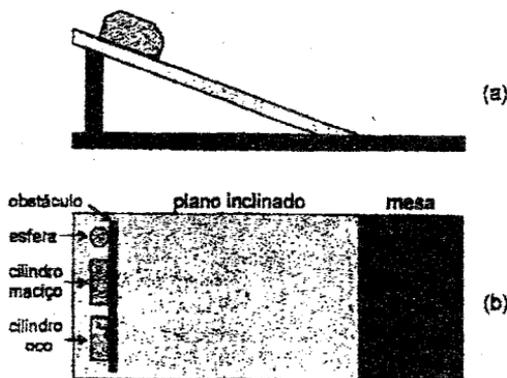


Figura 4.

*Se uma esfera, um cilindro maciço e um cilindro oco são postos a rolar sobre um plano inclinado, qual dos corpos possui a maior aceleração?*

## Procedimentos Experimentais

- Veja a figura 4b. Coloque um obstáculo (toco de madeira) próximo ao topo do plano inclinado e posicione, junto a este, uma esfera, um cilindro maciço e um cilindro oco.
- Retire o obstáculo e observe o deslocamento dos três corpos, liberados ao mesmo tempo, ao rolarem sobre o plano inclinado.

### Experimento 12.5: Rolamento de esferas diferentes sobre um plano inclinado

Você já deve estar convencido(a) de que a aceleração do CM de corpos homogêneos de simetria radial depende de suas formas.

*A aceleração do CM de um corpo homogêneo de simetria radial depende de sua massa ou de seu raio?*

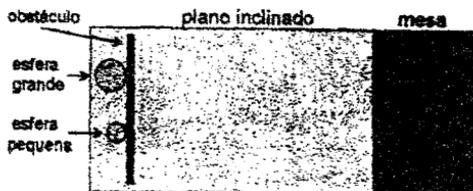


Figura 5.

### Procedimento Experimental

- Solte, ao mesmo tempo, duas esferas diferentes a partir do topo do plano inclinado, e observe as acelerações dos seus CM.

### Experimento 12.6: Rolamento de cilindros de mesma massa em um plano inclinado

Dois corpos de mesmo raio e de mesma massa são postos a rolar sobre um plano inclinado.

*Você esperaria que dois cilindros de mesmo raio e de mesma massa tivessem a mesma aceleração ao rolarem sobre um plano inclinado?*



Figura 6.

### Procedimento Experimental

- Você dispõe de dois cilindros de mesma massa e de mesmo raio. Solte-os, ao mesmo tempo, a partir do topo do plano inclinado, e observe as acelerações dos seus CM.

## Experimento 12.7: Mudança do raio de rotação no rolamento de um carretel

Após deslizar sobre um plano inclinado, um corpo continua a se mover sobre uma superfície horizontal. Na ausência de atrito, a velocidade do corpo sobre a superfície horizontal será igual à velocidade alcançada por ele no final do plano inclinado.

Veja a figura 7. Um carretel é posto para rolar, sobre o seu eixo cilíndrico, em um plano inclinado constituído por um sarrafo de madeira apoiado sobre a mesa.

*O que acontece com a velocidade do CM do carretel a partir do momento em que os seus discos laterais tocam a superfície da mesa?*

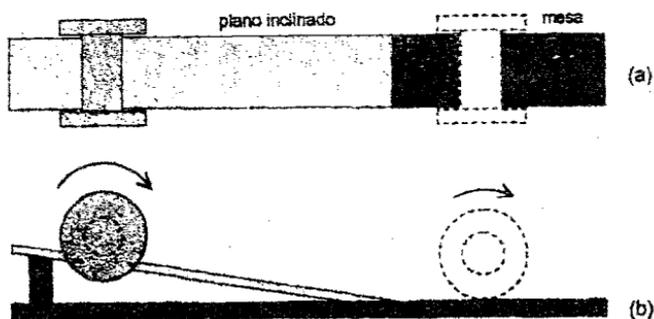


Figura 7: (a) Vista superior e (b) vista lateral do experimento.

### Procedimentos Experimentais

- Monte um plano inclinado elevando uma das extremidades de um sarrafo de madeira em relação à superfície da mesa.
- Encaixe o eixo do carretel sobre o sarrafo e deixe-o rolar (figura 7).
- Observe o movimento do CM do carretel enquanto este rola no plano inclinado, e o que acontece quando os seus discos laterais tocam a superfície da mesa.

## Experimento 12.8: Disco tracionado por uma força aplicada a diferentes distâncias do seu eixo

Um disco está preso junto à lateral da mesa de tal forma que é possível colocá-lo em rotação através da queda de uma massa suspensa presa a um fio enrolado em torno de seu eixo.

O eixo do disco é formado por dois cilindros de raios diferentes ( $r_1$  e  $r_2$ ), como ilustrado na figura 8.

*A aceleração angular do disco depende do raio do eixo no qual o fio, que é tracionado pelo peso da massa suspensa, é enrolado?*

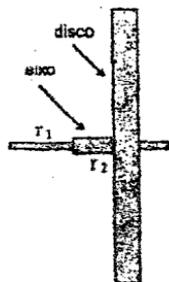


Figura 8.

### Procedimento Experimental

- Observe a aceleração angular do disco, ou a aceleração linear da massa suspensa, quando o sistema é tracionado pela queda da massa suspensa presa ao fio enrolado em torno do eixo onde o raio vale  $r_1$  ou  $r_2$  (figura 8).

## Experimento 12.9: Influência da posição relativa das massas na aceleração angular de um sistema rotacional

Se um corpo de massa  $M$  é tracionado sobre um plano horizontal pelo peso de uma massa suspensa  $m$ , a aceleração deste sistema será sempre a mesma, não importando se, por exemplo, o corpo de massa  $M$  é constituído por blocos empilhados (figura 9a), ou por blocos fixados lado a lado (figura 9b).

O equipamento (figura 9c) consiste basicamente de uma haste giratória presa a um eixo vertical, massas iguais  $M_1$  e  $M_2$  com posições ajustáveis, e uma massa suspensa  $m$  que permite tracionar o sistema através de um fio enrolado ao eixo vertical.

*A aceleração angular, em relação a um eixo fixo, de um corpo que é tracionado pela ação do peso de uma massa suspensa depende das posições relativas das massas que constituem este corpo?*

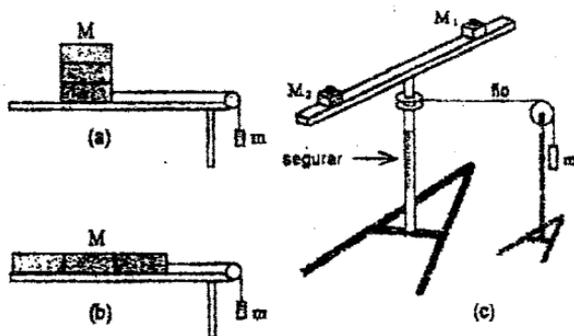


Figura 9.

### Procedimentos Experimentais

**Atenção:** Para freiar o sistema, segure a parte recartilhada do eixo (assinada na figura 9c).

- Fixe as massas  $M_1$  e  $M_2$  junto às extremidades da haste. Gire a haste, enrolando o fio em torno do eixo, de forma a posicionar a massa suspensa próximo à roldana.
- Libere a haste para girar e observe a sua aceleração angular, ou a aceleração linear da massa suspensa  $m$ .
- Repita o experimento após fixar  $M_1$  e  $M_2$  junto ao centro da haste.

## Experimento 12.10: Roda de bicicleta

Você segura o eixo de uma roda de bicicleta, que gira com velocidade angular  $\omega$ , e tenta incliná-lo no plano vertical, como sugerido na figura 10.

*( ) eixo segue a direção desejada?*

### Procedimentos Experimentais

- Segure firmemente o eixo da roda de bicicleta na posição indicada na figura 10.
- Peça que um colega gire a roda, e tente incliná-lo no plano vertical, como mostrado na figura 10.

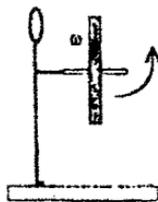


Figura 10.

## Experimento 12.11: Roda de bicicleta e plataforma giratória

Suba na plataforma giratória e repita o experimento anterior.

**Atenção:** Posicione-se sobre a plataforma de maneira que o CM do seu corpo esteja localizado na mesma linha vertical do eixo de rotação da plataforma.

*O que acontece agora?*

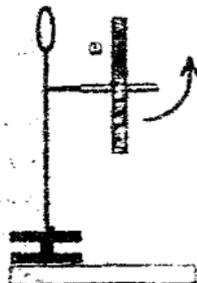


Figura 11.

## Experimento 12.12: Conservação da quantidade de movimento angular

Suba na plataforma e segure uma massa em cada mão. Abra os braços, como mostrado na figura 12a, e peça que um colega coloque-o(a) em rotação com uma pequena velocidade angular.

**Atenção:** Posicione-se sobre a plataforma de maneira que o CM do seu corpo esteja localizado na mesma linha vertical do eixo de rotação da plataforma.

Feches os braços, como indicado na figura 12b.

*O que acontece com a velocidade angular do sistema  
(você + massas + plataforma)?*

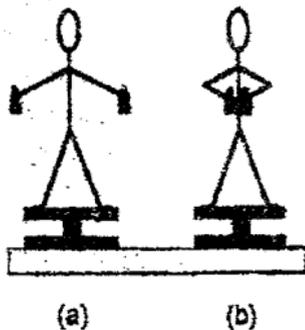


Figura 12.