

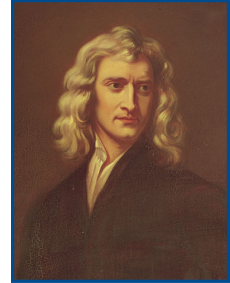
## As leis do movimento

Physics for Scientists and Engineers, R. A. Serway and J. W. Jewett,  
Cengage

1

## Sir Isaac Newton

- 1642 – 1727
- Formulou as leis da Mecânica
- Descobriu a lei da gravitação universal
- Inventou o cálculo

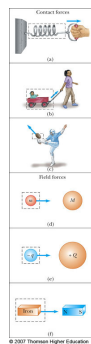


2

## As forças são vetores



- Forças de contacto
  - a, b, c
- Forças de campo (atuam através do espaço vazio)
  - Não há contacto físico
  - d, e, f



3

## 1ª lei de Newton

- Se um objeto não interage com outros objetos, é possível identificar um referencial onde a aceleração do objeto é zero.

- Esta lei é conhecida por *lei da inércia*
- Define um conjunto especial de referenciais chamados *referenciais inerciais*

$$\mathbf{F} = 0 \Rightarrow \mathbf{a} = 0 \Leftrightarrow \mathbf{v} = \text{constante}$$

4

## Massa

- **Massa** é a propriedade de um objeto que quantifica a resistência oferecida pelo objeto à mudança da sua velocidade
- As massas podem ser definidas em termos das acelerações produzidas por uma dada força

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{a_2}{a_1}$$

- A massa é um escalar
- A unidade SI da massa é o kg

5

## Segunda lei de Newton

- Num referencial inercial, a aceleração de um objeto é diretamente proporcional à força total que atua sobre o objeto e inversamente proporcional à sua massa

- A força é a causa da variação do movimento, medida pela aceleração

$$\mathbf{F} = m \mathbf{a}$$

6

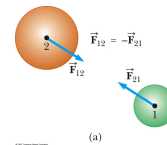
### Mais sobre a segunda lei de Newton

- $\mathbf{F}$  é a força total ou a resultante das forças
  - É a soma vetorial de todas as forças que atuam sobre o objeto
- A segunda lei de Newton pode ser escrita em termos das componentes:
  - $\Sigma F_x = m a_x$
  - $\Sigma F_y = m a_y$
  - $\Sigma F_z = m a_z$
- A unidade SI da força é o **newton (N)**
  - $1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m} / \text{s}^2$

7

### Terceira lei de Newton

- Se dois objetos interagem, a força  $\mathbf{F}_{12}$  exercida pelo objeto 1 no objeto 2 é igual em magnitude e direção e tem o sentido oposto à força  $\mathbf{F}_{21}$  exercida pelo objeto 2 no objeto 1

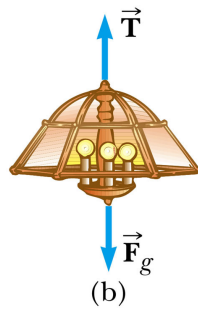


- Nota sobre notação:  $\mathbf{F}_{AB}$  é a força exercida por A em B

8

### Equilíbrio, Exemplo 1

- O candeeiro é suspenso por uma corrente de massa desprezável
- As forças que atuam no candeeiro são
  - A força da gravidade para baixo
  - A tensão na corda para cima



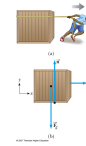
- A condição de equilíbrio é:

$$\mathbf{T} + \mathbf{F}_g = 0$$

9

### A segunda lei de Newton, Exemplo 1

- Forças que atuam no caixote:
  - A tensão  $\mathbf{T}$ , através da corda, de magnitude  $T$
  - A força gravítica,  $\mathbf{F}_g$
  - A força normal  $\mathbf{n}$ , exercida pela superfície



$$T = m a_x$$

$$n - F_g = 0$$

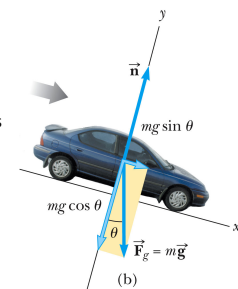
10

### Planos inclinados

- Forças que atuam no objeto:
  - A força normal atua perpendicularmente ao plano
  - A força gravítica atua na vertical
- Escolha um sistema de coordenadas com  $x$  paralelo ao plano e  $y$  perpendicular

$$m g \sin \theta = m a_x$$

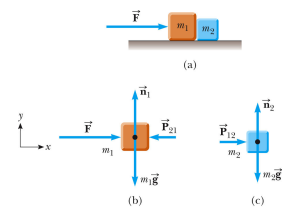
$$n - m g \cos \theta = 0$$



11

### Objetos múltiplos 1

- Trate o sistema como um todo



12

### Objetos múltiplos 2

- Forças que atuam nos objetos:
  - Tensão (a mesma para os dois objetos, uma corda)
  - Gravidade
- Cada objeto tem a mesma aceleração uma vez que estão ligados
- Desenhar os diagramas de forças
- Aplicar as leis de Newton
- Resolver o sistema de equações

13

### Objetos múltiplos 3

- Desenhar o diagrama de forças para cada objeto
  - Uma corda, a tensão é a mesma para os dois objetos
  - Ligados, a aceleração é a mesma para os dois objetos
- Aplicar as leis de Newton
- Resolver o sistema de equações

14

### Forças de atrito

- O atrito é proporcional à força normal
  - $f_s \leq \mu_s n$  e  $f_k = \mu_k n$
  - $\mu$  é o coeficiente de atrito
- Para o atrito estático, a igualdade é válida apenas para o limiar do movimento, quando as superfícies começam a deslizar

15

### Atrito estático

- O atrito estático impede o movimento do objeto
- Se  $n$  aumentar,  $f_s$  aumenta
- Se  $n$  diminuir,  $f_s$  diminui

$$f_s \leq \mu_s n$$

16

### Atrito cinético

- A força de atrito cinético atua quando o objeto está em movimento

$$f_k = \mu_k n$$

17

### Atrito, Exemplo 1

- O bloco desliza no plano e o atrito atua no sentido inverso
- Podemos usar este set-up para medir o atrito
  - $\mu = \tan \theta$
- Para  $\mu_s$ , use o ângulo quando o bloco começa a deslizar
- Para  $\mu_k$ , use o ângulo quando o bloco desliza com velocidade constante

18

### Atrito, Exemplo 2

- O atrito atua apenas quando o objeto está em contato com a superfície

19

### Movimento circular uniforme, Força

- A força,  $F_r$ , é responsável pela aceleração centrípeta
- A é dirigida para o centro
- Aplicar a lei de Newton na direção radial

$$F_r = m \frac{v^2}{r}$$

20

### Pêndulo cônico

- Objeto em equilíbrio na vertical e movimento circular uniforme na horizontal
- $\Sigma F_y = 0 \rightarrow T \cos \theta = mg$
- $\Sigma F_x = T \sin \theta = m a_c$
- $v$  é independente de  $m$

21

### Curva horizontal

- A força de atrito estático é responsável pela aceleração centrípeta
- A velocidade máxima do carro para fazer a curva é

22

### Movimento circular não uniforme

- A aceleração e a força têm componentes tangenciais
- $F_r$  produz a aceleração centrípeta
- $F_t$  produz a aceleração tangencial

$$F_t = m \frac{dv}{dt}$$

23

### Círculo vertical com velocidade não uniforme

- A força gravítica exerce uma força tangencial no objeto
- Calcule as componentes de  $F_g$
- A tensão em cada ponto pode ser calculada

$$T - mg \cos \theta = m \frac{v^2}{r}$$

24