

Na Física um método muito usado para se estudar propriedades que variam com o tempo, consiste em considerar as propriedades que NÃO variam com o tempo.

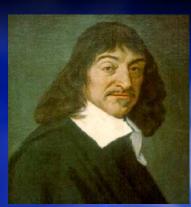
Ao longo da historia a Física se desenvolveu em tornos de dois grandes temas: constância e variação
Estabilidade e instabilidade
Variância e invariância
Quando uma quantidade é invariante ela é dita "conservada" e a lei que descreve as condições sobre as quais esta quantidade é conservada é a lei de conservação.

Por exemplo, quando duas partículas colidem, o momentum e a energia de cada partícula podem variar. Entretanto, esta variação pode ser encontrada se consideramos que o momentum total e a energia do sistema foram conservados.

#### Descartes disse em 1644:

Deus em sua onipotência criou a matéria junto com o movimento e depois disso descansou dos atos do dia-a-dia. Essa idéia de criação leva a idéia que uma quantidade de movimento foi criada no Universo e é conservada. O desafio era como definir essa quantidade de movimento. Descartes escolheu o produto da massa e da velocidade de um objeto em movimento. Ele chamou isso de "momentum".

De acordo com Descartes, se dois objetos (com massa m1 e m2 e velocidades v1 e v2) colidem, a quantidade



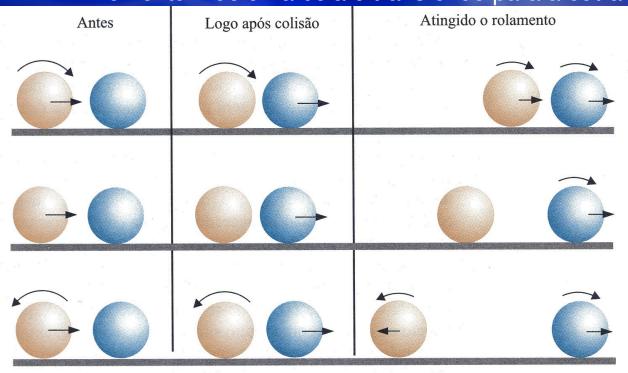
René Descartes (França 1596, Suécia 1650)

### $\mathbf{m}_1 \mathbf{v}_1 + \mathbf{m}_2 \mathbf{v}_2$

é a mesma antes e depois da colisão, mesmo que as velocidades individuais dos objetos tenha sido alterada.

### COLISÕES E O CONCEITO DE MOMENTUM

Se uma bola colide frontalmente com uma bola idêntica em repouso numa superfície horizontal, a primeira bola pára, enquanto que a bola atingida passa a se mover com a velocidade original da primeira. O momentum de uma bola é transferido para a outra.





René Descartes (França 1596, Suécia 1650)

Tais problemas envolvendo colisões de bolas foram um tópico muito popular no século XVII e geraram muita especulação e experimentos quando a Mecânica estava começando a ser compreendida. Descartes escreveu sete regras que governariam a colisão entre objetos de várias massas e velocidades. Todas elas foram provadas incorretas por um grupo de cientistas da Royal Society of London.

A RSL foi fundada em 1663 para encorajar a experimentação em ciências naturais. Uma das primeiras atividades da RSL foi convidar homens como o matemático inglês John Wallis, o físico e astrônomo holandês Christiaan Huygens e o grande arquiteto inglês Sir Christopher Wren a submeterem papers analisando e descrevendo as leis do movimento da colisão de objetos.





John Wallis 1616 na Inglaterra 1703 na Inglaterra



Christiaan Huygens 1629 na Holanda 1695 na Holanda



Sir Christopher Wren 1632 na Inglaterra 1723 na Inglaterra

Em novembro de 1668 John Wallis submeteu um memorando que talvez tenha sido a primeira indicação da Lei da Conservação do Momentum.



John Wallis (1616-1703

Seu raciocínio foi o seguinte:

Se m1 e m2 são as massas das duas bolas que colidem frontalmente, v1 e v2 suas velocidades antes da colisão, e V1 e V2 são suas velocidades após a colisão, então é um fato experimental que

## $m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 V_1 + m_2 V_2 = constante$

Percebamos que essa equação é muito similar a regra de Descartes, mas ela tem uma importante diferença. Wallis reconheceu que o sentido do movimento deve ser considerado quando usamos esta equação. Isto é, se o objeto 1 está se movendo para direita e teremos v1 como um número positivo, enquanto que o objeto que se move para a esquerda com uma velocidade v2 tem um número negativo. Em linguagem moderna, dizemos que a velocidade é uma grandeza vetorial. Descartes falhou por não conhecer este conceito.

O grande trabalho na resolução do problema da colisão de corpos foi feito por Christiaan Huygens, que trabalhou com muitas variantes do problema. Atualmente se considera as regras desenvolvidas por Christiaan Huygens como simples casos especiais da aplicação dos princípios de conservação de momentum e de energia. Na época de Christiaan Huygens estas leis gerais estavam recém começando a ser estabelecidas, partindo dos resultados de vários tipos específicos de colisões. A grande generalização ainda estava por vir.



Christiaan Huygens (1629-1695)

A mais importante contribuição de Christiaan Huygens foi o uso do "princípio da relatividade", um esquema que é muito usado pelos físicos quando calculam as trajetórias de partículas elementares em aceleradores. Christiaan Huygens A base do esquema é a seguinte: quando dois objetos colidem, sempre podemos encontrar um sistema de referência particular onde o centro de massa (CM) dos dois objetos está em repouso.

O trabalho de Christiaan Huygens gerou uma importante ramificação. Ele notou que quando dois perfeitamente elásticos objetos colidem um com o outro, ambas as quantidades

$$m_1 v_1 + m_2 v_2$$
  $m_1 v_1^2 + m_2 v_2^2$ 

se mantém antes e de pois da colisão. O fato dessas duas relações representarem duas diferentes leis de conservação não foram completamente compreendidas por vários anos.

A controvérsia sobre isso persistiu por três décadas. Em 1686 o grande matemático e filósofo alemão Gottfired Wilhelm von Leibniz (1646-1716), insistiu que a lei de conservação de Descartes

## $m_1v_1+m_2v_2=constante$

estava incorreta e afirmou que a lei de conservação que estava correta era a da "vis viva" (força viva), o nome usado para a quantidade





Gottfried Wilhelm von Leibniz 1646 na Alemanha 1716 na Alemanha

Atualmente sabemos que ambos, Descartes (1644) e Leibniz (1686) estavam parcialmente certos e parcialmente errados, enquanto Huygens estava mais próximo da verdade. A quantidade "mv"é agora chamada de momentum e a relação

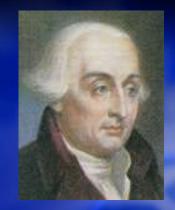
$$m_1v_1+m_2v_2=constante$$

é correta somente se o sentido do movimento se mantiver. A grandeza "vis viva", nós agora expressamos por

$$\frac{1}{2}mv^2$$

e chamamos de energia cinética de um objeto em movimento, e sabemos que esta "vis viva" é conservada numa colisão elástica.

Enquanto muitos desvendavam a conservação da energia cinética partindo da colisão elástica entre bolas de bilhar, outros procuravam estender o conceito de conservação de energia. Em 1777 o grande matemático francês Joseph-Louis Lagrange apresentou a conexão entre a força e a energia potencial gravitacional:



Joseph-Louis Lagrange 1736 na cidade de Turin, Sardinia-Piedmont, agora Itália 1813 em Paris

# $E_{potencial} = F.h = mgh$

ou seja, o trabalho com valor "mgh"é necessário para levar um corpo de massa "m" até uma altura "h", e podemos imaginar que o trabalho armazena energia no campo gravitacional entre a Terra e o objeto.

Com esse desenvolvimento, foi possível ser desenvolvido um ambiente teórico que incluísse a observação. Com isso o conceito de conservação da energia mecânica total foi desenvolvido:

$$E_{\text{mecanica}} = E_{\text{cinetica}} + E_{\text{potencial}} = \text{constante}$$

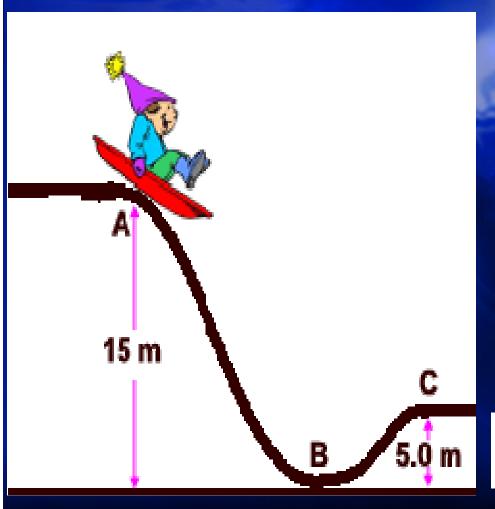
Um campo de força que tenha a propriedade de conservar a energia é chamado de "campo conservativo".

O campo gravitacional e o campo elétrico são campos conservativos.

Que tipo de forças não seriam conservativas?

### Vamos pensar numa montanha-russa.

Para onde vai a energia mecânica que "desaparece"?



Na figura, temos no ponto A:

$$E^{\scriptscriptstyle A}_{\scriptscriptstyle mecanica}=E^{\scriptscriptstyle A}_{\scriptscriptstyle potencial}$$

No ponto B:

$$E^{\it B}_{\it mecanica}E^{\it B}_{\it cinetica}$$

No ponto C:

$$E^{C}_{mecanica} = E^{C}_{potencial}$$

### É fácil deduzir que:

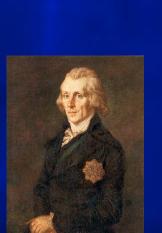
$$\mathbf{c} \quad E^{C}_{potencial} < E^{A}_{potencial}$$

5.0 m 
$$E^{C}_{mecanica} < E^{A}_{mecanica}$$

Atualmente sabemos que a perda de energia mecânica é devida às forças de atrito. O atrito é uma força "não-conservativa", pois não "devolver" a energia que absorveu.

A relação entre força de atrito e calor e o conceito de calor como uma forma de energia só foi feita no final do século XVIII. Em 1780, Lavoisier e Laplace disseram que ..."calor é vis viva resultante do movimento das moléculas de um corpo".

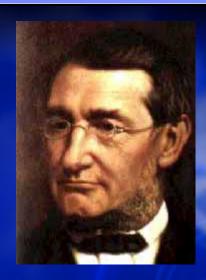
Contudo isso só foi compreendido quando em 1798 o físico Sir Benjamin Thompson, Conde Rumford (1753-1814) demonstrou a relação entre o trabalho das forças de atrito e a respectiva quantidade de calor gerado.



Antoine-Laurent Lavoisier (1743-1794)

Sir Benjamin Thompson, Conde Rumford (1753-1814) O físico alemão Julius Robert von Mayer foi o primeiro a enunciar explicitamente.

A energia pode variar de forma (química, elétrica, magnética, mecânica, térmica) e pode ser convertida de uma forma em outra, mas a soma total é constante.



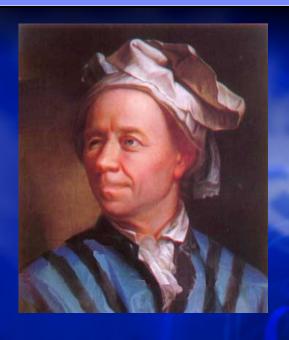
Julius Robert von Mayer (1814-1878)

### CONSERVAÇÃO DO MOMENTO ANGULAR

# Em 1736 publicou as leis de Newton em termos rotacionais

Da expressão matemática da segunda lei de Newton para rotações temos que DL/Dt = 0 caso a soma dos torques externos que atuam sobre o sistema seja nula. Assim, para um sistema isolado, o momento angular total é constante.

L = m r x v



Leonhard Euler 1707 na Suiça 1783 na Rússia 1748: CONSERVAÇÃO DA MASSA Mikhail Lomonosov



1850: Segunda lei da Termodinâmica



