

Textos Explicativos

Conservação da Quantidade de Movimento

Material de apoio para a Lista de Exercícios — Impulso, choques mecânicos, coeficiente de restituição, choques elásticos e inelásticos

1. Quantidade de Movimento (Momento Linear): Definição e Cálculo

Questões relacionadas: 1 e 2

A quantidade de movimento (também chamada de momento linear) é uma grandeza vetorial que caracteriza o estado de movimento de um corpo, combinando sua massa e sua velocidade. Quanto maior a massa ou a velocidade de um corpo, maior é sua quantidade de movimento — e, portanto, maior é a dificuldade de alterar seu estado de movimento (pará-lo, desviá-lo ou acelerá-lo).

$$Q = m \cdot v$$

Nessa fórmula, Q é a quantidade de movimento, m é a massa do corpo (em quilogramas) e v é sua velocidade (em metros por segundo). Como Q depende da velocidade, que é vetorial, a quantidade de movimento também é uma grandeza vetorial, com a mesma direção e o mesmo sentido da velocidade. No Sistema Internacional (SI), sua unidade é o quilograma-metro por segundo ($\text{kg} \cdot \text{m/s}$).

Exemplo prático: um carrinho de 3 kg se move com velocidade de 4 m/s. Sua quantidade de movimento é $Q = m \cdot v = 3 \times 4 = 12 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$.

2. Impulso de uma Força e o Teorema do Impulso

Questões relacionadas: 3 e 4

O impulso de uma força constante é o produto dessa força pelo intervalo de tempo durante o qual ela atua. Assim como a quantidade de movimento, o impulso é uma grandeza vetorial, com a mesma direção e sentido da força que o produz.

$$I = F \cdot \Delta t$$

Exemplo 1 — cálculo direto: uma força constante de 50 N atua sobre um corpo durante 0,2 s. O impulso dessa força é $I = F \cdot \Delta t = 50 \times 0,2 = 10 \text{ N} \cdot \text{s}$.

O teorema do impulso estabelece que o impulso de uma força resultante sobre um corpo é sempre igual à variação de sua quantidade de movimento — isso permite calcular a força média envolvida em interações muito rápidas, como o contato entre uma raquete e uma bola, mesmo sem conhecer os detalhes da força ao longo do tempo:

$$I = \Delta p = m \cdot (v_2 - v_1) \rightarrow F = \Delta p / \Delta t$$

Exemplo 2 — força média em uma rebatida: uma bola de massa 0,5 kg, que se movia a 6 m/s, é rebatida por um taco e passa a se mover em sentido contrário a 8 m/s, em um contato que dura 0,05 s. A variação da quantidade de movimento é $\Delta p = m \cdot (v_2 - v_1) = 0,5 \times (-8 - 6) = -7 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ (módulo 7 kg·m/s). A força média aplicada pelo taco é $F = 7 / 0,05 = 140 \text{ N}$.

3. Conservação da Quantidade de Movimento em Sistemas Isolados Inicialmente em Repouso

Questões relacionadas: 5 e 10

Quando não há forças externas atuando sobre um sistema de corpos — apenas forças internas, trocadas entre os próprios corpos do sistema —, a quantidade de movimento total do sistema se conserva: a soma vetorial das quantidades de movimento de todos os corpos antes da interação é igual à soma depois dela. Em particular, se o sistema está inicialmente em repouso, sua quantidade de movimento total inicial é nula — e, portanto, deve permanecer nula depois da interação, mesmo que os corpos individuais passem a se mover.

$$\Sigma p_{\text{antes}} = \Sigma p_{\text{depois}}$$

Exemplo 1 — patinadores se empurrando: dois patinadores, A (60 kg) e B (40 kg), estão inicialmente em repouso sobre o gelo (sem atrito) e se empurram mutuamente; o patinador B passa a se mover a 3 m/s. Como a quantidade de movimento total do sistema deve permanecer nula, a quantidade de movimento adquirida por A deve ser igual e oposta à de B: $m_A \cdot v_A = m_B \cdot v_B \rightarrow 60 \times v_A = 40 \times 3 = 120 \rightarrow v_A = 2 \text{ m/s}$, em sentido oposto ao de B.

O mesmo princípio explica o que acontece em uma explosão — um sistema inicialmente em repouso que se fragmenta em vários pedaços. Como não atuam forças externas sobre o sistema durante a explosão, sua quantidade de movimento total continua se conservando. Sendo inicialmente nula, a soma vetorial das quantidades de movimento de todos os fragmentos deve permanecer nula também depois da explosão — mesmo que a energia cinética total aumente bastante, pois essa energia vem de uma fonte interna (como energia química armazenada), e não de forças externas que alterariam a quantidade de movimento do sistema.

4. Choque Perfeitamente Inelástico

Questão relacionada: 6

Um choque é classificado como perfeitamente inelástico quando os corpos envolvidos permanecem unidos (engatados) após a colisão, passando a se mover com uma única velocidade comum. Nesse tipo de choque, a quantidade de movimento do sistema continua se conservando, mas a energia cinética não se conserva — parte dela é convertida em outras formas de energia, como calor, som e deformação permanente dos corpos.

$$m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2 = (m_1 + m_2) \cdot v$$

Exemplo prático: um vagão de 2000 kg, movendo-se a 5 m/s, colide e engata com outro vagão de 3000 kg inicialmente em repouso. A velocidade comum após o choque é $v = (2000 \times 5 + 3000 \times 0) / (2000 + 3000) = 10.000 / 5000 = 2 \text{ m/s}$.

5. Coeficiente de Restituição

Questões relacionadas: 7 e 8

O coeficiente de restituição (e) é uma grandeza que caracteriza o quanto um choque se aproxima do comportamento perfeitamente elástico ou perfeitamente inelástico, comparando as velocidades relativas dos corpos antes e depois da colisão:

$$e = (\text{velocidade relativa de afastamento}) / (\text{velocidade relativa de aproximação})$$

Em um choque perfeitamente elástico, os corpos se afastam com a mesma velocidade relativa com que se aproximaram, resultando em $e = 1$. Já em um choque perfeitamente inelástico, os corpos permanecem juntos após o choque (velocidade relativa de afastamento nula), resultando em $e = 0$. Na maioria dos choques reais, o coeficiente de restituição fica entre esses dois valores extremos.

Um caso particular útil é o de uma bola abandonada de uma altura h , que colide com o solo e retorna a uma altura h' : nesse caso, o coeficiente de restituição pode ser calculado diretamente a partir das alturas de queda e de retorno, sem a necessidade de medir velocidades:

$$e = \sqrt{h' / h}$$

Exemplo prático: uma bola é abandonada de uma altura de 1,8 m e, após colidir com o solo, retorna a uma altura de 0,8 m. O coeficiente de restituição entre a bola e o solo é $e = \sqrt{(0,8/1,8)} = \sqrt{0,444} \approx 0,67$ — um valor entre 0 e 1, indicando um choque parcialmente elástico.

6. Choque Perfeitamente Elástico entre Corpos de Massas Iguais

Questão relacionada: 9

Em um choque perfeitamente elástico, tanto a quantidade de movimento quanto a energia cinética do sistema se conservam — nenhuma energia é perdida na forma de calor, som ou deformação. Um caso particularmente elegante ocorre quando dois corpos de massas iguais colidem elasticamente e frontalmente: por simetria, aplicando-se simultaneamente a conservação da quantidade de movimento e da energia cinética, conclui-se que as velocidades dos dois corpos simplesmente se trocam após o choque.

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 v_1' + m_2 v_2' ; \quad \frac{1}{2} m_1 v_1^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2^2 = \frac{1}{2} m_1 v_1'^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2'^2$$

Exemplo prático: duas esferas idênticas, de mesma massa m , movem-se uma de encontro à outra com velocidades de mesmo módulo v , em sentidos opostos, e colidem elasticamente. Resolvendo o sistema formado pelas duas equações de conservação (com massas iguais), conclui-se que, após o choque, cada esfera passa a se mover com a velocidade que a outra tinha antes: a esfera que se movia com velocidade v passa a se mover com velocidade $-v$, e vice-versa — como se as esferas tivessem trocado seus movimentos, mantendo o mesmo módulo v mas invertendo o sentido de cada uma.