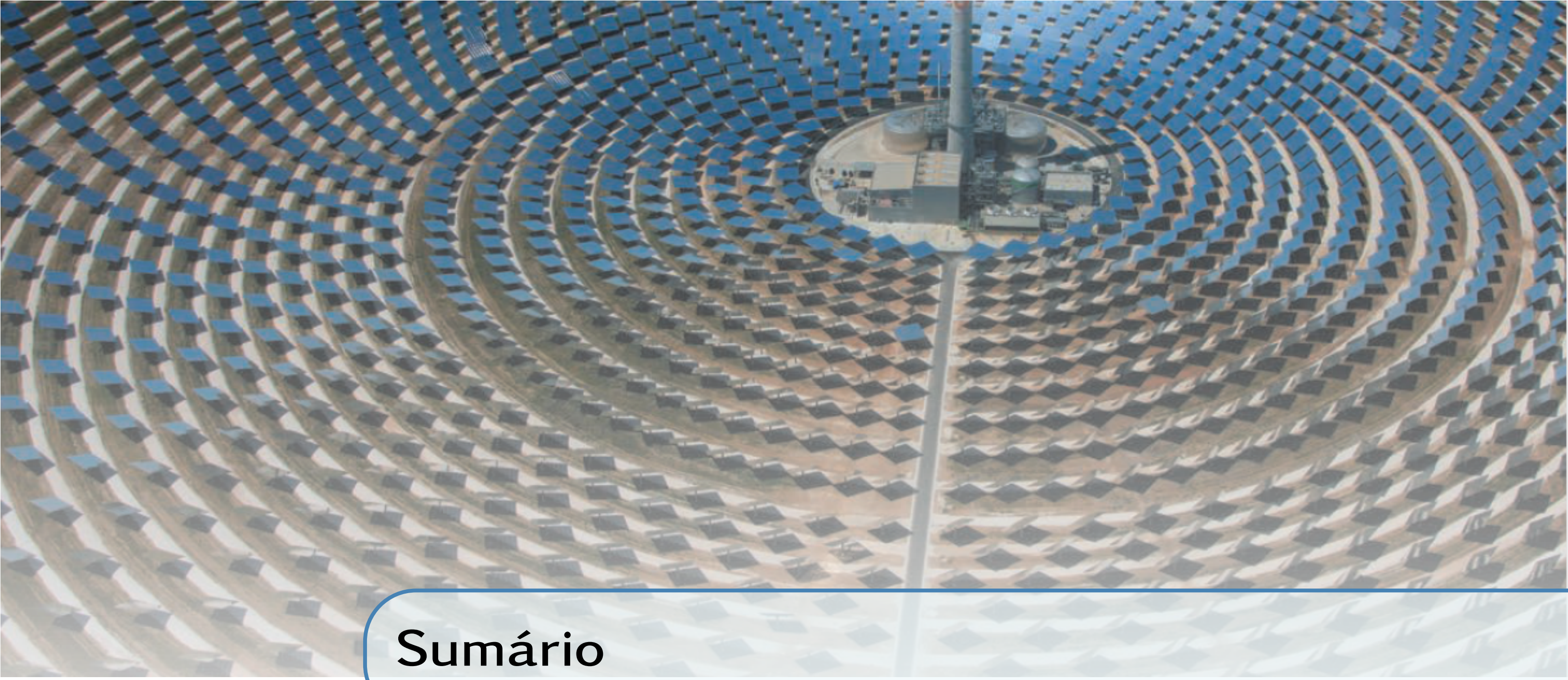

Sumário

4. Energia

Agora que conhecemos a conservação de momento, podemos determinar a velocidade final de dois objetos colidindo se conhecemos somente as velocidades iniciais e sabendo que o momento se conserva? Como a nossa resposta depende do tipo de colisão, elástica ou inelástica? A resposta é não se nossa única ferramenta for a lei de conservação do momento. Apenas saber que o momento linear é constante não é suficiente. Precisamos de informações adicionais para predizer as posições e velocidades futuras. No processo de buscar tais informações adicionais, desenvolvemos outra lei de conservação - a conservação de energia.

Referências para leitura: Mazur (cap. 5), Halliday (seções 7.1, 8.2, 8.5, 9.6-9.7) e Bauer (seções 5.1-5.2, 6.5, 7.4-7.7).
Vídeo "Elastic Collision and Stored Energy", PSSC (1961)
(https://archive.org/details/ElasticCollisionandStoredEnergy).

CONCEITOS

4.1 Classificação de Colisões

Vamos considerar dois exemplos simples já apresentados no Mazur (apenas um nas nossas notas de aula) no capítulo anterior. Duas colisões partindo da mesma condição inicial, dois carros com a mesma inércia, carro 1 parado e carro 2 com velocidade v_2. No primeiro caso (figura 4.1) temos uma colisão elástica. Note que nesse caso não apresentamos um gráfico da variação do momento de ambos os carros. Esse gráfico é idêntico ao das velocidades uma vez que as inércias dos dois carros são idênticas e a colisão é elástica. No segundo caso (figura 4.2) os dois carros ficam grudados e há uma variação de momento pensando nos dois carros separadamente. Considerando o sistema como sendo os dois carros, em ambos os casos temos um sistema isolado e o momento se conserva. Isso é fácil de se verificar no primeiro caso e também no segundo caso, onde o momento inicial era $p_i = p_{1,i} + p_{2,i} = 0,04 kg.m/s$ e $p_f = p_{1,f} + p_{2,f} = (0,03 + 0,01) kg.m/s = 0,04 kg.m/s$.

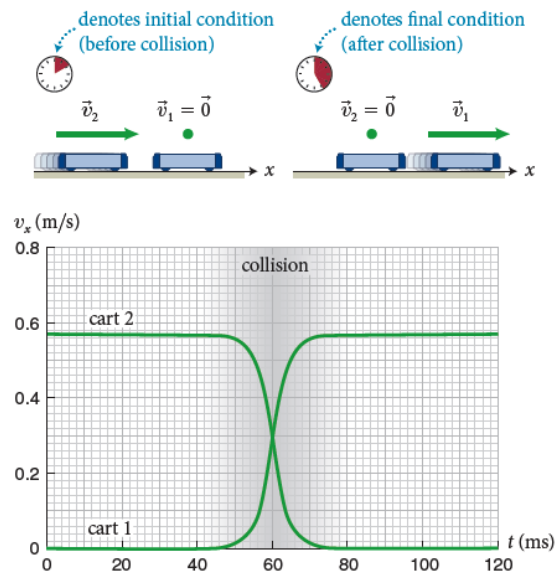

Figura 4.1: Colisão entre dois carros idênticos.

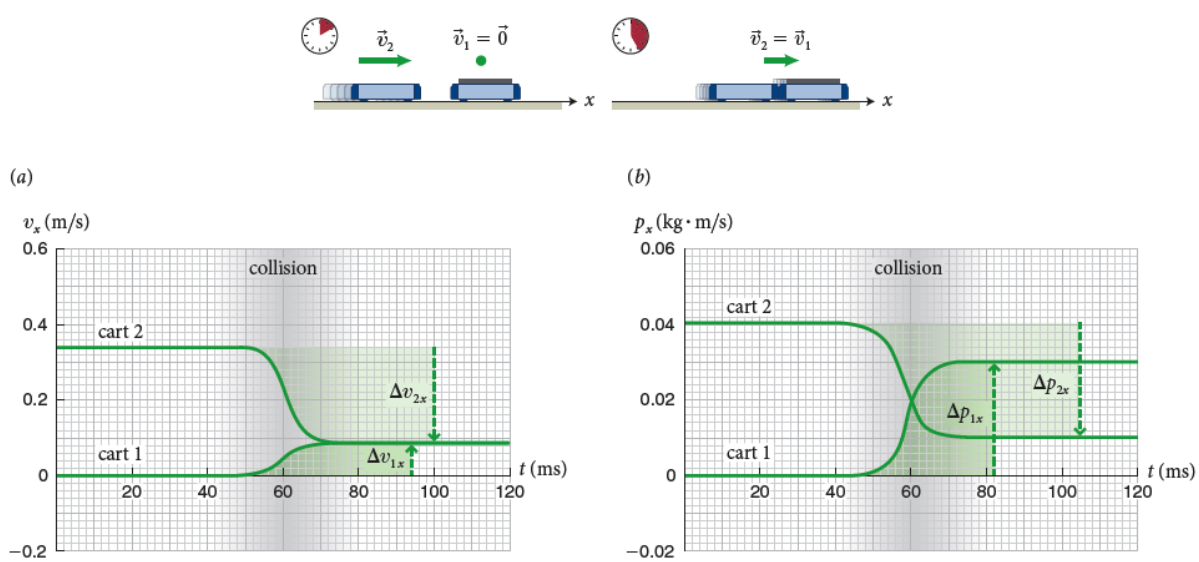

Figura 4.2: Colisão entre dois carros idênticos onde após a colisão eles permanecem grudados.

No caso de colisões exemplificadas na figura 4.1, podemos ressaltar que a diferença da velocidade entre dois carros idênticos, $\vec{v}_2 - \vec{v}_1$ tem a mesma amplitude antes e depois da colisão. A diferença da velocidade do carro 2 em relação ao carro 1 é chamada de **velocidade relativa** do carro 2 em relação ao carro 1, $\vec{v}_{12} \equiv \vec{v}_2 - \vec{v}_1$. A Figura 4.3 mostra uma colisão envolvendo dois carros com inércias diferentes onde o módulo desta velocidade relativa novamente não se modifica com a colisão. Podemos caracterizar um tipo de colisão onde o módulo da velocidade relativa entre os carros não muda depois da colisão, comparado com o módulo da velocidade relativa entre os carros antes da colisão.A estas colisões chamamos de *colisões elásticas*.

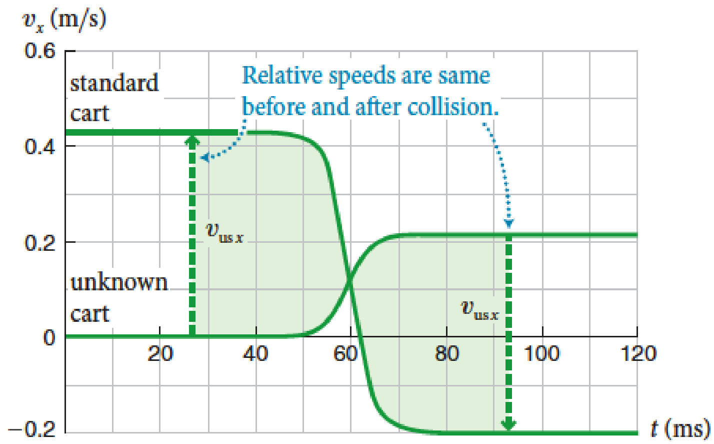

Figura 4.3: Velocidade em função do tempo para uma colisão entre dois carros de inércias diferentes. Observe que a velocidade relativa dos carros antes e depois da colisão não se altera, como no exemplo da figura 4.1.

Uma colisão onde o módulo desta velocidade relativa é menor após a colisão do que antes da colisão é chamada de *colisão inelástica*. O exemplo particular de colisão inelástica ocorre quando os objetos se grudam após a colisão, seguindo juntos com a mesma velocidade, e portanto com velocidade relativa nula, representado na figura 4.2. A esta colisão denominamos de *colisão totalmente inelástica*.

Como você pode imaginar, se uma colisão vai ser elástica, inelástica ou totalmente inelástica vai depender das propriedades dos objetos envolvidos. Contudo, se soubermos o que acontece com a velocidade relativa numa colisão, podemos usar esta informação junto com a conservação do momento para determinar as velocidades finais.

4.2 Energia Cinética

A velocidade relativa não é uma variável extensiva, portanto não podemos desenvolver uma abordagem similar à que fizemos para o momento no capítulo anterior. Precisamos buscar uma variável extensiva que nos permita descrever as colisões elásticas, de forma que tal variável seja a mesma antes que depois da colisão. Esta variável, como veremos a seguir, é a Energia Cinética, $K = mv^2/2$.

Questão 4.1 Justifique porque a energia cinética é uma quantidade extensiva.

Na figura 4.4 temos novamente os dois exemplos de colisão onde as condições iniciais são idênticas . A primeira colisão é elástica, e a segunda totalmente inelástica. Para a colisão elástica, onde a velocidade relativa não muda, a soma das energias cinéticas dos dois carros antes e depois da colisão é a mesma. Podemos verificar isso simplesmente calculando o valor de K para cada carro, antes e depois da colisão. O resultado está na Tabela **??**. Para a colisão totalmente inelástica, tanto a velocidade relativa como a soma das energias cinéticas dos dois carros mudam, como podemos verificar na Tabela. De forma geral, observamos que

numa colisão elástica, a soma das energias cinéticas dos objetos antes e depois da colisão é sempre a mesma.

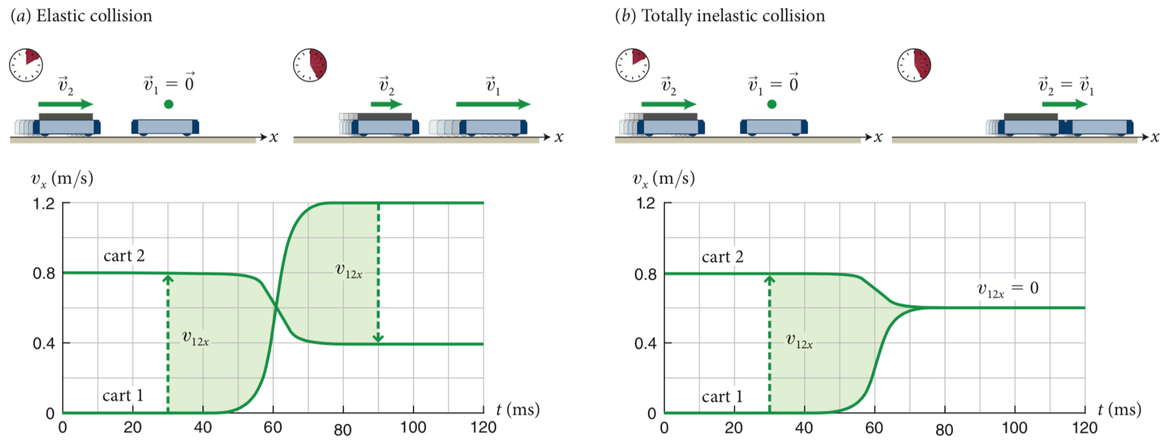

Figura 4.4: Velocidade em função do tempo duas colisões, .

	Inertia m (kg)	ELASTIC Velocity v_x (m/s) before	after	Kinetic energy $\frac{1}{2}mv^2$ (kg·m²/s²) before	after	TOTALLY INELASTIC Velocity v_x (m/s) before	after	Kinetic energy $\frac{1}{2}mv^2$ (kg·m²/s²) before	after
Cart 1	0.12	0	+1.2	0	0.086	0	+0.60	0	0.022
Cart 2	0.36	+0.80	+0.40	0.12	0.029	+0.80	+0.60	0.12	0.065
Relative speed		0.80	0.80			0.80	0		
Kinetic energy of system				0.12	0.12			0.12	0.087

Tabela 4.1: Energia cinética para colisões elástica e totalmente inelástica.

4.3 Energia Interna

Ver "Elastic Collision and Stored Energy", PSSC (1961) (https://archive.org/details/ElasticCollisionandStoredEnergy).

Em colisões inelásticas a velocidade relativa dos objetos muda, e portanto a energia cinética total também muda. Podemos fazer a pergunta: a energia desaparece, ou vai para algum lugar?

O que ocorre é que é possível associar uma forma de energia ao **estado** do sistema. Aqui, o significado de *estado* é a condição de um ou mais objetos do sistema especificado por um conjunto de parâmetros físicos: forma, temperatura, ou qualquer outra variável física que define o objeto. Após uma colisão inelástica, o estado do sistema muda de alguma forma, ao contrário de uma colisão elástica, onde o estado do sistema permanece inalterado.

A transformação de um sistema de um estado inicial para um estado final é chamada de **processo**. Processos causam mudança no sistema, por isso na Física queremos entende-los. As colisões inelásticas envolvem mudanças que não podemos desfazer: dois carros ficam da-

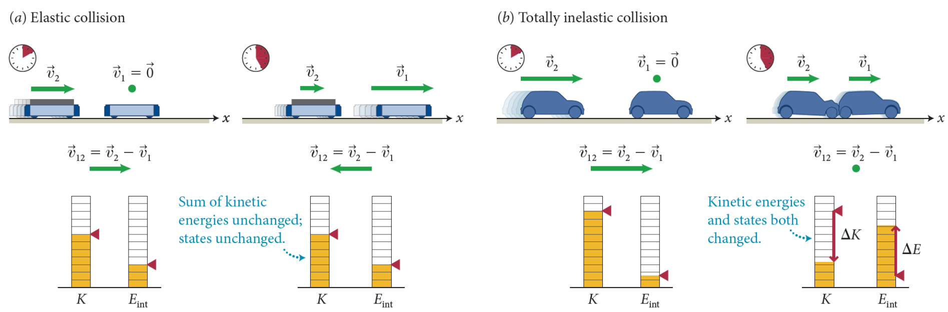

Figura 4.5: (a) Colisão elástica. (b) Colisão totalmente inelástica.

nificados após uma colisão inelástica, e não é possível desfazer" esta mudança simplesmente separando os carros. Os processos causados por estas colisões inelásticas são **processos irreversíveis**, o que significa que as mudanças nos objetos envolvidos no processo não podem ser desfeitas de forma espontânea.

De forma oposta, colisões elásticas são **processos reversíveis**, o que significa que não há mudanças permanentes no estado do sistema. Os objetos parecem os mesmos antes e depois da colisão. No entanto, há uma etapa da colisão na qual a energia cinética não se conserva. Ela é armazenada sob outra forma no sistema. A diferença aqui é que essa energia é *devolvida* na forma de energia cinética na medida que os corpos se afastam. (ver figure 4.5.

Suponha que pudéssemos associar uma quantidade com a mesma unidade da energia cinética (kg·m^2/s^2) com o estado de um sistema - vamos chamar esta quantidade de **energia interna**, E_{int}. Desta forma poderíamos arrumar as coisas de forma que numa colisão inelástica o aumento da energia interna do sistema é igual à diminuição da energia cinética dos objetos do sistema. Isto significa que numa colisão inelástica uma forma de energia é convertida em outra forma (cinética para interna) mas a soma das energias cinética e interna - coletivamente chamadas de **energia** do sistema - não muda. A energia pode ser convertida de uma forma para outra, mas não pode ser criada ou destruída. É portanto uma variável extensiva conservada.

Questão 4.2 Um pedaço de massa é jogado contra uma parede e gruda na parede. A energia interna do sistema massa-parede aumenta, diminui ou permanece a mesma?

Há várias formas possíveis de energia interna: energia química, energia térmica, energia elástica etc. Mais adiante na disciplina vamos especificar o estado de um sistema e como calcular a energia interna correspondente. Mas podemos estender a ideia da energia interna para outras interações. Considere, por exemplo, um carro inicialmente em repouso num trilho de ar que é colocado em movimento por uma mola, como na Figura 4.6(a). Conforme o carro é acelerado pela mola, a energia cinética do carro aumenta mas o seu estado não muda, de forma que sua energia aumenta (Figura 4.6(b)). De onde a energia veio? A mola coloca o carro em movimento, logo é razoável assumir que a mola transfere energia para o carro. De fato, a mola se expande - seu estado muda - e portanto sua energia interna muda.

Se nós incluirmos a mola no sistema (Figura 4.6(c)) e atribuir o aumento da energia cinética do carro à diminuição da energia interna da mola, podemos novamente arranjar as coisas de forma que a energia do sistema carro-mola não muda ($\Delta E = \Delta K_{carro} + \Delta E_{mola} = 0$).

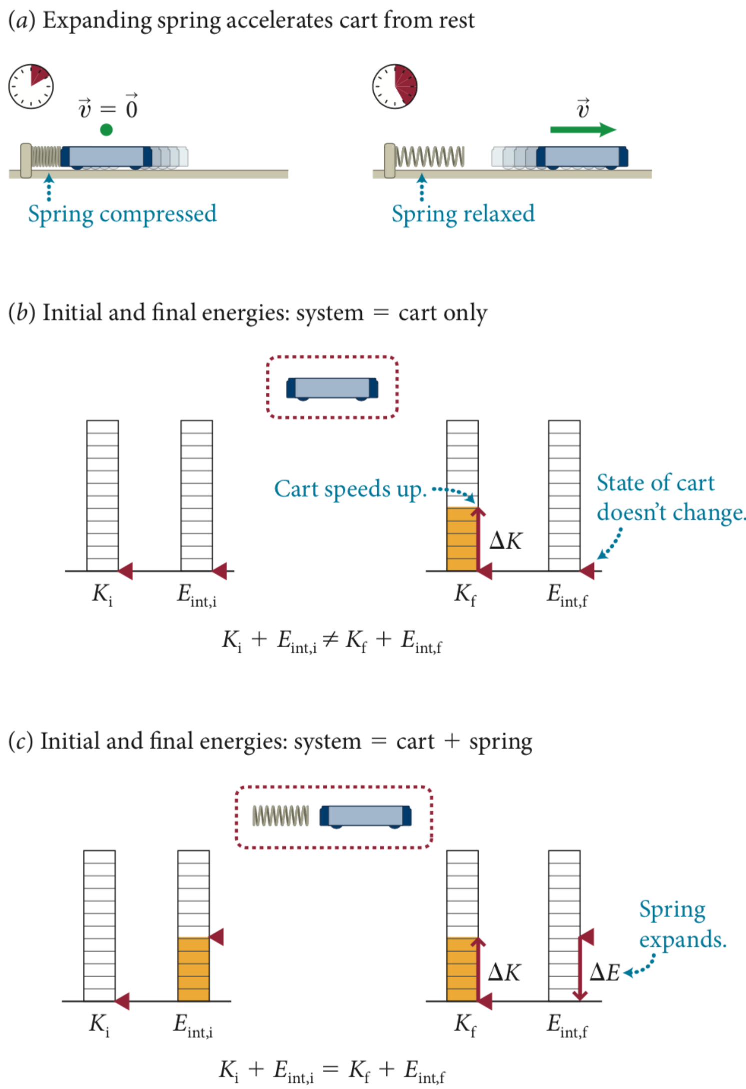

Figura 4.6: Energias inicial e final para duas escolhas de sistemas diferentes.

Questão 4.3 (a) O momento do sistema carro-mola é constante? (b) O sistema está isolado?

Questão 4.4 Considere agora o exemplo do vídeo do PSSC. (a) Considere a colisão entre os dois magnetos. Como ocorre a transferência de enegia cinética para energia armazenada? O sistema está isolado? (b) Considere agora o caso em que no estado inicial os dois magnetos são mantidos próximos por meio do elástico o qual é rompido. Descreva as transferências de energia. O sistema está isolado?

Definição 4.1 (Sistemas fechados) O sistema contendo a mola e o carro na Figura 4.6 não está isolado. Contudo, nenhuma energia é transferida para o sistema, de forma que a energia do sistema é constante.[a] Qualquer sistema no qual nenhuma energia é transferida é chamado de um **sistema fechado**. Um ponto importante é que um sistema fechado não precisa ser isolado (e, de forma análoga, um sistema isolado não necessariamente é fechado).

[a]Como eu sei que nenhuma energia é transferida para o sistema carro-mola? A expansão da mola e a aceleração do carro não causam nenhuma mudança no estado ou movimento da vizinhança (o trilho, a Terra, etc.). Consequentemente, a energia da vizinhança não muda, o que significa que nenhuma energia foi transferida da vizinhança para o sistema.

Quando analisamos variações na energia, é conveniente escolher um sistema no qual nenhuma energia é transferida para ou do sistema (um sistema fechado). Podemos fazer isso fazendo um esboço das condições inicial e final dos objetos em consideração, identificando as mudanças no estado ou no movimento que ocorrem durante o intervalo de tempo de interesse, e escolhendo um sistema que inclui todos os objetos sob mudança de estado ou movimento. Ao verificar que nada na vizinhança do sistema passa por uma mudança no movimento ou no seu estado podemos ter certeza que o sistema que escolhemos é um sistema fechado.

ANÁLISE QUANTITATIVA

4.4 Colisões Elásticas

Em uma colisão elástica, temos que o módulo das velocidades relativas permanece constante (a menos de um sinal, por causa da inversão de sua direção):

$$v_{2i} - v_{1i} = -(v_{2f} - v_{1f})$$

Considerando também a equação que descreve conservação de momento:

$$m_1 v_{1i} + m_2 v_{2i} = m_1 v_{1f} + m_2 v_{2f}$$

podemos, após um pouco de manipulação algébrica, chegar no resultado que a energia cinética permanece constante. Para isso, reescrevermos as duas equações na forma

$$v_{1i} + v_{1f} = v_{2i} + v_{2f}$$

$$m_1(v_{1i} - v_{1f}) = m_2(v_{2f} - v_{2i})$$

Multiplicando as equações e re-arranjando os termos temos

$$\frac{1}{2}m_1 v_{1i}^2 + \frac{1}{2}m_2 v_{2i}^2 = \frac{1}{2}m_1 v_{1f}^2 + \frac{1}{2}m_2 v_{2f}^2$$

ou seja,

$$\Delta K = 0$$

onde $K = K_1 + K_2 = \frac{1}{2}m_1 v_1^2 + \frac{1}{2}m_2 v_2^2$ é a energia cinética total do sistema.

Supondo que conhecemos as velocidades iniciais de duas partículas que colidem elasticamente, com as equações de conservação de momento e conservação de energia, podemos determinar suas velocidades finais. Após um pouco de manipulação algébrica, encontramos:

$$v_{1f} = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} v_{1i} + \frac{2m_2}{m_1 + m_2} v_{2i} \quad ; \quad v_{2f} = \frac{2m_1}{m_1 + m_2} v_{1i} - \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} v_{2i}$$

Temos agora duas condições para resolvermos o problema de colisões elásticas em uma dimensão: a conservação de momento linear e a conservação de energia. Como veremos mais tarde, essas condições não são suficientes para determinar o resultado de colisões em geral.

4.5 Colisões Inelásticas

Em uma colisão totalmente inelástica, a velocidade relativa final entre os dois objetos é zero. Portanto se pode obter a velocidade final dos objetos:

$$v_f = \frac{m_1 v_{1i} + m_2 v_{2i}}{m_1 + m_2}$$

A maioria das colisões ocorre em uma situação que é um meio termo entre uma colisão elástica e uma colisão totalmente inelástica. Podemos parametrizar esta situação definindo um *coeficiente de restituição*, ϵ, como a razão das velocidades relativas finais e iniciais:

$$\epsilon \equiv -\frac{v_{12,f}}{v_{12,i}} = -\frac{v_{2,f} - v_{1,f}}{v_{2,i} - v_{1,i}}$$

Para uma colisão elástica, $\epsilon = 1$ enquanto que para uma colisão totalmente inelástica, $\epsilon = 0$. Para uma colisão inelástica em geral, temos $\epsilon < 1$.

A tabela **??** mostra o coeficiente de restituição para várias colisões que consideramos até agora. Observe que para a ”separação explosiva”, $v_{12,i} = 0$ e, na verdade, $e = \infty$.

Process	Relative speed	Coefficient of restitution
totally inelastic collision	$v_{12f} = 0$	$e = 0$
inelastic collision	$0 < v_{12f} < v_{12i}$	$0 < e < 1$
elastic collision	$v_{12f} = v_{12i}$	$e = 1$
explosive separation*	$v_{12f} > v_{12i}$	$e > 1$

Tabela 4.2: Coeficiente de restituição para vários processos.

Questão 4.5 Qual o valor de ϵ para o caso do exemplo mostrado no vídeo do PSSC quando os dois magnetos são mantidos próximos por um elástico e o mesmo é rompido?

4.6 Conservação de Energia

Um sistema fechado é definido como aquele onde nenhuma energia entra ou sai do sistema. Portanto em um sistema fechado, qualquer mudança de energia cinética deve ser acompanhada por uma mudança equivalente da energia interna, de modo que a soma das energias não mude:

$$K_i + E_{int,i} = K_f + E_{int,f} (\text{sistema fechado}). \tag{4.1}$$

A equação 4.1 é válida para qualquer sistema fechado (não só para colisões entre carros). Se escrevemos a soma das energias cinética e interna de um objeto ou sistema como a energia (total) do sistema,

$$E \equiv K + E_{int},$$

podemos reescrever a equação 4.1 como

$$E_i = E_f$$

ou

$$\Delta E = 0.$$

Mesmo que ainda não sabemos calcular a energia interna, E_{int}, a equação acima nos permite chegar a conclusões importantes. Primeiro, se a energia cinética de um sistema fechado muda, então o estado do sistema também deve mudar de

$$\Delta E_{int} = -\Delta K.$$

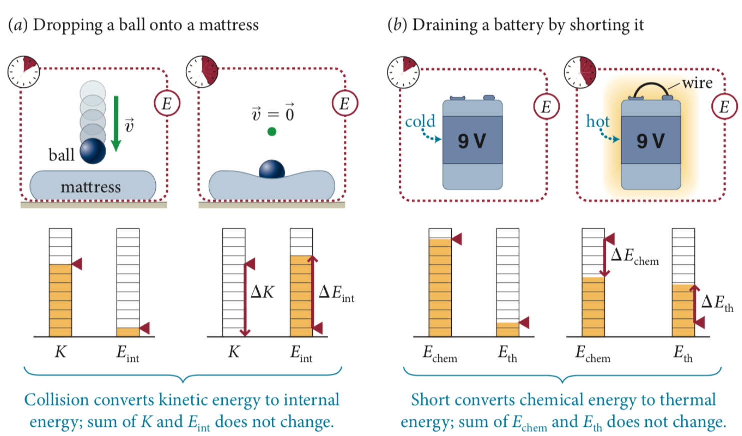

Figura 4.7: Dois exemplos de conservação de energia num sistema fechado. (a) A energia cinética da bola é convertida em energia interna no colchão deformado. (b) Energia química armazenada na bateria é convertida em energia térmica.

Como exemplo, considere a bola que cai sobre o colchão e eventualmente fica em repouso (Figura 4.7(a)). Até a bola parar, o movimento da mola muda, assim como a forma do colchão. A bola e o colchão constituem um sistema fechado, e a diminuição da energia cinética da bola deve estar acompanhada do aumento da energia interna no sistema.

A segunda conclusão é que se a energia cinética de um sistema não muda, então a energia interna do sistema também não muda. Mas como E_{int} é a soma das energias internas de todas as partes que compõem o sistema, $\Delta E_{int} = 0$ *não* significa que nenhuma mudança ocorreu. Tome, por exemplo, a Figura 4.7(b). Quando a bateria é utilizada, se torna muito quente. Como não há movimento antes ou depois do processo de utilizar a bateria, não há mudança na energia cinética no sistema. No entanto, a energia química na bateria é convertida em energia térmica, de forma que

$$\Delta E_{quim} + \Delta E_{term} = 0.$$

4.7 Separações Explosivas

É possível também haver processos onde a energia cinética do sistema aumenta, recebendo energia a partir de uma diminuição da energia interna. Denominamos estes processos de *separações explosivas* (ou explosões). A Figura 4.8 mostra uma separação explosiva que pode ser feita num trilho de ar. Dois carros, com inércias m e $3m$, são seguros contra uma mola comprimida. Quando os carros são liberados, eles se movem em direções opostas enquanto a mola expande. A expansão da mola muda o estado da mola e, consequentemente, sua energia interna; a diminuição da energia interna da mola causa um aumento na energia cinética dos carros. Note como o gráfico da Figura 4.8(c) é o inverso das figuras de colisão totalmente inelástica que discutimos anteriormente.

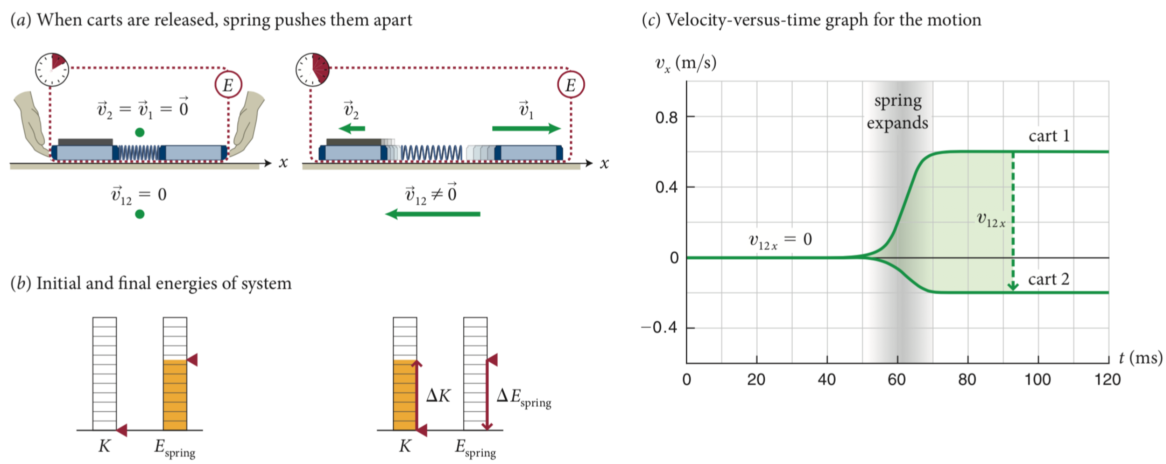

Figura 4.8: Exemplo de separação explosiva.

Para determinar as velocidades finais dos carros precisamos saber quanta energia E_{int} a mola libera (vamos discutir isto mais adiante no curso). Uma vez que obtermos ΔE_{int}, temos duas equações que nos permite obter as duas velocidades finais, uma como consequência da conservação de momento

$$0 = m_1 v_{1,f} + m_2 v_{2,f}$$

e outra como consequência da conservação de energia

$$\Delta K + \Delta E_{int} = \frac{1}{2} m_1 v_{1,f}^2 + \frac{1}{2} m_2 v_{2,f}^2 + \Delta E_{int} = 0.$$

4.8 Conservação de Energia e Simetrias

A conservação de energia é uma consequência da invariância do sistema físico para deslocamentos temporais. Em outras palavras, o resultado de um experimento independe de quando ele foi realizado. A consequência é a conservação de energia em geral. Para um sistema, a questão que deve ser verificada é se o sistema tal como idealizado não possui nenhuma interferência que possa alterar o resultado de um fenômeno físico quando observamos em tempos diferentes.

4.9 Outras questões de revisão

Questão 4.6 Um carro em movimento colide com um carro idêntico inicialmente em repouso num trilho de ar sem atrito, e ambos se "grudam". Qual fração da energia cinética inicial do sistema permanece nesta colisão totalmente inelástica?

Questão 4.7 Considere um objeto isolado em repouso no espaço. O objeto contém energia interna de alguma forma. Em princípio, é possível converter a energia interna em energia cinética, de forma que o objeto comece a se mover?

Questão 4.8 Um galão de gasolina contém aproximadamente $1,2 \times 10^8$ J de energia. Se toda essa energia fosse convertida em energia cinética num carro de 1.200 kg, quão rápido o carro poderia ir?

4.10 Problemas

Atividade 4.1 (a) Você está dirigindo um carro a 25 m/s quando ultrapassa um caminhão viajando na mesma direção a 22 m/s. Se a direção na qual os dois carros estão viajando é tida como positiva do sistema de coordenadas, qual é a velocidade do caminhão em relação a você? (b) Agora uma motocicleta ultrapassa você a 29 m/s. Qual é a velocidade da motocicleta em relação a você?

Atividade 4.2 Dois blocos de massa m_1 e m_2 e velocidades iniciais v_1 e v_2 sofrem uma colisão. Em qual situação o impulso exercido entre os carrinhos é maior, em uma colisão elástica ou em uma colisão totalmente inelástica? Justifique.

Atividade 4.3 Um átomo de urânio-238 pode se desintegrar num átomo de tório-234 e uma partícula chamada de partícula alfa, α-4 (os números indicam as inércias dos átomos e da partícula α em unidades de massa atômica, onde 1 u.m.a. $= 1,66 \times 10^{-27}$ kg). Quando um átomo de urânio inicialmente em repouso se desintegra, um átomo de tório recua com velocidade $-2,5 \times 10^5$ m/s. Quanto da energia interna do átomo de urânio é liberada durante o processo de desintegração?

Exercício 4.1 Um rio flui com velocidade constante v. Um estudante nada rio acima uma distância d e depois volta ao ponto de partida. O estudante consegue nadar a uma velocidade c em água parada. (a) Em termos de d, v e c, que intervalo de tempo é necessário para o percurso completo? (b) Que intervalo de tempo seria necessário se a água fosse parada? (c) Qual intervalo de tempo é maior? Explique se é sempre maior.

Exercício 4.2 Dois blocos de massa m_1 e m_2 e velocidades iniciais v_1 e v_2 colidem elasticamente. Suponha que possamos ajustar as massas de m_1 e m_2 livremente. Encontre em que situação o bloco 2 dobra sua velocidade devido à colisão.

Exercício 4.3 Dois blocos de massa $m_1 = 0.25$ kg e $m_2 = 0.40$ kg se deslocam em uma linha reta em um trilho sem atrito a velocidades $v_{1i} = 0.20$ m/s e $v_{2i} = -0.050$ m/s. Os blocos sofrem uma colisão totalmente inelástica.
a) Escreva as equações de conservação de momento linear. A energia cinética se conserva?
b) Calcule as velocidades finais dos dois blocos.
c) Faça um gráfico das velocidades dos blocos em função do tempo, ressaltando em seu gráfico as velocidades relativas dos blocos antes e depois da colisão.

Exercício 4.4 Dois blocos de massa $m_1 = 0.25$ kg e $m_2 = 0.40$ kg se deslocam em uma linha reta em um trilho sem atrito a velocidades $v_{1i} = 0.20$ m/s e $v_{2i} = -0.050$ m/s. Os blocos colidem elasticamente.
a) Escreva as equações de conservação de momento linear e conservação de energia cinética.
b) Calcule as velocidades finais dos dois blocos.
c) Faça um gráfico das velocidades dos blocos em função do tempo, ressaltando em seu gráfico as velocidades relativas dos blocos.

Exercício 4.5 Um carro de 1000 kg viajando em linha reta com velocidade de +20 m/s colide de frente com uma caminhonete de 1500 kg viajando com velocidade de −10 m/s. (a) Se 10% da energia cinética do sistema é convertida em energia interna durante a colisão, quais são as velocidades finais do carro e da caminhonete? (b) Se o carro tivesse batido na traseira da caminhonete que estaria se movendo com +10 m/s, como a resposta do item (a) mudaria?

Exercício 4.6 Dois blocos de massa m_1 e m_2 e velocidades iniciais v_1 e v_2 sofrem uma colisão completamente inelástica.
a) Calcule a perda de energia cinética do sistema.
b) Repita seu cálculo quando a colisão é parcialmente inelástica, com um coeficiente de restituição ϵ.

Exercício 4.7 Um sistema consiste de um carrinho de 4,0 kg e um carrinho de 1,0 kg conectados um com outro por uma mola comprimida. Inicialmente, o sistema está em repouso num trilho de ar, com atrito desprezível. Quando a mola é relaxada, uma separação explosiva ocorre às custas da energia interna armazenada na mola comprimida. Se a mudança na energia interna da mola durante a separação é de 1,0 kJ, qual é a velocidade de cada carrinho logo após a separação?

Problema 4.1 Um mito urbano diz que é possível escapar com vida de uma queda de elevador pulando para cima instantes antes do elevador tocar no chão. Supondo uma queda de 5 metros de altura, calcule o impulso que você deve dar ao elevador para que este plano funcione. Quanto de energia você deve gastar neste processo? Avalie criticamente os valores encontrados. Suponha um elevador de 500 kg de massa e que você tenha 70 kg.

Lista de problemas escolhidos para aula exploratória:

Atividade 4.3, Exercício 4.1, Exercício 4.3, Exercício 4.4, Exercício 4.7