

PRINCÍPIOS DE CONSERVAÇÃO – massa, energia, carga elétrica, quantidade de movimento.

I - Introdução

Em sua essência, a ciência busca organizar a nossa percepção dos fenômenos naturais. Por meio dessa busca, encontramos os mecanismos operacionais da natureza, que chamamos de princípios ou leis. Eles descrevem, de modo simples, econômico e preciso, como as coisas ocorrem na natureza. Quatrocentos anos de ciência revelaram alguns desses princípios. Esses princípios são observados, testados e confirmados quantitativamente todos os dias.

Analisando uma série de fenômenos, observamos que, durante a ocorrência de deles, certas grandezas físicas não sofrem alterações. Essa constância na natureza nos levou a enunciar princípios de conservação. Começamos analisando um princípio de conservação que nos parece o mais simples de todos.

Atividade (Professor, para essa atividade deve-se observar o grau de abstração dos alunos. Pode ser aconselhável suprimir alguns passos da atividade ou mesmo realizar a atividade de modo a torná-la uma experiência mental).

Princípio de conservação da massa

Caro aluno, você tem disponível um conjunto de 10 bolinhas de papel.

Distribua-as na carteira como bem entender. Podemos chamar esse conjunto de sistema. A definição de um sistema é importante para a ciência porque ele delimita o limite de ocorrência do fenômeno. Seu sistema é, portanto um conjunto de 10 bolinhas de papel amassadas, limitado pela área da carteira.

Você pode provocar algumas mudanças no seu sistema – abrir as bolinhas, re agrupá-las, formar subconjuntos de bolinhas ou papéis planos, picotá-las, construir outras e diferentes formas geométricas, amassá-las novamente ... sempre utilizando todo o papel disponível.

Faça ou suponha fazer várias transformações no seu sistema, alterando apenas uma grandeza de cada vez – como por exemplo, a forma, ou o tamanho, ou a quantidade de pedaços de papel, ou o modo como se distribuem pela carteira....

Observe (ou tente imaginar) qual (ou quais) grandezas em cada mudança, ou evento ocorrido, se modificou (ou se modificaram) e aquela(s) que se manteve (ou se mantiveram) invariável (ou invariáveis):

- área de cada pedaço de papel

¹ *Mestre* em Filosofia Medieval – UNICAMP . *Especialista* em Ensino de Física – UFMG. *Licenciada* em Física – UFMG

- volume de cada pedaço de papel
- forma de cada papel
- quantidade de pedaços de papel
- forma como se distribuem as bolinhas ou pedaços de papel
- ...

Se você organizar todos os eventos ocorridos, em todos eles, qual foi a grandeza que se manteve constante?

Você poderia responder: a cor dos papéis não foi alterada. Mas, será a cor uma grandeza física? Seria a cor relevante neste experimento?

Então, qual grandeza, do ponto de vista da ciência não sofreu alteração?

No limite dos fenômenos observados no cotidiano - grandes massas e pequenas velocidades, a **massa** é uma grandeza que não se altera. O mesmo que ocorre nos eventos provocados no experimento realizado, ocorre também nas reações químicas. A tão conhecida Lei de Lavoisier, na natureza, nada se cria, nada se perde, tudo se transforma, diz respeito à conservação da massa. Em uma reação química, a massa dos elementos envolvidos antes e depois do evento é a mesma. A partir de vários experimentos, foi possível induzir a *lei de conservação da massa*.

Princípio de conservação da carga elétrica

Não só a massa é uma grandeza que se conserva. No decorrer de todos os fenômenos elétricos conhecidos, a carga elétrica total não se altera. A partir dessa observação, foi elaborada a *lei de conservação da carga elétrica*. Essa lei experimental afirma que a soma algébrica das cargas elétricas de um sistema isolado se mantém constante, quaisquer que sejam os fenômenos que nele ocorram.

Quando atritamos um pedaço de plástico com um tecido de lã, a *carga elétrica total do sistema* plástico + lã *permanece constante*. A eletrização observada não se deve à criação de cargas, mas apenas à sua transferência de um corpo para outro. As cargas, assim transferidas, são transportadas por elétrons. Quando eletrizamos um corpo por contato, tampouco se criam cargas, mas são apenas transferidas.

A lei de conservação da carga elétrica se verifica também em escala subatômica, ou seja, em fenômenos que ocorrem em dimensões menores que as do átomo. Isso explica por que um fóton (ou seja uma partícula de luz) às vezes desaparece, dando lugar a duas partículas de matéria (por exemplo, um elétron e um pósitron). A carga total presente no início é igual a que existe no fim da reação. Na verdade, a carga do fóton é zero e, a soma das cargas do elétron e do pósitron também tem esse valor.

Princípio de conservação da quantidade de movimento

Os princípios de conservação são extremamente importantes do ponto de vista da ciência porque eles são simples e universais. Além da conservação da massa, da carga elétrica, conhecemos mais duas outras grandezas que se conservam: a energia e a quantidade de movimento.

Vamos falar um pouco sobre a conservação da quantidade de movimento. Depois do princípio da conservação de energia, a conservação da quantidade de movimento é a mais importante das leis de conservação.

Vamos definir a *quantidade de movimento* a partir de um experimento imaginário, que, embora não tenhamos contato com este tipo de material, de modo teórico, nos é familiar.

Imagine um atirador segurando frouxamente um rifle de modo que ele possa recuar livremente ao disparar uma bala. Seu sistema é, portanto o conjunto rifle + bala.

Antes do disparo tanto o rifle quanto a bala estão parados. Existe uma grandeza que relaciona a massa da bala e do rifle e suas velocidades. Essa grandeza é chamada de *quantidade de movimento* ou *momento linear*. Ela é representada pela letra Q ou p e a equação matemática que descreve a *quantidade de movimento* é simplesmente:

$$Q = m \cdot v$$

E sua unidade é a unidade de massa multiplicada pela unidade de velocidade. Sendo assim,

A unidade da quantidade de movimento é Kg.m/s ($[Q] = \text{Kg.m/s}$)

A velocidade é uma grandeza vetorial, isto é, para que seja expressa de modo completo, é necessário fornecermos, além de seu módulo (valor), a direção e o sentido. Assim também é a quantidade de movimento. Logo:

$$\vec{Q} = m \cdot \vec{v}$$

A equação acima, na sua forma vetorial de escrevê-la, nos conta que a direção e o sentido da quantidade de movimento de um corpo ou de uma partícula são dados pela direção e pelo sentido da velocidade.

Voltemos ao nosso sistema.

Antes do disparo, temos no nosso sistema imaginário (rifle + bala):

$Q_1 \text{ rifle} = \text{massa do rifle} \cdot \text{velocidade do rifle}$

$Q_1 \text{ bala} = \text{massa da bala} \cdot \text{velocidade da bala}.$

O índice 1 indica que é a situação antes do evento, no caso antes do disparo.

Para a situação descrita, temos que a *quantidade de movimento total* em todo o sistema, antes do disparo, é igual a zero, pois:

$$\vec{Q}_{1r} = m_r \cdot \vec{v}_r = 0 \quad \text{e} \quad \vec{Q}_{1b} = m_b \cdot \vec{v}_b = 0, \text{ já que:}$$

$$\vec{v}_r = 0 \quad \vec{v}_b = 0$$

$$Q_{1\text{total}} = Q_{1r} + Q_{1b}$$

$$\vec{Q}_{1\text{total}} = m_r \cdot \vec{v}_r + m_b \cdot \vec{v}_b$$

$$\vec{Q}_{1\text{total}} = 0 + 0$$

$$\vec{Q}_{1\text{total}} = 0$$

Veja que as equações matemáticas são extremamente úteis na ciência. Elas são uma linguagem simplificada para a ciência descrever como ocorrem os fenômenos.

O princípio de conservação da *quantidade de movimento* nos conta que depois do disparo (neste evento aqui analisado) a quantidade de movimento também será zero. Embora, a velocidade da bala e do rifle sejam modificadas após o disparo, a quantidade de movimento de todo o sistema depois do disparo permanecerá a mesma. Então:

$$\vec{Q}_{2\text{total}} = 0 \quad (\text{o índice 2 indica depois do evento})$$

Vamos dar valores ao nosso sistema. Suponha:

massa do rifle = 3,0 Kg

massa da bala = 5,0 g

velocidade do rifle = 0 e *velocidade* da bala = 0, para a situação 1.

Ao substituir os valores dados na equação da quantidade de movimento, temos:

$Q_1 \text{ rifle} = \textit{massa do rifle} \cdot \textit{velocidade do rifle}$

$Q_1 \text{ bala} = \textit{massa da bala} \cdot \textit{velocidade da bala}.$

Se a bala fosse disparada com velocidade de 300 m/s, qual seria, então, a velocidade de recuo do rifle? Resolveremos esse problema com o *princípio de conservação da quantidade de movimento*.

Nesse evento descrito, o movimento ocorre apenas em uma direção. Desse modo, podemos trabalhar com o seu valor apenas no eixo Ox, ou seja, é possível simplificar a equação e escrevê-la apenas em termos de seus valores.

$Q_1 = Q_2$ (isto é, a quantidade de movimento antes e depois do evento é a mesma, devido ao princípio de conservação da quantidade de movimento), ou

$$(m_r \cdot v_{1r} + m_b \cdot v_{1b}) = (m_r \cdot v_{2r} + m_b \cdot v_{2b})$$

$$((3,0 \text{ Kg} \cdot 0) + (0,0500 \text{ Kg} \cdot 0)) = (3,0 \text{ Kg} \cdot v_{2r}) + (0,0500 \text{ Kg}) (300 \text{ m/s})$$

$$0 = (3,0 \text{ Kg} \cdot v_{2r}) + (0,005 \text{ Kg}) (300 \text{ m/s})$$

$$(3,0 \text{ Kg} \cdot v_{2r}) + 1,5 \text{ Kg} \cdot \text{m/s} = 0$$

$$v_{2r} = - (1,5 \text{ Kg} \cdot \text{m/s}) / 3,0 \text{ Kg}$$

$$v_{2r} = -0,5 \text{ m/s}$$

A velocidade do rifle após o recuo é então $-0,5 \text{ m/s}$.

Observe que o sinal negativo significa que o recuo ocorre em sentido contrário ao da velocidade da bala e, como já havíamos simplificado a equação, sabemos que ocorre no eixo Ox .

O “coice” do rifle nada mais é do que esse recuo. É mais confortável comprimir firmemente o rifle contra o ombro no momento do disparo; nesse caso, a massa do rifle m_r é substituída pela massa do atirador com a massa do rifle e então, a velocidade de recuo do rifle torna-se muito menor.

É importante aqui, uma consideração. A quantidade de movimento da bala é igual e contrário a quantidade de movimento do momento linear do rifle depois da interação porque foram submetidos à forças de interação iguais e contrárias, que atuaram no mesmo intervalo de tempo (ou seja, impulsos iguais e contrários). Nenhuma outra força para além do sistema considerado atuou no evento.

O princípio de conservação da quantidade de movimento é válido desde que atue no sistema somente forças internas.

Princípio de conservação da energia

Talvez a mais famosa das leis construídas pela capacidade humana, seja *a lei da conservação de energia*. Ela afirma que a quantidade de energia antes e depois de algum evento é a mesma. Ela pode se *transformar* no decorrer do evento, mas jamais desaparece.

Por exemplo, um carro usa a energia química armazenada na gasolina para impulsionar o seu motor que, por sua vez, faz girar as suas rodas, mas a quantidade total de energia, durante todo o processo, incluindo a perda devido à fricção, é a mesma.

Imagine um atleta de salto com vara. Ele corre, crava a vara no chão, salta por cima da haste e cai no colchão que o amortece. Quando o atleta está correndo ele possui um tipo de energia devido a sua velocidade que se chama *energia cinética*. Quando o atleta crava a vara no chão, ele transfere sua energia de movimento, ou seja, transfere sua *energia cinética* para a vara, que fica assim armazenada. Essa energia armazenada é chamada de *energia potencial*, no caso *potencial elástica*, porque houve uma deformação na vara. Mas, quando a vara se distende e volta para o seu comprimento original, ela perde *energia potencial elástica* e o atleta, que está junto à vara, ganha um outro tipo de energia. O atleta fica então a uma certa altura em relação ao solo e ganha, o que chamamos de *energia potencial gravitacional*, que é a energia que um corpo possui devido a sua altura. Ao cair, depois que ultrapassa a haste, o atleta perde altura, diminuindo sua *energia potencial gravitacional*, mas devido ao *princípio de conservação da energia*, essa energia é apenas transformada em outro tipo de energia, que devido ao movimento de queda, é chamada de *energia cinética*. O atleta chega ao colchão com *energia cinética*, obtida pela *transformação da energia potencial gravitacional* e, depois atinge o repouso. A *energia cinética* do atleta foi utilizada para deformar o colchão (*energia potencial elástica*), que se transforma novamente em *energia cinética* e novamente em *potencial elástica* ...

Caso não houvesse nenhuma força de resistência, essa situação de *transformação de energia* seria contínua. Mas, existe uma força que retira energia do sistema. A energia

retirada não desaparece simplesmente, ela é *transformada* em outro tipo de energia, que pode ser som ou calor. Toda a *energia cinética* do atleta, desde o início do salto, ainda quando estava correndo antes de saltar, é *transformada em outras formas de energia*.

E de onde veio a energia cinética do atleta? Veio da energia química *armazenada* no corpo do atleta proporcionada pelo alimento e transformada em energia mecânica, que lhe dá movimento.

Em última instância, a energia disponível à vida na Terra é proveniente do Sol. O que ocorre é uma transformação constante de um tipo de energia em outra. Pense no funcionamento das turbinas de uma hidrelétrica, no mecanismo de como funciona um coletor solar que aquece a água de um chuveiro, como funciona um ferro de passar roupa, um liquidificador, uma usina nuclear, um automóvel... Todos eles foram imaginados e estão disponíveis no mundo concreto a partir do princípio que nos é mais caro: *a energia se conserva* e a humanidade vem criando, ao longo de sua existência, formas de transformá-la.