Energia

O que é energia?

Antes de descrevermos as variadas formas de manifestação de energia, precisamos primeiro pensar sobre *o que é energia*. Observando a Natureza notamos que há uma lei que se manifesta em *todos* os fenômenos: a *conservação de energia*.

Independentemente do que seja essa grandeza, associamos a ela um número com a estranha propriedade de sempre se conservar. Isso quer dizer que temos algo como um Lego que nunca se perde. Se contarmos o número de peças, sempre será o mesmo. Pode ser que alguma vez o número seja menor, mas não porque ele não existe mais. Depois de um tempo vamos encontrá-lo escondido em algum canto do chão ou no meio da mochila. Ou se esse número aumentar: depois de um tempo investigando esta estranha exceção, vamos observar que alguém trouxe seu pacote de Lego e juntou ao anterior. Mas aí podemos contar estes dois conjuntos e vemos que sempre terão o mesmo número de peças. Até que um dia observarmos que o número de peças diminuiu. E vemos que outra pessoa pegou algumas dessas peças e colocou em seu jogo de Lego. Agora considerando estes três pacotes, vemos novamente que o número é uma constante.

Até que notamos o seguinte fato: o número de *todas* as peças de Lego sempre será o mesmo. Se diminuir, provavelmente perdemos a peça em algum canto da casa, mas o número é o mesmo. Ou existe alguma outra edição de Lego para onde há um intercâmbio de peças. O que observamos é que nosso desconhecimento de todas as edições lançadas e de todas as peças fabricadas pode levar erroneamente a um número diferente de peças. Só que ao final do dia vemos que este número sempre se conserva. A peça não pode desaparecer, nem quebrar, nem nada.

Por enquanto estamos atuando na fenomenologia do número de peças de Lego. É um *modelo* que observamos e que se mostra tão consistente com um grande número de observações a ponto de consideramos uma *Lei da Natureza*. Isto é *energia*.

Formas de Energia

Feitas estas considerações, a grande questão consiste em descobrir quais *forças* ou *energias* estão envolvidas no problema e sua formulação matemática. Estas questões por si só são suficientemente complicadas. Vamos agora discutir brevemente a formulação matemática de algumas formas de energia.

Energia Potencial Gravitacional

Como já bem conhecido, a energia potencial gravitacional é

$$E_g = mgh \tag{1}$$

Vamos supor que colocamos um objeto em um determinado lugar e assim que o soltamos ele começa a acelerar. Sem conhecer a natureza da força a ela sendo aplicada, o que podemos deduzir?
A unidade de energia, no SI, é $N \cdot m$, ou seja, $\mathbb{F} \cdot \mathbb{D}$. Então, em um primeiro momento, é razoável supor que seja liberada quando o objeto percorre uma distância h sob aplicação dessa força F, sujeita a expressão $E_p = a_0 Fh + b_0$, onde a_0 é uma constante adimensional responsável por escalar (ou calibrar) a intensidade da energia e b_0 uma constante com dimensão de energia, correspondente a *energia intrínseca* armazenada. Vamos escolher um referencial conveniente, de forma que $b_0 = 0$. Então podemos dizer que a forma da energia potencial é

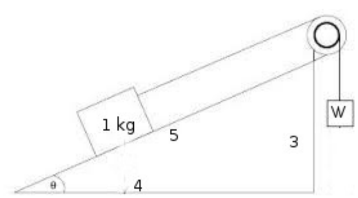
$$E_p = F \cdot h \tag{2}$$

Se considerarmos um deslocamento infinitesimal, a variação da energia será então:

$$dT = \boldsymbol{F} \cdot d\boldsymbol{s} \tag{3}$$

Logo, a variação em um dado percurso será:

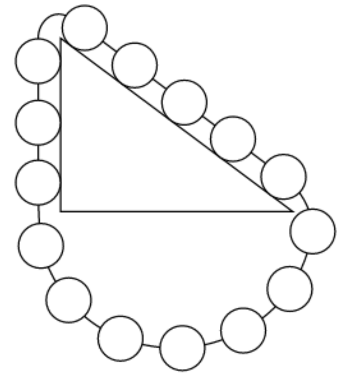
$$\Delta T = \int_a^b \boldsymbol{F} \cdot d\boldsymbol{s} \tag{4}$$



No caso da força gravitacional, temos justamente que

$$\int_{z_1}^{z_2} \boldsymbol{F} \cdot d\boldsymbol{s} = \int_{z_1}^{z_2} -mgdz = -mg\left(z_2 - z_1\right) \tag{5}$$

Vamos agora usar o problema conhecido por epitáfio de Stevinus para, através de argumentos de conservação de energia, deduzir qual a massa de um bloco para segurar outro de $1\,kg$ num plano inclinado (figura 1).



Podemos então substituir esse problema por uma cadeia de bolinhas (figura 2). É claro que a parte não apoiada no plano se autossustenta. Então, a parte de 3 bolinhas, está equilibrando a de 5!. Ou seja, o peso tem que ser $3/5\,kg$.

Este problema deu origem ao que chamamos de trabalho virtual e é aplicável a inúmeras situações.

Energia no Corpo Humano

Pode ser demonstrado numericamente que o consumo do corpo humano, em repouso, é de $\approx 100\,W$ *consumo basal*. Uma quantia da ordem de $20\,W$ corresponde ao consumo do cérebro humano, valor este que se mantém aproximadamente constante, independentemente da atividade física exercida.

Já numa caminhada com algum vigor, o consumo energético é de $360\,kcal$ em $1\,h$. Isto é equivalente à $100\,cal/s$ ou $420\,W$. Como o rendimento do corpo humano é da ordem de 25%, o *trabalho útil* é $\sim 105\,W$, que é basicamente o trabalho devido ao deslocamento do centro de gravidade e do atrito.

Claro, como o problema da conservação de energia, devemos verificar se todos os blocos (de Lego) estão sendo levados em consideração. Por exemplo, existem perdas de calor por irradiação, condução e convecção que elevam este valor. Para se ter uma ideia, o corpo irradia da ordem de $500\,W/m^2$! Claro, o isolamento através de roupas diminui constantemente estes valores de dissipação energética.

Esta perda de energia por irradiação permite justamente a detecção por sensores de infravermelho, que é usado não só nos detectores utilizados por policiais, como nos aparelhos de reconhecimento facial e corporal, como o *Kinect*.

De qualquer forma, trabalho mais intenso e exposição ao frio exigem suplementos alimentares. A ONU recomenda uma dieta de $\approx 1800\,kcal/dia$.

Mamíferos de grande porte apresentam semelhanças energéticas com seres humanos. No caso de peixes o consumo varia, principalmente devido à variação de oxigênio dissolvido na água: a $10\,m$ de profundidade temos da ordem de $100\,mg/L$ de oxigênio, valor este semelhante ao presente em montanhas de $5000\,m$ de altitude. Num certo sentido, incas respiravam quantidades de oxigênio semelhantes a de tubarões a $10m$ do nível do mar.

A reserva energética de animais é constituída principal de lipídeos, que são longas cadeias de ácidos carboxílicos. Estes se convertem em carboidratos (glicose), numa cadeia de inúmeras etapas. A oxidação dos lipídeos fornece energia para o organismo. Proteínas também são consumidas, principalmente em grandes intervalos sem consumo de alimentos. Como exemplos de liberação energética, temos para gorduras $\approx 9\,kcal/g$ e para proteínas $\approx 4\,kcal/g$.

O oxigênio entra no corpo humano via respiração e é transportado pela hemoglobina (figura 3).

Voltando ao cérebro, lembrando que ele consome da ordem de $\approx\ 20\,W$ e possui $\approx\ 10^{11}$ neurônios, temos então que o consumo médio por neurônio é $\approx 1,6\times 10^{9}\,eV/neurônio \approx 1\,GeV/neurônio$!

Por fim, vamos considerar a energia liberada pelo principal processo de oxidação no organismo, o da glicose.

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \longrightarrow 6H_2O + 6CO_2 + 686\,kcal$$

Dado que ocorre a liberação de $686\,kcal/mol\ de\ glicose$, teremos a liberação de $3,81\,kcal/g$ ou $0,167\,eV/g$.

Já em vegetais, a molécula operacional da fotossíntese é a *clorofila* (figura 4), cujo centro é um átomo de magnésio. Plantas *eficientes* produzem $1\,kg/m^2 - ano$ de material orgânico sob ação da radiação solar. A eficiência energética do processo é, admitindo $1\,kg = 5,5\,at - g$ e incidência média da radiação solar de $1,3\,W/m^2$, é de $14,4\,MJ = 1,44\times 10^{7}\,J$

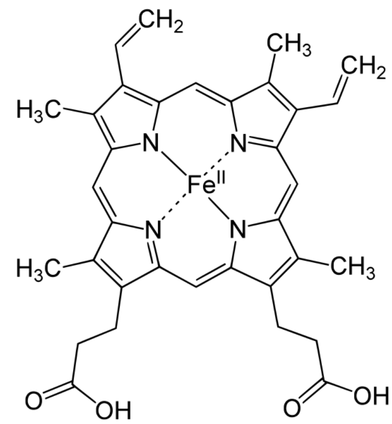


Figure 1: Estrutura da molécula da hemoglobina.

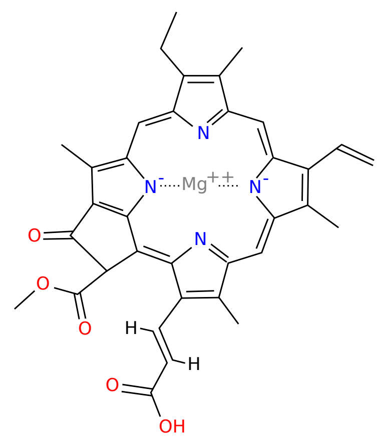


Figure 2: Estrutura da molécula de clorofila.

Problemas

1. Uma eventual colônia terrestre em Marte, que dista $228\,milhões\ de\ km$ do Sol (a Terra dista $150\,milhões\ de\ km$), receberia quanto de radiação solar (considere só as distâncias)?
2. Em um intervalo de tempo, determinado organismo humano consumiu $1\,Gcal$. Quantos litros de água foram processados pelos pulmões?
3. Na fotossíntese, $1\,m^2$ de solo recebe incidência normal de radiação solar de $1,3\,kW$. Pergunta-se:
   (a) Qual a energia total recebida em um ano, em <u>calorias</u>?
   (b) Qual a eficiência de produção, se nestas condições forem produzidos $1\,kg$ de glucose?
4. Em caminhada com velocidade moderada são consumidos $300\,kcal/hora$.
   (a) Qual a potência em W?
   (b) Quantos gramas de glicose são consumidos por minuto?
5. Uma pessoa de $70\,kg$ percorre uma diferença de nível de $800\,m$ (Serra do Mar).
   (a) Qual a energia externa consumida (não a energia total)?
   (b) Se a eficiência humana for de 25%, qual o consumo total de energia?
   (c) Qual o consumo em gramas de glicose? conteúdo...
6. Um molécula grama de glicose, $C_6H_{12}O_6$, libera $0,686\times 10^{6}\ cal/mol\cdot g$ na combustão. Pergunta-se:
   (a) Tomando $1\,cal = 4,186\,J$, qual o valor em $Joules/g$?
   (b) Qual o valor por molécula, em eV, considerando que $1\,eV\ = 1,6\times 10^{-19}\,J$ e $N_A = 6\times 10^{23}$ átomos?

(c) Convenciona-se tomar a energia basal como $100\,W$. Qual a necessidade de consumo de glicose em 1 dia?

7. Qual a quantidade de oxigênio necessária para a combustão de $18\,g$ de glicose:

(a) Em g?

(b) Em Litros, nas condições ambientes? $t = 27^oC$, $T = 273 + t$, $P = 10^5 Pa$, $R = 8,31 J/K$, $PV = nRT$

8. Qual a quantidade de CO_2 liberada na utilização de $500\,g$ de glicose pelo organismo?

9. Na oxidação da gordura

$$C_3H_5O_3\,(OC_4H_7)_3 + 18,5\,O_2 \longrightarrow 15\,CO_2 + 13\,H_2O + 1941 kcal$$

são liberadas $1941\,kcal$ por mol de gordura.

(a) Quais as massas moleculares das quatro moléculas envolvidas na reação?

Para essa reação, calcule:

(b) o valor calórico;

(c) a energia liberada por litro de O_2;

(d) o número de litros de O_2 consumido por grama de gordura;

(e) o número de litros de CO_2 produzido por grama de gordura;

(f) o quociente respiratório ($\mathcal{R}$).

10. Os salmões que desovam no Lago Stuart, nos EUA, partem do Oceano Pacífico, nadando cerca de 1000 km contra a correnteza do Rio Fraser. Eles se deslocam apenas $2,1\,km$ em uma hora devido à correnteza do rio, mas sua velocidade efetiva é cerca de $4,2\,km/h$. Nadando com essa velocidade, um salmão absorve cerca de $0,5 \times 10^{-3}\,kg/h$ de O_2 para cada quilo de sua massa. Durante essa viagem eles não se alimentam. A energia liberada pela oxidação de gordura e de proteína é $3,3\,kcal$ por grama de O_2 usado.

(a) Calcule a energia total metabolizada por um salmão de $3kg$ nessa viagem.

(b) Suponha que os salmões, ao nadarem, oxidem $2\,g$ de gordura para cada grama de proteína oxidada.
As energias contidas em $1\,g$ de gordura e em $1\,g$ de proteína são, respectivamente, $9\,kcal$ e $4\,kcal$. Quantos gramas de gordura e de proteína são gastos nessa viagem?

(c) Que percentagem de seu peso é perdida por um salmão de $3\,kg$?

11. O Sol libera energia a uma taxa de aproximadamente $3,9 \cdot 10^{26}\,W$. Na Terra, o fluxo incidente I_e será de aproximadamente $1,4\,kW/m^2$. Neste problema iremos investigar se existem outros planetas no sistema solar que poderiam suportar algum tipo de vida baseada em água como encontrada na Terra. Considere um planeta orbitando a uma distância d do Sol (e considere que d_e é a distância da Terra em relação ao Sol). Nessa distância o fluxo de energia do Sol é $I = I_e\,(d_e/d)^2$, já que ele cai com o inverso do quadrado da distância.

Vamos considerar o raio R deste planeta e supor que ele absorve uma fração α da energia solar incidente, refletindo o resto de volta ao espaço. O planeta intercepta um disco de luz solar de área ΠR^2, então absorverá uma potência total de $\Pi R^2 \alpha I$. O raio da Terra é da ordem de $6400\,km$.s

O Sol está brilhando há muito tempo, mas a temperatura da Terra tem sido estável: o planeta está em equilíbrio estável. Para isso acontecer, *a energia absorvida tem que ser reiiradiada de volta ao espaço tão rápido quanto absorve*. Como a taxa que um corpo radia depende da temperatura, podemos usar a temperatura média do planeta a partir da fórmula

$$\textit{fluxo de calor irradiado} = \alpha\sigma T^4$$

Nesta fórmula σ vale $5,7 \cdot 10{-}8\, W/m^2K^4$ (constante de Stefan-Boltzmann). Esta fórmula fornece a taxa de perda de energia por unidade de área de um corpo negro (no caso, a Terra). Não é necessário entender a derivação da fórmula, como sim suas unidades.

(a) Utilizando esta fórmula, encontre a temperatura média na superfície terrestre e compare com o valor atual de $289\, K$.

(b) Utilizando esta fórmula, encontre quão distante do Sol um planeta do tamanho da Terra pode estar, em função de d_e e ainda ter temperatura acima da de congelamento.

(c) Utilizando esta fórmula encontre quão próximo do Sol um planeta do tamanho da Terra pode estar, em função de d_e e ainda ter temperatura abaixo da de vaporização.

(d) Procure as distâncias das órbitas dos planetas do Sistema Solar. Quais deles são cadidatos a vida baseada em água, utilizando este critério simplificado?

12. Em 1858 J. Waterston encontrou um jeito de estimar o tamanho molecular a partir de propriedades macroscópicas dos líquidos, através da comparação entre a tensão superficial e o calor latente de vaporização.

A tensão superficial da água, Σ, é o trabalho por unidade de área necessária para criar mais superfície livr. Para defini-lo, imagine um bloco quebrando ao meio. Os dois pedaços terão duas novas superfícies. Seja Σ o trabalho necessário para criar estas novas superfícies, dividido pela área total. Isto é análogo para a tensão superfícial da água.

O **calor latente de vaporização** da água, Q_{vap} é a energia por unidade de volume que precisamos colocar na água (um pouco abaixo do ponto de ebulição) para convertê-la completamente em vapor (um pouco acima do ponto de ebulição). Ou seja, o calor caltente de vaporização é a energia necessária para separar cada molécula uma das outras.

Imagine um liquído como uma matriz cúbica de N moléculas por centímetro em todas as direções. Cada molécula tem uma força de interação fraca com seus seis vizinhos. Suponha que seja necessária uma energia ε para quebrar uma dessas ligações químicas. Então a vaporização completa de $1\, cm^3$ de líquido necessita que todas as ligações químicas sejam quebradas. A energia correspondente será $Q_{vap} \times (1\, cm^3)$.

Em seguida considere uma molécula da *superfície* do fluido. Ela terá apenas cinco ligações químicas - o vizinho mais próximo acima da molécula não está presente (suponha uma interface fluido-vácuo). Então, para criar mais área superficial é necessário que se quebre algumas dessas ligações químicas. A energia necessária para isso, dividida pela área adicional criada, é Σ.

(a) No caso da água, $Q_{vap} = 2,3 \cdot 10^9\, J/m^3$, com $\Sigma = 0,072\, J/m^2$. Estime N.

(b) Assumindo que as moléculos formam um pacote fechado, estime aproximadamente o diâmetro molecular.

(c) Que estimativa para o número de Avogadro você obtém?

13. Um ciclista da *Tour de France* se alimenta muito. Se a alimentação diária total foi queimada e convertida em calor liberaria $8000\, kcal$. Pelas três ou quatro semanas de corrida a variação de seu peso é desprezível, menos de 1%. Então, a entrada e saída de energia tem que se igualar.

Vamos primeiro analisar o trabalho mecânico feito pelo cilicsta. Uma bicicleta é incrivelmente eficiente. A perda de energia por fricção interna, incluindo os pneus, pode ser desprezada. O gasto energético contra a resitência do ar é significante, da ordem de $10\, MJ$ por dia. A cada dia o ciclista corre por 6 horas.

(a) Compare as $8000\, kcal$ consumidas com os $10\, MJ$ de trabalho realizado. Algo está faltando! A energia restante poderia se desvido a mudança de altitude durante a corrida? Independentemente de como responde em (a), vamos supor

que em um particular dia de corrida não há variação de altitude, então devemos procurar em outro lugar para onde foi a energia restante. Nós desprezamos outra parte da equação de energia: o ciclista perde *calor*. Parte dele é irradiada. Outra parte esquenta o ar quando ele inspira. Mas a maior parte vai para outro lugar.

O ciclista *bebe muita água*. Ele não precisa desta água para seu metabolismo - ele está produzindo água quando queima o alimento. Em vez disso, boa parte da água sai de seu corpo como vapor. A energia térmica para vaporizar a água aparece no problema anterior.

(b) Quanto água deveria ser consumida para que o gasto energético se equilibre? É razoável?

Agora vamos voltar para os $10\,MJ$ de trabalho mecânico realizado pelo ciclista em um dia.

(c) A resistência do ar para uma força como essa é uma força em sentido contrário ao movimento e com magnitude $f = Bv^2$, onde B é uma constante. Medimos B através de um túnel de vento e obtivemos $1,5\,kg/m$. Se simplificarmos o problema, supondo que durante um dia de corrida o ciclista percorre com velocidade constante, qual é esta velocidade? É razoável?