

"Os movimentos dos organismos e sua relação com o metabolismo. Um ensaio em ciências naturais", de Julius Robert Mayer

(1845)

(tradução livre a partir da versão em R. Bruce Lindsay, *Energy: Historical Development of the Concept*, Dowden 1975)

Introdução

Durante o último século a matemática aplicada atingiu tal grau de desenvolvimento e suas conclusões atingiram um grau de certeza tal, que é justificado colocá-la à frente de todas as ciências. Ela é o início e o fim para o astrônomo, para o tecnologista e para o navegador, e é o eixo sólido de toda filosofia natural do momento presente. É somente na biologia que as descobertas de Galileo, Newton e Mariotte deram relativamente poucos frutos. Não foram encontradas fórmulas para os fenômenos da vida, pois a palavra mata, e só o espírito dá luz à vida!

No estudo dos movimentos orgânicos, o fosso entre a física matemática e a fisiologia, que mesmo os estudos de gente como Schwann e Valentin não conseguiram ultrapassar, é facilmente perceptível. Assim, a tentativa de estabelecer um método através do qual as duas ciências pudessem aproximar-se em relação à essa questão deve interessar aos fisiologistas.

Seria uma recaída nos erros da filosofia natural antiga ou na confusão da ciência moderna se a ideia fosse tentar construir um universo *a priori*. No entanto, se conseguimos reunir um grande conjunto de fenômenos naturais e a partir deles deduzir uma lei fundamental da natureza, não se pode ser repreendido se, depois de testes cuidadosos, se usa essa lei como uma bússola para indicar o caminho certo no mar de detalhes.

Partindo das leis que regem os fenômenos inorgânicos, tomamos como dadas, por um lado, as verdades estabelecidas pelos resultados da mecânica, mas, por outro, não nos sentimos obrigados a limitar nossas considerações por todos conceitos e classificações que a mecânica estabeleceu. A mecânica, por assim dizer, disseca ou anatomiza os objetos naturais com os quais trata através de abstrações levadas o mais longe possível de maneira que correspondam a números em sua análise matemática; se satisfaz ao responder questões que levanta com perspicácia admirável e precisão matemática. A mecânica não se incomoda se fenômenos muito próximos entre si na natureza aparecem, no domínio da mecânica, separados por grandes distâncias. Da mesma forma, não se preocupa se, em seu domínio, coincidem conceitos e objetos que no mundo real não apresentam nada em comum.

Os conceitos construídos na mecânica, com objetivos próprios, foram estendidos por outras ciências além do que a própria mecânica poderia tolerar. Se surge a questão, o que se compreende por um "corpo"? O geômetra responderá: "Sem preconceito com físicos, zoólogos, psicólogos, etc., de acordo com conceitos geométricos, um corpo é um espaço limitado em três dimensões." O especialista em mecânica, que representa as origens, a mudança e o desaparecimento de movimentos provocados por uma pressão, chama isto, *in abstracto*, de "força" (Kraft). A capacidade de uma massa exercer tal pressão, isto é, gravidade ou peso, ele chama de força. No entanto, não aderindo à abstração do mecanista força=pressão, outros cientistas têm tratado o peso como o tipo geral de todas as forças e assim introduzem uma confusão artificial dos conceitos: propriedade, força, causa e efeito. Isto tem sido uma deficiência séria na construção do edifício do conhecimento.

Antes de iniciarmos uma investigação das leis da fisiologia, queremos tornar inteligível o conceito de força (Kraft) e representar os fenômenos inorgânicos importantes em relação uns com os outros.

Na composição da parte inorgânica deste trabalho, o autor esforçou-se bastante para colocar os problemas mecânicos e físicos relevantes de forma que sejam inteligíveis em geral. Devido à natureza do assunto, no entanto, não pudemos evitar pontos individuais em que a compreensão requer um conhecimento mais preciso dos teoremas da mecânica.

Esperamos que os físicos, para quem o cálculo é um instrumento de investigação, não se recusem a examinar honestamente esta parte do trabalho do autor.

Para iniciar o movimento de uma massa que está em repouso é necessário gastar força. O movimento nunca surge por si mesmo; ele surge devido a uma *causa*, isto é, uma força.

Chamamos força uma entidade que traz o movimento ao desgastar-se. Como causa do movimento a força é uma entidade indestrutível. Não há efeito que surja sem causa. E nenhuma causa desaparece sem efeito.

O efeito é igual à causa. O efeito da força é outra força. A imutabilidade (invariância) quantitativa de algo dado é uma das leis fundamentais da natureza e se aplica igualmente à força e à matéria.

A química nos ensina a reconhecer mudanças qualitativas que a matéria sofre sob determinadas condições. Ela fornece uma prova, para cada caso individual, de que no processo químico o que muda é apenas a *forma* da matéria, e não a sua *quantidade*.

Aquilo que a química faz em relação à matéria, a física deve fazer em relação à força. A única missão da física é conhecer a força em suas várias formas e investigar as condições que governam suas transformações. Se têm algum sentido, a criação e a destruição da força estão além do domínio de pensamento e ação do homem.

É mais do que duvidoso de que no futuro consigamos transmutar os elementos químicos uns nos outros, ou reduzi-los a um número menor de elementos, ou mesmo a uma única substância fundamental. Entretanto, este não é o caso do movimento. Pode se provar *a priori* e confirmar pela experiência por toda parte que as várias formas de força *podem* ser transformadas umas nas outras.

Há, na verdade, uma *única força*. Ela circula numa troca infundável através da natureza viva e da natureza morta. Tanto numa quanto na outra nada ocorre sem a variação da forma da força!

1

O movimento é uma forma de energia. Entre as diferentes formas de energia ela merece o primeiro lugar. O calor aquece, o movimento move.

Quando uma massa em movimento encontra uma massa em repouso, esta passa a mover-se, ao passo que a primeira perde parte de seu movimento. No jogo de bilhar, quando a bola branca bate de frente na bola vermelha, a branca perde sua velocidade e a vermelha ganha a velocidade que a branca tinha. É o consumo do movimento da bola branca que produz o movimento da bola vermelha, ou, em outras palavras, um movimento é transformado no outro. O movimento da bola branca é uma forma de energia. O movimento da vermelha é um efeito que deve ser igual à sua causa; é também uma forma de energia.

Uma bola de bilhar pode produzir o movimento de várias outras bolas e ainda assim permanecer em movimento. A quantidade de vis viva (energia cinética) do sistema inteiro permanece a mesma, antes e depois do choque.

2

Colocada a uma distância qualquer acima da superfície da Terra, uma massa adquire movimento imediatamente e atinge o chão com uma velocidade que podemos calcular de pronto. O movimento dessa massa não pode surgir sem consumir energia. O que é esta energia?

Se em vez de nos atermos a crenças tradicionais, nos baseamos nos fatos da experiência, percebemos que a causa do movimento do peso é o levantamento do mesmo. Considere, por exemplo, o peso de 500 gramas em repouso a 32,484 centímetros do chão.

Em queda livre, o peso atingirá a velocidade final de 974,52 centímetros por segundo. A elevação do peso foi consumida, mas ganhou existência o movimento do peso.

Assim elevar o peso é a causa do movimento e é uma forma de energia. Essa energia causa o movimento de queda. Nós a chamamos de força-de-queda.

Se uma massa se move ao longo de um plano horizontal com uma certa velocidade, ela mantém esta velocidade constante devido à lei da inércia, como estamos acostumados a dizer. No entanto, a mesma massa, com a mesma velocidade inicial, perde seu movimento completamente em segundos, se lançada verticalmente para cima. Considere uma massa de 500 gramas lançada para cima com velocidade inicial de 974,52 centímetros por segundo. Depois de um segundo o movimento desaparece e a massa atinge a altura de 487,26 cm. A energia que levantou este peso é o seu movimento; o que era efeito agora tornou-se causa e o movimento se transformou por sua vez em energia-de-queda.

A quantidade de energia-de-queda é medida através do produto do peso e da altura. A quantidade de energia como movimento (energia de movimento) é dada pela metade do produto da massa vezes o quadrado da velocidade. Ambas as formas de energia estão representadas pelo nome coletivo de efeito mecânico.

Se a energia-de-queda é transformada em movimento e vice-versa, o efeito mecânico total mantém um valor constante. Essa lei, um caso especial do axioma da indestrutibilidade de energia é conhecido na mecânica como o princípio da conservação de vis viva. Como exemplos, pense na queda livre a partir de qualquer altura, na queda sobre caminhos predeterminados, nas oscilações de pêndulos, no movimento dos corpos celestes.

3

Por mil anos, ou mais, a raça humana teve que resolver o problema de colocar em movimento massas que estavam em repouso com instrumentos da natureza inorgânica, em particular com a aplicação de determinados efeitos mecânicos. Estava reservado para uma época posterior a inclusão de um novo tipo de energia, o das correntes de vento e do fluxo de água. A terceira forma de energia que deslumbra o nosso século é o *calor*.

O calor é uma forma de energia. Ele pode ser transformado em energia mecânica.

Consideremos um vagão de trem com massa de 100.000 libras que recebeu uma velocidade de 30 pés por segundo. Isso pode ser obtido com o dispêndio de uma quantidade apropriada de energia. Por exemplo, o vagão pode adquirir esta velocidade descendo um determinado plano inclinado. No entanto, via de regra o trem será colocado em movimento sem o gasto de “energia de queda” e, apesar do atrito, manterá seu movimento. Suponhamos que a elevação é de uma parte em 150, nesse caso a velocidade de 30 pés por segundo será suficiente para elevar o trem de 720 pés em uma hora, ... Essa enorme quantidade de movimento produzida pressupõe o gasto de uma quantidade igualmente enorme de energia. A energia efetiva no caso da locomotiva que puxa o trem é o *calor*.

O gasto de calor ou a transformação de calor em movimento apoia-se no fato de que a quantidade de calor absorvida pelo vapor é sempre maior do que a quantidade de calor emitida quando o vapor escapa pela válvula de exaustão e condensa no meio ao redor. A diferença é o calor transformado em atividade mecânica (trabalho).

Quantidades iguais de material combustível, sob as mesmas condições, produzem quantidades iguais de calor. No entanto, o carvão que queima sob a caldeira fornece menos calor quando o motor está funcionando, do que quando o motor não está funcionando. Quanto mais perfeito o aparelho, menos calor será transferido ao meio ambiente. As melhores máquinas têm uma eficiência de cerca de 5 por cento. Em uma máquina destas, uma centena de libras de carvão fornece a mesma quantidade de calor livre que 95 libras de carvão que queimem sem realizar nenhum trabalho.

Para estabelecer esta importante lei é necessário que examinemos o comportamento de fluidos elásticos com relação ao calor e à ação mecânica.

Gay-Lussac provou, através de um experimento, em que um fluido elástico (gás) escoava de um recipiente menor para outro maior, e que foi evacuado, que: o gás do recipiente menor esfria tanto quanto o gás do recipiente maior esquentava. Esse estudo tão simples, e que foi confirmado por outros observadores, mostra que um dado peso e volume de fluido elástico pode expandir-se para duas vezes, quatro vezes ou para qualquer outro volume sem nenhuma variação *global* de temperatura. Isto significa que a expansão do gás em si mesma não requer nenhum consumo de calor. Ao mesmo tempo, a experiência confirma que o gás que expande contra a pressão sofre um decréscimo de temperatura.

Vamos supor que uma polegada cúbica de ar a 0° C e pressão de 27 polegadas de mercúrio seja aquecida a volume constante por uma quantidade de calor x e levada à temperatura de 274°C. Se agora esse gás se expande para um recipiente evacuado e dobra o seu volume, sua temperatura permanecerá 274°C e o meio em torno dos recipientes não sofrerá nenhuma variação de temperatura. Vamos agora considerar um outro caso, em que 1 polegada cúbica de ar é aquecida também de 0 a 274 °C, só que não a volume constante, mas a pressão constante (exatamente a 27 polegadas de mercúrio). Nesse caso, uma quantidade maior de calor é necessária. Vamos representá-la por $x+y$.

Em ambos os casos, o ar é aquecido de 0° a 274 °C e nos dois casos o ar expandiu-se de um volume para o dobro do volume.

No primeiro caso, a quantidade de calor exigida foi x . No segundo, $x+y$. No primeiro caso, o efeito mecânico foi nulo, mas no segundo, foi equivalente a levantar 15 libras de uma altura de uma polegada.

.....

A quantidade de calor necessária para produzir uma determinada quantidade de trabalho mecânico deve ser avaliada experimentalmente.

A quantidade total de calor gasto pode ser calculada a partir da quantidade de combustível queimada no motor. Se deduzirmos as perdas inevitáveis de calor, que ocorrem através da radiação, condução e convecção, sobra o calor realmente disponível para a transformação, que corresponde ao desempenho verdadeiro do motor. No entanto, como a maior parte do calor não utilizado e dissipado só pode ser estimada aproximadamente, dificilmente podemos esperar um resultado confiável a partir de tais considerações.

O problema pode ser resolvido com maior simplicidade e precisão através do cálculo da quantidade de calor que se torna latente [potencial] se o gás se expande sob pressão constante. Se o gás absorve uma quantidade de calor x para elevar sua temperatura de t C, mantendo-se seu volume constante, o calor necessário para elevar a temperatura do mesmo gás sob pressão constante será $x+y$. No segundo caso, se o peso que o gás deve elevar é P , então $y=Ph$.

Um centímetro cúbico de ar atmosférico, a 0 C e 0,76 bar pesa 0,0013 gramas. Se aquecido de 1 C, o ar expande em 1/274 partes de seu volume e ao mesmo tempo levanta uma coluna de mercúrio de 1centímetro quadrado na base e 76 centímetros de altura de 1/274 centímetros. O peso dessa coluna é 1033 gramas. O calor específico do ar (tomando o da água como igual a 1) é 0,267, segundo o trabalho de Delaroché e Berard. Para aumentar a temperatura do centímetro cúbico de ar de 0 a 1 C, a pressão constante, este absorve $(0,0013)(0,267)=0,000347$ de calor, quantidade de elevaria de 1 C a temperatura de 0,000347 gramas de água. De acordo com Dulong, seguido pela maioria dos físicos, a quantidade de calor absorvida pelo ar para aquecer-se de 1 C, a volume constante, está para a quantidade absorvida sob pressão constante na razão 1:1.421. Usando este dado, calculamos o calor necessário para aquecer 1 centímetro cúbico de ar de 0 a 1 C, a volume constante: $0,00037/1,421=0,000244$.

A diferença $(x+y)-x=y$ é portanto $0,000347-0,000244=0,000103$ unidades de calor. O consumo desse calor produz a elevação de 1033 gramas de mercúrio em 1/274 centímetros. Assim, uma unidade de calor [caloria] é equivalente à elevação de 1 grama em 367 metros.

.....

A experiência nos mostra por todo lado a transformação de efeito mecânico em calor. Fatos decisivos, o surgimento do calor em choques e no atrito, são conhecidos há muito tempo. Serão eles, por isso, menos convincentes? Verificamos o aquecimento das grandes pedras dos moinhos, da farinha na moenda, do motor mecânico e do óleo no moinho de óleo, da madeira nos moinhos de tinta, o aquecimento interminável dos eixos de todas as rodas em movimento. Lembramos os famosos experimentos de Rumford! Por todo lado podemos notar o mesmo fenômeno: a interminável produção de calor às custas do consumo de atividade mecânica.

.....

Vamos combinar os resultados de todas estas investigações em uma única lei geral, e assim obtemos o axioma que enunciamos de início. Ela é

Em todos os processos físicos e químicos a energia envolvida permanece constante.

O esquema a seguir é um resumo das principais formas de energia já consideradas.

- I. Energia potencial (devida à gravidade) (força-de-queda)
- II. Energia de movimento
 - A. Simples
 - B. Vibracional
- III. Calor
- IV. Magnetismo
- Eletricidade (corrente galvânica)
- V. Separação química de certos materiais
(energia química)
Combinação química de outros materiais

Esse enunciado das cinco principais formas de energia física impõe a tarefa de demonstrar as metamorfoses (mudanças) destas formas através de 25 exemplos experimentais. A partir dos fatos mais importantes e mais simples reunimos aqui o seguinte:

1. A transformação de uma força-de-queda em outra através de uma alavanca.
2. A transformação de força-de-queda (energia potencial) em energia de movimento, por queda livre ou por queda por um caminho definido.
3. A transformação de um movimento em outro movimento. Pode ocorrer de forma completa através de uma colisão central de partículas elásticas de mesma massa, ou de forma incompleta através de colisão e atrito.
4. A transformação de energia de movimento em força-de-queda (energia potencial) através do movimento de uma partícula que se eleva a partir da superfície da Terra. Tais transformações de ambas as formas de energia podem se dar periodicamente nas oscilações de um pêndulo e nos movimentos centrais dos planetas.

5 e 6. Transformação de energia mecânica em calor na compressão de fluidos elásticos, e por colisão e atrito. A absorção de luz consiste na transformação de movimento vibracional em calor.

7 e 8. A transformação de calor em energia mecânica ocorre na expansão de gases sob pressão, nos motores a vapor, e aparece na energia vibracional da radiação de corpos aquecidos.

9. A transformação de um tipo de calor em outro na condução.

10. A transformação de calor em reações químicas. Substâncias que se decompõem com calor são formadas com produção de calor. São exemplos a combinação de ácido sulfúrico e água e a combinação de limo?? e água.

11. A transformação de energia química em calor, como na combustão.

12, 13, 14. A transformação de energia química em corrente galvânica (elétrica) e a transformação posterior da corrente em energia química, assim como a transformação da corrente em energia química na pilha voltaica.

15, 16, 17. A transformação de eletricidade em calor e energia mecânica: na emissão de luz de um fio que conduz eletricidade, na centelha elétrica, nos movimentos da atração elétrica e eletromagnética, nas descargas elétricas, em especial no raio.

18. A transformação parcial de uma corrente em outra, que origina a corrente induzida.

19. A transformação direta de calor em eletricidade no fenômeno da termoeletricidade e na produção de frio através do efeito Peltier.

20, 21. A transformação de energia mecânica em eletricidade por fricção ou indução.

22-25. A transformação de energia mecânica em energia química, indiretamente, através da transformação de determinada energia em eletricidade e calor.

Não são os fenômenos naturais que contradizem os princípios que estabelecemos aqui, mas os preconceitos, largamente disseminados e sancionados pelo tempo, assim como nossas impressões através dos sentidos primários, com sua evidência tão persuasiva, é que parecem contradizê-los. Chamamos como testemunha contra tais preconceitos a história de todas as ciências.

Ao mesmo tempo que reivindicamos para o movimento o direito de existir como uma entidade e de representar substancialidade, devemos negar incondicionalmente uma natureza material para o calor e a eletricidade. Pois não seria absurdo a natureza do movimento ou do deslocamento de uma massa em um fluido? Ou associar ora uma natureza imaterial ora uma natureza material ao mesmo objeto?

Digamos em voz alta a grande verdade: não há materiais imateriais! Percebemos que nossa luta é contra uma hipótese profundamente enraizada, canonizada pelas altas autoridades; com os imponderáveis pretendemos abolir os últimos resquícios dos deuses gregos do estudo da natureza. Mas sabemos também que a natureza, na simplicidade de sua verdade, é maior e mais majestosa do que qualquer estrutura construída pela mão do homem e que todas as ilusões criadas pela mente.

Em termos de concepções humanas o sol é uma fonte inexaurível de energia física. O fluxo dessa energia que se derrama sobre nossa Terra é a mola em expansão contínua que fornece o poder motor para as atividades terrestres. Tendo em vista a enorme quantidade de energia que a Terra emite continuamente para o espaço na forma de energia ondulatória, sua superfície em pouco tempo encontraria o frio da morte, não fosse o suprimento contínuo de energia. É a luz do Sol que, transformada em calor, produz movimentos em nossa atmosfera, eleva as águas da terra até as nuvens nas alturas, faz os rios correrem. O calor produzido nos moinhos de água e vento por atrito é enviado à Terra pelo Sol na forma de radiação.