

História da Física Clássica 2017

aula 7

calor – movimento ou fluido especial?

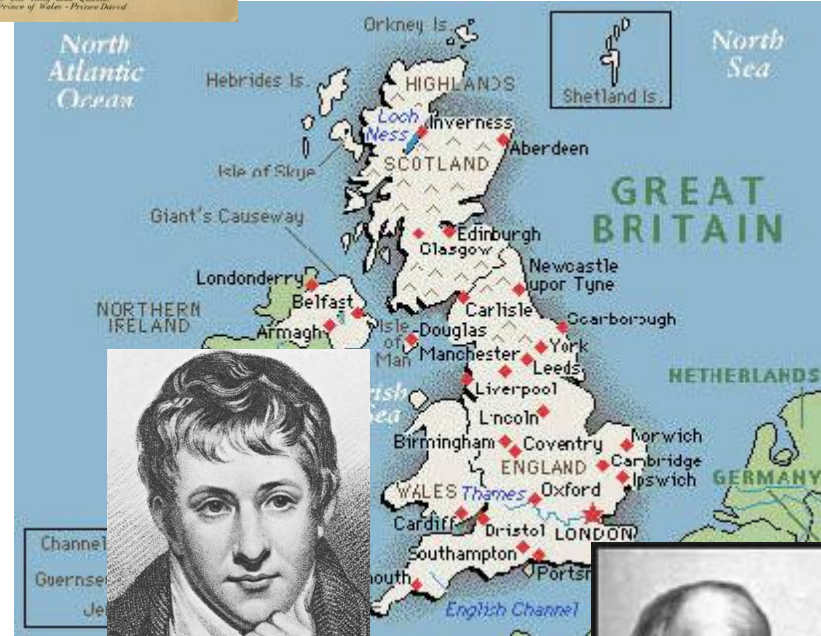


calor como energia
(incluindo a vida)

um empreendimento em tempos de Império Britânico e colonização do globo



Rumford



Davy



Joule



Mayer

Julius Robert Mayer,
im Gedächtnis des Verfassers von der Gründung der Physik.

Calórico x energia

- De onde vem o calórico no aquecimento por atrito?

Rumford (1753) e Davy (1778)

- Calor é uma forma de energia

Joule (1818) e Mayer (1814)



**Conde RUMFORD, nascido
BENJAMIN THOMPSON,**
na Nova Inglaterra

1753 -1814



-
- aprendiz no mercado de importações
- estudo de medicina
- aos 19, diretor de escola em Concord (antiga Rumford)
- carreira militar, toma partido dos ingleses (guerra da Independência) e parte para a Inglaterra
- *experimentos com pólvora – > admitido na Royal Society aos 26 anos*
- aos 30, convidado para assessor militar do governante da Bavária
 - Aumentou o soldo do exército, ofereceu educação gratuita aos soldados e a seus filhos, introduziu o trabalho de interesse público, nos intervalos de treinamento

“É certo que não há perigo maior, na investigação filosófica, do que acreditar que algo é verdadeiro, por mais inquestionável que pareça, até que tenha sido comprovado por experimentos diretos e decisivos.”

Texto sobre a convecção do calor, Collected Works

Queimando a boca com tortas de maçã e almôndegas, sopa quente-fria, termas, água do mar e areia....

Conclusão: líquidos e gases são não-condutores de calor. O calor os atravessa transportado por suas partículas, que agem individualmente e independentemente.

Uma investigação experimental acerca da fonte de calor excitada pelo atrito, texto lido perante a Royal Society, 1798

Trabalho com perfuração de canhões: aquecimento intenso, maior ainda das farpas que são retiradas

A quantidade de calor gerada pelo atrito é ilimitada - qual podia ser a fonte de calórico?

Humphry Davy (1778 - 1829)



- descobriu o gás do riso
- mestre de Faraday



Cornúália

nascido na Cornuália

aprendiz de cirurgião

aos 19 anos – Bristol – para estudar ciências - > estudo de gases

descoberta do “gás do riso” (óxido nítrico) -> convite para professor de Química na Instituição Real

suas aulas tornam-se sucesso na sociedade da moda londrina (Faraday)

usa a bateria de Volta (de 1800) -> eletrólise -> isola potássio, sódio, cálcio, estrôncio e magnésio

cavaleiro em 1812, ganha medalha de Napoleão em 1813

carta dos mineiros de NewCastle (1815): lâmpada utilizada no capacete incendiava o gás metano -> lâmpada de Davy In 1815

presidente da Royal Society – 1820-1827

"Ensaio sobre o Calor, a Luz e Combinações de Luz", de Humphry Davy (1799)

Que propriedades do calórico Davy descreve?

Que possibilidades Davy vê para o “surgimento” de calórico no atrito?

"Ensaio sobre o Calor, a Luz e Combinações de Luz", de Humphry Davy

A matéria tem o poder da atração. Através deste poder, as partículas tendem a se aproximar..... As partículas de todos os corpos que conhecemos podem tornar-se mais próximas umas das outrasse diminuimos suas temperaturas..... Deve haver sobre os corpúsculos dos corpos um outro poder que impede o seu contacto; podemos chamá-lo de repulsão. Os fenômenos da repulsão têm sido explicados pela maior parte dos filósofos químicos em termos de um fluido elástico peculiar, ao qual tem sido dado o nome de ... calórico. Os ...corpos sólido, fluido e gasoso dependem, de acordo com os caloristas, da quantidade de fluido que entra em sua composição; esta substância se insinua por entre os corpúsculos e os separa....

Já outros filósofos,atentos à geração de calor por atrito e percussão, propõe que ele [calor] seja movimento.

Os Fenômenos da Repulsão Não Dependem de um Fluido Elástico Peculiar para Sua Existência, ou O Calórico Não Existe



“As temperaturas dos corpos são aumentadas uniformemente através do atrito e da percussão. Como...[?].....

*Em primeiro lugar, a razão pode ser uma **diminuição das capacidades [térmicas] dos corpos ...induzida** nos mesmos **pelo atrito**, uma mudança que produz um aumento de temperatura.*

*Em segundo lugar, o aquecimento poderia ser resultante da **decomposição do gás oxigênio do meio, ...***

*Em terceiro lugar, o da comunicação de calórico dos corpos em contato produzida por uma mudança induzida pelo atrito, mudança que **torna os corpos atratores de calor dos corpos ao redor.***

"Ensaio sobre o Calor, a Luz e Combinações de Luz", de Humphry Davy (1799)

Qual é o experimento 1 e como o analisa Davy?

Qual é o experimento 2 e como o analisa Davy?



Experimento I

“Procurei dois paralelepípedos de gelo....de seis polegadas de comprimento, duas de largura e dois terços de espessura, que foram amarrados por arames a duas barras de ferro. Suas superfícies [do gelo] foram colocadas em contato....e então esfregadas violenta e continuamente por alguns minutos. Eles foram quase integralmente convertidos em água.

...de acordo com nossa suposição, **sua capacidade [térmica] é diminuída. Entretanto, é um fato conhecido que a capacidade [térmica] da água para o calor é muito maior do que a do gelo**, e que o gelo precisa de uma certa quantidade de calor para ser convertido em água. Segue que o atrito não diminui as capacidades dos corpos para o calor.

Este experimento torna evidente também que **o aumento de temperatura devido ao atrito não pode ser uma consequência da decomposição do gás oxigênio** no entorno, pois o gelo não tem atração pelo oxigênio....”

Experimento II



“Procurei um mecanismo de relógio construído para funcionar em um receptor rarefeito. Uma das rodas externas do mecanismo foi colocada em contato com uma lâmina metálica. O atrito entre a roda e a placa metálica produzia uma considerável quantidade de calor sensível, devido ao atrito, quando a máquina trabalhava sem isolamento dos corpos capazes de transmitir calor. Procurei então um pequeno pedaço de gelo e em sua superfície superior cavei um pequeno canal que enchi de água. A máquina foi colocada sobre o gelo, sem contato com a água. Assim dispostos, os dois foram colocados sob o receptor...[no qual]... acredito, foi feito um vácuo quase perfeito.

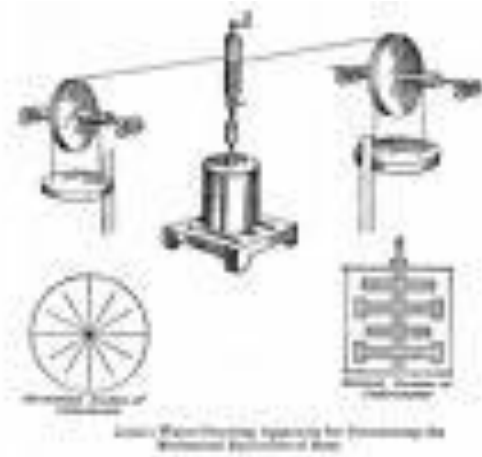
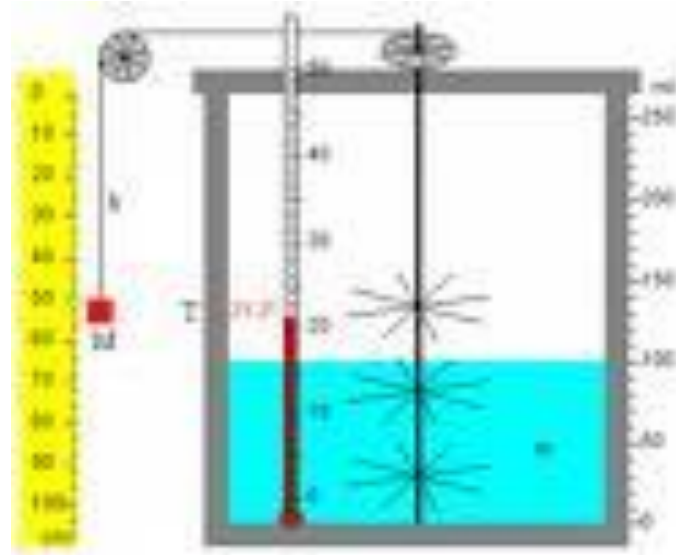
A máquina foi colocada em funcionamento. A cera derreteu rapidamente, denunciando o aumento de temperatura.”

“...o calórico foi transmitido pelos corpos em contato com a máquina. Neste experimento, o gelo era o único corpo em contato com a máquina. Se o calórico fosse proveniente do gelo, a água sobre ele deveria ter congelado. A água sobre o gelo não congelou, portanto o gelo não pode ter fornecido o calórico. **O calórico não pode ter vindo dos corpos em contato com o gelo, pois se o calórico passasse pelo gelo para chegar à máquina, o gelo seria convertido em água.**

O calor, portanto, quando produzido por atrito, não pode ser proveniente dos corpos do entorno...



Como os corpos se expandem sob o atrito, é evidente que seus corpúsculos devem se mover, separando-se uns dos outros. Então o movimento ou vibração dos corpúsculos dos corpos são necessariamente gerados por atrito ou percussão. É razoável concluir que este movimento ou vibração é calor, ou poder de repulsão ...”



Joule - **James Prescott Joule** (1818-1889) Salford-Inglaterra
filho de produtor de cerveja

estudos em casa com tutor

2 anos com J Dalton - aritmética e geometria

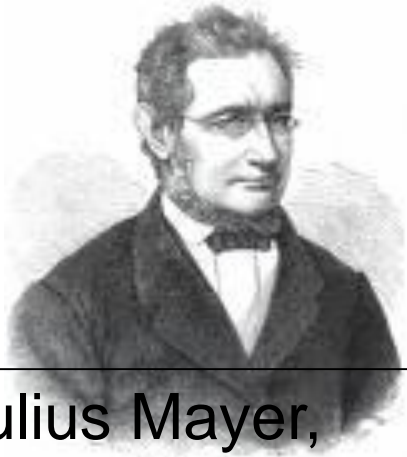
motor elétrico – motor a vapor

produção de calor nos motores

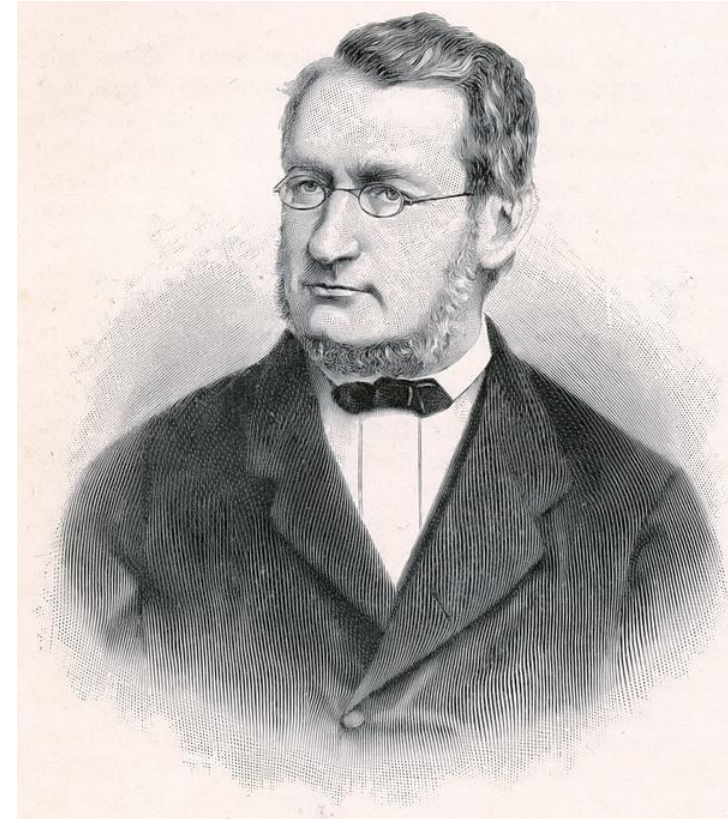


$$Q=I^2Rt$$





Julius Mayer,
Heilbron, Alemanha,
1814-1878



"Os movimentos dos organismos e sua relação com o metabolismo. Um ensaio em ciências naturais", de Julius Robert Mayer (1845)

Qual a principal ideia perseguida por Mayer?

"Os movimentos dos organismos e sua relação com o metabolismo. Um ensaio em ciências naturais", de Julius Robert Mayer (1845)

de física e biologia

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....**

No estudo dos movimentos orgânicos, o fosso entre a física matemática e a fisiologia ... é facilmente perceptível..... 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.

conservação de matéria e conservação de energia

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-energia. **A única missão da física é conhecer a força-energia 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. Em uma e em outra nada ocorre sem a variação na forma da força!

do movimento e da gravidade

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

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 **elevantar 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.

ainda do movimento e da gravidade

Galileu

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.

Newton

Leibniz

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.

Aristóteles Descartes

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.

"Os movimentos dos organismos e sua relação com o metabolismo. Um ensaio em ciências naturais", de Julius Robert Mayer (1845)

Descreva o experimento hipotético que Mayer propõe para comparar a energia do calor com a energia gravitacional.

Compare a “caloria de Mayer” com a “caloria de Joule”.

do calor

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**

comparando energia térmica e gravitacional

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.

ainda comparando energia térmica e gravitacional

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 Delaroche 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.**

energia química

Aprendemos, acima, a considerar a separação espacial de uma massa da Terra como uma forma de energia. Uma grama de massa a uma distância infinita da Terra, ou, como preferimos dizer, a uma separação mecânica infinita da Terra, representa uma forma de energia. O consumo dessa energia através da reunião mecânica destas duas massas leva à produção de uma outra forma de energia: o movimento de uma grama de massa com velocidade de 34,450 pés por segundo. O consumo dessa energia de movimento pode aquecer uma grama de água de 14,987 C.

ainda energia química

A experiência nos ensina que a combinação química de certos materiais, como também a junção mecânica de massas, pode levar ao mesmo efeito, em termos de energia, isto é, ao surgimento de calor. A presença de substâncias quimicamente diferentes, ou melhor, diferenças químicas de diferentes porções da matéria constituem uma fonte de energia.

A combinação química de 1 grama de carbono e 2,6 gramas de oxigênio é aproximadamente equivalente, em ordem de grandeza, à junção mecânica de uma partícula de massa 0,5 gramas e a Terra. No primeiro caso, são produzidas 8500 calorias de calor, e, no segundo, 7400 calorias. A combinação química de 1 grama de hidrogênio com 8 gramas de oxigênio (se supomos, com Dulong, que o calor de combustão do hidrogênio é 34,743 calorias por grama) é equivalente, em ordem de grandeza, à junção de uma massa de 2 gramas com a Terra. No primeiro caso, há a produção de 34.700 calorias, aproximadamente. No segundo caso, são produzidas aproximadamente 30.000 calorias.

Lei geral

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.

Energia potencial (devida à gravidade) (força-de-queda)

Energia de movimento

Simples

Vibracional

Calor

Magnetismo

Eletricidade (corrente galvânica)

Separação química de certos materiais Energia química

Combinação química de outros materiais

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

o Sol...

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.

Próxima aula

Preparar apresentação de 5 minutos sobre

- Experimento de Torricelli (diurno-; noturno)
- Teoria cinética versão mais simples (diurno-; noturno)



**Conde RUMFORD, nascido
BENJAMIN THOMPSON,**
na Nova Inglaterra

1753 -1814



-
- aprendiz no mercado de importações
- estudo de medicina
- aos 19, diretor de escola em Concord (antiga Rumford)
- carreira militar, toma partido dos ingleses (guerra da Independência) e parte para a Inglaterra
- *experimentos com pólvora – > admitido na Royal Society aos 26 anos*
- aos 30, convidado para assessor militar do governante da Bavária
 - Aumentou o soldo do exército, ofereceu educação gratuita aos soldados e a seus filhos, introduziu o trabalho de interesse público, nos intervalos de treinamento

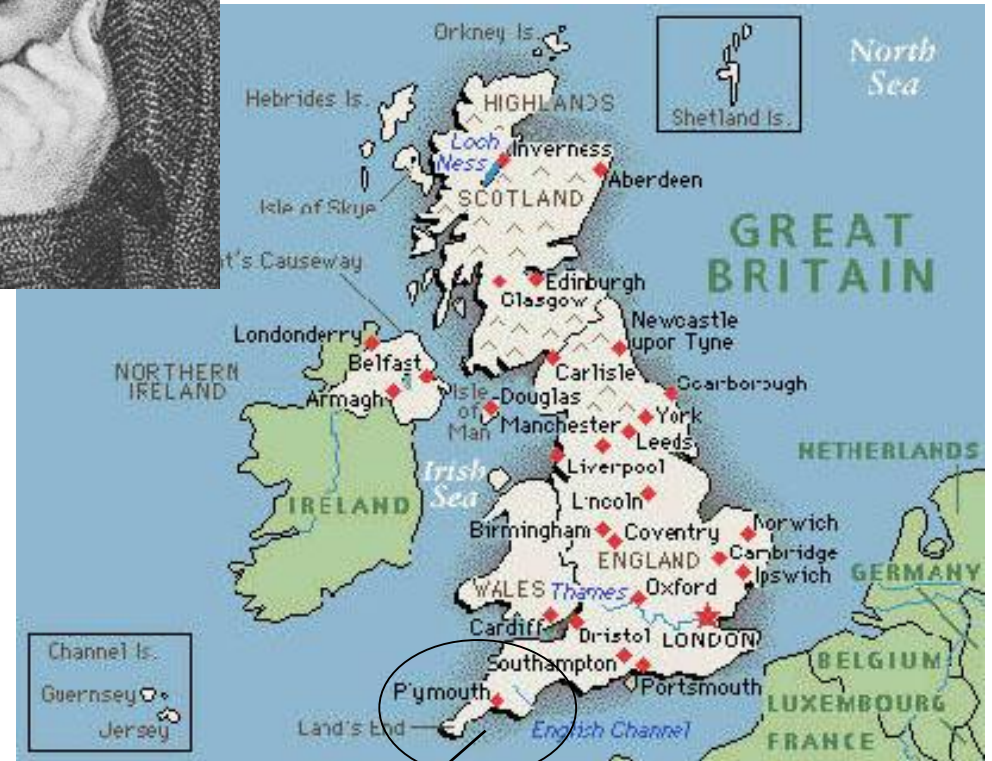
Uma investigação experimental acerca da fonte de calor excitada pelo atrito

A quantidade de calor gerada pelo atrito é ilimitada – qual podia ser a fonte de calórico?

Humphry Davy (1728 - 1799)



- descobriu o gás do riso
- mestre de Faraday



Cornuália

nascido na Cornuália

aprendiz de cirurgião

aos 19 anos – Bristol – para estudar ciências - > estudo de gases

descoberta do “gás do riso” (óxido nítrico) -> convite para professor de Química na Instituição Real

suas aulas tornam-se sucesso na sociedade da moda londrina (Faraday)

usa a bateria de Volta (de 1800) -> eletrólise -> isola potássio, sódio, cálcio, estrôncio e magnésio

cavaleiro em 1812, ganha medalha de Napoleão em 1813

carta dos mineiros de NewCastle (1815): lâmpada utilizada no capacete incendiava o gás metano -> lâmpada de Davy In 1815

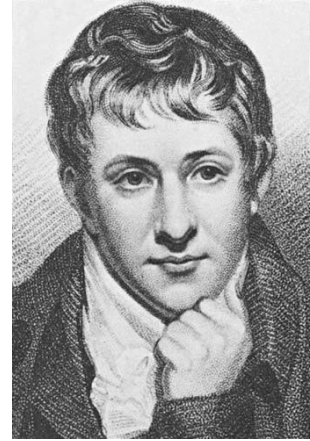
presidente da Royal Society – 1820-1827

"Ensaio sobre o Calor, a Luz e Combinações de Luz", de Humphry Davy

A matéria tem o poder da atração. Através deste poder, as partículas tendem a se aproximar..... As partículas de todos os corpos que conhecemos podem tornar-se mais próximas umas das outrasse diminuimos suas temperaturas..... Deve haver sobre os corpúsculos dos corpos um outro poder que impede o seu contacto; podemos chamá-lo de repulsão. Os fenômenos da repulsão têm sido explicados pela maior parte dos filósofos químicos em termos de um fluido elástico peculiar, ao qual tem sido dado o nome de ... calórico. Os ...corpos sólido, fluido e gasoso dependem, de acordo com os caloristas, da quantidade de fluido que entra em sua composição; esta substância se insinua por entre os corpúsculos e os separa....

Já outros filósofos,atentos à geração de calor por atrito e percussão, propõe que ele [calor] seja movimento.

Os Fenômenos da Repulsão Não Dependem de um Fluido Elástico Peculiar para Sua Existência, ou O Calórico Não Existe



“As temperaturas dos corpos são aumentadas uniformemente através do atrito e da percussão. Como...[?].....

*Em primeiro lugar, a razão pode ser uma **diminuição das capacidades [térmicas] dos corpos ...induzida** nos mesmos **pelo atrito**, uma mudança que produz um aumento de temperatura.*

*Em segundo lugar, o aquecimento poderia ser resultante da **decomposição do gás oxigênio do meio, ...***

*Em terceiro lugar, o da comunicação de calórico dos corpos em contato produzida por uma mudança induzida pelo atrito, mudança que **torna os corpos atratores de calor dos corpos ao redor.***



Experimento I

“Procurei dois paralelepípedos de gelo....de seis polegadas de comprimento, duas de largura e dois terços de espessura, que foram amarrados por arames a duas barras de ferro. Suas superfícies [do gelo] foram colocadas em contato....e então esfregadas violenta e continuamente por alguns minutos. Eles foram quase integralmente convertidos em água.

...de acordo com nossa suposição, **sua capacidade [térmica] é diminuída. Entretanto, é um fato conhecido que a capacidade [térmica] da água para o calor é muito maior do que a do gelo**, e que o gelo precisa de uma certa quantidade de calor para ser convertido em água. Segue que o atrito não diminui as capacidades dos corpos para o calor.

Este experimento torna evidente também que **o aumento de temperatura devido ao atrito não pode ser uma consequência da decomposição do gás oxigênio** no entorno, pois o gelo não tem atração pelo oxigênio....”

Experimento II



“Procurei um mecanismo de relógio construído para funcionar em um receptor rarefeito. Uma das rodas externas do mecanismo foi colocada em contato com uma lâmina metálica. O atrito entre a roda e a placa metálica produzia uma considerável quantidade de calor sensível, devido ao atrito, quando a máquina trabalhava sem isolamento dos corpos capazes de transmitir calor. Procurei então um pequeno pedaço de gelo e em sua superfície superior cavei um pequeno canal que enchi de água. A máquina foi colocada sobre o gelo, sem contato com a água. Assim dispostos, os dois foram colocados sob o receptor...[no qual]... acredito, foi feito um vácuo quase perfeito.

A máquina foi colocada em funcionamento. A cera derreteu rapidamente, denunciando o aumento de temperatura.”

“...o calórico foi transmitido pelos corpos em contato com a máquina. Neste experimento, o gelo era o único corpo em contato com a máquina. Se o calórico fosse proveniente do gelo, a água sobre ele deveria ter congelado. A água sobre o gelo não congelou, portanto o gelo não pode ter fornecido o calórico. **O calórico não pode ter vindo dos corpos em contato com o gelo, pois se o calórico passasse pelo gelo para chegar à máquina, o gelo seria convertido em água.**

O calor, portanto, quando produzido por atrito, não pode ser proveniente dos corpos do entorno...



Como os corpos se expandem sob o atrito, é evidente que seus corpúsculos devem se mover, separando-se uns dos outros. Então o movimento ou vibração dos corpúsculos dos corpos são necessariamente gerados por atrito ou percussão. É razoável concluir que este movimento ou vibração é calor, ou poder de repulsão ...”