

“A Natureza do Calor”

em *“Palestras sobre os Elementos da Química, proferidas na Universidade de Edinburgo”*, 1766-1797, publicadas em 1807

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

Sobre o Calor em Geral

Para que este extenso assunto possa ser tratado útil, eu proponho

1. definir o que quero dizer com a palavras CALOR, nestas palestras;
2. explicar o significado do termo frio, e estabelecer a diferença real entre frio e calor;
3. mencionar algumas tentativas que têm sido empreendidas para descobrir a natureza do calor, ou formar uma idéia de que pode ser sua causa imediata;
4. e por último, eu iniciarei a descrição dos efeitos sensíveis produzidos pelo calor sobre os corpos aos quais ele é comunicado.

Qualquer pessoa que reflita sobre as ideias que associamos à palavra calor perceberá que essa palavra é usada com dois significados, ou para expressar duas coisas diferentes. Ela pode significar uma sensação estimulada em nossos órgãos, ou uma certa qualidade, ou efeito, ou condição dos corpos em nosso entorno, através da qual eles provocam em nós essa sensação [de calor]. A palavra é utilizada com o primeiro significado quando dizemos que sentimos calor; e com o segundo, quando dizemos que há calor no fogo, ou em uma pedra quente. Não pode haver uma sensação de calor no fogo, ou na pedra quente, mas a matéria do fogo, ou da pedra, encontra-se em um estado que provoca em nós a sensação de calor.

Neste estudo do calor e seus efeitos proponho usar esta palavra apenas com o segundo sentido, isto é, em que ela expressa o estado, condição, ou qualidade da matéria que provoca em nós a sensação de calor. Essa idéia de calor será um pouco modificada, e também estendida, na medida em que prosseguirmos, mas o significado da palavra continuará, no fundo, o mesmo; a razão da modificação será facilmente entendida.

A experiência que temos com esta qualidade ou estado da matéria mostra que ela é a qualidade que mais facilmente é comunicada de um corpo a outro, entre as que conhecemos. Os corpos quentes não podem ser colocados em contato ou na vizinhança de corpos frios sem comunicar a eles uma parte de seu calor.

Quando retiramos um pedaço de ferro quente do fogo, como podemos impedir que comunique seu calor à matéria ao seu redor? Coloque-o no chão, ou sobre uma pedra, e ele rapidamente comunicará a eles uma parte de seu calor; coloque-o sobre madeira, ou algum outro material vegetal ou animal, que ele o aquecerá a tal ponto que ele se incendiará; suspenda-o no ar por uma corda, e com um pouco de atenção você se convencerá de que ele logo transmite o calor ao ar ao seu redor.

Assim, o calor está o tempo todo sendo comunicado dos corpos mais quentes aos corpos mais frios no seu entorno, e enquanto ele passa de um para outro, ele penetra todos os tipos de matéria sem exceção: a densidade e a compactação não parecem ser obstáculo, ao contrário, ele parece passar mais rápido para corpos densos do que para corpos rarefeitos. Tanto o rarefeito quanto o denso são afetados por ele, e o transmitem a outros corpos, e até o vácuo que se forma na bomba de ar é preenchido por ele [calor]. Foi Sir Isaac Newton o primeiro a percebê-lo, através de um experimento. Ele pendurou um instrumento para medir calor em um grande recipiente de vidro de onde retirou o ar;

pendurou um [outro] instrumento semelhante, em outro vidro igual ao primeiro, mas sem evacuá-lo. Notou então que ambos eram afetados pelas variações de calor (Óptica de Newton, questão 18).

Bem mais tarde, alguns experimentos sobre o mesmo tema foram realizados pelo famoso Dr. Franklin e alguns amigos, em Paris. Eles penduraram um corpo quente sob o receptor de uma bomba de ar e outro corpo, semelhante e igualmente quente, na atmosfera da sala próxima à bomba de ar, de modo que os dois mostrassem precisamente as variações de calor que sofriam. Percebeu-se que ambos perdiam gradualmente parte de seu calor, até que atingiam a temperatura da sala na qual o experimento estava sendo feito, mas o que estava pendurado no ar perdia calor mais rapidamente do que aquele que estava suspenso no vácuo.

Os termômetros caíram de 60 (Reamur*)

	NO VÁCUO	NO AR
Para 50	em 17 min	em 7 min
37	54	22
30	85	29
20	167	63

Os tempos de resfriamento estão aproximadamente na razão de 5 para 2. Isto é confirmado por outros experimentos feitos por Benjamin Thompson (Phil Trans. para o ano de 1786).

Sir Isaac Newton pensou que estes experimentos provavam que o vácuo da bomba de ar não é perfeito, mas que há nele uma matéria sutil através da qual o calor é transmitido. Essa opinião provavelmente fundamentava-se em uma associação geral em nossas mentes entre calor e matéria; pois quando pensamos no calor, sempre imaginamos que está residindo em algum tipo de matéria; ou talvez essa noção de Sir Isaac estivesse fundada em alguma opinião que ele tenha formado a respeito da natureza do calor.

No entanto, há razão em acreditar que o vácuo da bomba de ar não é perfeito, independentemente deste experimento, como também para pensar que há alguma matéria sutil, ou vapor, presente nele [vácuo]; mas eu posso imaginar facilmente, e nós veremos abundantes razões para acreditar que o calor pode ser transmitido ou passado através do vácuo, ou através do espaço vazio de qualquer matéria.

Desta maneira, portanto, o calor é comunicado de corpos mais quentes para corpos mais frios quando os dois estão em contato, ou se estão próximos entre si; e a comunicação continua até que os corpos se encontrem a uma mesma temperatura, indicando o equilíbrio de calor entre os dois.

Quando consideramos essa transmissão de calor de corpos quentes para corpos frios, a primeira questão que vem à nossa mente, é: como é que estes corpos agiram um sobre o outro, nesse vento? Será que um deles perdeu alguma coisa, enquanto o outro ganhou? E qual deles perdeu, ou qual ganhou?

A opinião comum é que o corpo quente perdeu algo que se acrescentou ao corpo frio. Aqueles que raciocinaram mais profundamente sobre a natureza do calor concordam com a maioria sobre este ponto; e supõem que o calor é uma qualidade positiva que depende, ou de uma matéria sutil e extremamente ativa que se introduz nos poros dos corpos, ou de um tremor ou vibração de suas partículas constituintes, ou de partículas de uma substância particular que estão presentes em todos os corpos. Supõem também que esta matéria sutil, ou o movimento de tremor, seja comunicado do corpo quente ao corpo frio, de acordo com nossa experiência geral de transmissão de matéria ou de movimento.

Muitos filósofos concordam com a noção comum em relação ao calor, de que [o calor] seria uma qualidade positiva, ou que [o calor] é um poder ativo que reside nos corpos quentes através do qual aqueles [corpos quentes] agem sobre corpos frios. Entretanto, há

alguns [filósofos] que não têm sido consistentes nesta opinião. Eles não a utilizam em todos os casos em que corpos de diferentes temperaturas agem uns sobre os outros. Em alguns casos eles supõem que o corpo frio é que é a massa *ativa*, ou que contém matéria *ativa*; e que o corpo quente é o corpo passivo sobre o qual existe ação, ou no qual alguma coisa é introduzida. Quando se coloca na mão quente um pedaço de gelo, ou um pedaço de ferro muito frio, ao invés de haver transmissão da mão quente para o gelo, ou para o ferro frio, o que ocorre, segundo eles, é o seguinte: no gelo, ou no ferro frio, há uma multidão de partículas de gelo, ou partículas frigoríficas, que têm uma tendência a passar de corpos muito frios para corpos que estão menos frios. E muitos efeitos, ou consequências do frio, especialmente o congelamento de fluidos, dependeria da ação destas partículas frigoríficas. Eles as denominam *Speculae*, ou pequenas flechas, imaginando que esta forma explicará aquela sensação aguda e dolorosa, bem como outros efeitos do frio intenso.

No entanto, este é o trabalho da imaginação, sem base alguma.

Para termos um julgamento bem embasado deste assunto, devemos deixar de lado todos os preconceitos e suposições acerca da natureza do frio e do calor e nos colocarmos a seguinte questão simples: De onde vêm estas duas qualidades dos corpos, aparentemente diferentes - quais são as fontes do calor e do frio? Nos ocorre, imediatamente, que o calor tem uma fonte (ou causa) óbvia no Sol e em incêndios. Evidentemente o Sol é a fonte principal, e talvez única, do calor que difunde através do globo. Quando brilha o Sol, sentimos que ele nos aquece, e não podemos deixar de observar que aquece também todas as coisas ao nosso redor. É claro também que as estações mais quentes são aquelas em que ele brilha mais, assim como são mais quentes os climas mais diretamente expostos à sua luz. Quando o Sol desaparece, o calor torna-se menos intenso, e diminui proporcionalmente ao tempo durante o qual sua influência é interceptada. Devemos então reconhecer que o Sol é a causa manifesta que age sobre toda a matéria ao nosso redor, introduzindo alguma coisa nela, ou levando-a a uma condição que não é o seu estado espontâneo. Não podemos evitar pensar que esta nova condição, ou o calor, é uma qualidade positiva, ou um efeito real, cuja causa primeira é o Sol, e que depois é comunicada a outros corpos.

Tendo chegado a esta conclusão, onde vamos buscar uma causa primeira ou uma fonte para o frio? Sou ignorante de qualquer causa do frio que não seja a ausência ou a ação diminuída do Sol, ou então a ação de ventos que vem de regiões onde sua luz [do Sol] tem seu poder mais fraco. Assim, não vejo razão para entender o frio como algo diferente da diminuição de calor. Os átomos frigoríficos, ou partículas de gelo, que se supõe são trazidos pelos ventos frios, são de todo imaginários. Não temos a menor evidência de sua existência, e não necessitamos desta ficção para explicar qualquer dos fenômenos ao qual foram atribuídos.

Algumas pessoas acharão difícil se abster do preconceito de que o frio age de forma positiva. Estas pessoas apelarão para nossas sensações, que não nos deixam enganar quanto a provas significativas da existência tanto do frio como do calor. Quando tocamos uma pedra de gelo, sentimos claramente que ela tem uma qualidade de frio, assim como o ferro quente tem uma qualidade de calor.

Examinemos o que entendemos por qualidade de frio. É uma qualidade ou condição pela qual o gelo produz uma sensação desagradável na mão que o toca. A essa sensação damos o nome de frio, e a consideramos contrária a do calor, e tão real quanto ela. Até aí estamos certos. A sensação de frio em nossos órgãos é sem dúvida tão real quanto a de calor. Mas se então concluimos que ele é produzido por uma causa positiva ou ativa, uma emanção do gelo para os nossos órgãos, ou qualquer coisa que não seja uma diminuição do calor, aí estaremos tirando uma conclusão apressada. Podemos nos convencer disto

através de vários experimentos. Podemos, por exemplo, tomar uma certa quantidade de água e levá-la a um estado que possa parecer quente para uma pessoa, frio para outra, e nem quente nem frio para uma terceira; a primeira pessoa deve preparar-se para o experimento mergulhando sua mão em água fria imediatamente antes; a segunda, mergulhando sua mão em água quente, ou então deve estar com calor febril em seu sangue; e a mão da terceira pessoa deve estar em seu estado natural, sendo que a água preparada para o experimento deve estar morna. E até para uma mesma pessoa esta água pode parecer quente, se tocada com uma mão, e fria, se tocada com outra. É necessário concluir destes fatos que nossas sensações de frio e quente não dependem de duas causas ativas diferentes, ou de duas qualidades positivas diferentes dos corpos que provocam estas duas sensações, mas de certas diferenças de calor entre estes corpos e nossos órgãos. E, em geral, todo corpo que parece quente quando tocado está mais aquecido que a mão, e transmite calor a ela; e todo corpo que está menos aquecido do que a mão, e que subtrai calor da mão que o toca, parece frio, ou é chamado de frio. A sensação é em alguns casos agradável, em outros desagradável, de acordo com a intensidade e com o estado de nossos órgãos; mas ela provém sempre da mesma causa, qual seja, a transmissão de calor de outros corpos aos nossos órgãos, ou dos [nossos] órgãos para eles. Não é mais do que razoável esperar que a sensação associada à introdução da causa do calor, seja ela qual for, em nosso corpo, seja diferente da sensação de emissão de calor por ele? As sensações de fome e de saciamento são igualmente diferentes.

Ao lado da sensação desagradável no contato com o gelo, o próprio congelamento da água tem levado muitos a acreditar na existência de partículas frigoríficas. Imaginam eles que a água seja essencialmente fluida, e que sua fluidez é uma consequência da forma de suas partículas, que seriam redondas e polidas; pensaram então, que para dar-lhe solidez deveria existir um agente poderoso que pudesse perverter seu estado natural. Atribuíram este agente aos átomos frigoríficos, angulares e pontudos, com a forma de cunhas, que, introduzidos entre os átomos da água, os enroscariam e os fixariam uns aos outros.

Mas isto é tudo imaginação e ficção. Não temos nenhuma prova de que as partículas da água sejam redondas, ou uma boa razão para imaginarmos que tenham esta forma. Um conjunto de pequenos corpos redondos, por mais lisos e polidos que fossem, não teria as propriedades tão bem conhecidas da água; e a suposição de que a fluidez seja uma qualidade natural ou essencial da água é um grande equívoco, decorrente do fato de que, nestas partes do mundo, a vemos mais frequentemente fluida do que sólida. Em outras partes do mundo, o seu estado mais comum ou natural é o estado sólido; há partes do globo onde ela é raramente, ou mesmo nunca, vista na fase fluida; e os dois estados da substância, assim como de outros corpos, depende do grau de calor ao qual ela foi exposta. O gelo puro nunca derrete, a não ser que o aqueçamos acima de um certo grau; e se resfriarmos água pura até este mesmo grau, ou abaixo dele, é seguro que mais cedo ou mais tarde vamos vê-la toda congelada.

São estes dois fatos, apenas, a sensação que temos do frio, e o congelamento da água, que sustentam a crença nos átomos frigoríficos da parte daqueles que adotaram esta opinião.

.....

Temos, portanto, razão para concluir que quando corpos aquecidos em graus diferentes são aproximados entre si, é sempre o corpo mais quente, ou menos frio, que atua sobre o outro, e transmite a ele algo real que chamamos calor. O frio é apenas a falta de calor. É o estado mais apropriado para a matéria comum, o estado em que esta ficaria se deixada por si mesma, se não fosse afetada por uma causa externa. O calor é obviamente algo estranho à matéria. Ele é algo adicionado à matéria comum, ou é alguma alteração da mesma [matéria] em relação a seu estado mais espontâneo.

Tendo atingido esta conclusão, espera-se, talvez, que eu, em seguida, expresse mais claramente o que é este algo; espera-se que eu dê uma descrição ou definição completa do que quero expressar com a palavra calor na matéria.

Esta exigência eu não posso satisfazer inteiramente. Mas mencionarei a hipótese que me parece mais provável. Nosso conhecimento do calor ainda não atingiu o estado de perfeição que nos permita propor confiantemente uma teoria do calor, ou indicar qual a sua causa. Foram feitas algumas tentativas engenhosas a respeito deste assunto, mas nenhuma delas é capaz de explicar o todo. Isso não nos deve deixar muito incomodados. Não é a forma de ação imediata, que depende da natureza essencial desta substância peculiar, ou a condição particular da matéria comum, que nos interessa mais. Ainda estamos distantes de um conhecimento químico suficientemente extenso que requer esta etapa para avançar. Temos diante de nós um amplo campo de pesquisa sobre fatos gerais e leis de ação, que constituem os objetos reais da ciência química pura, isto é, as diferentes propriedades dos corpos, e suas modificações sob a ação do calor e de misturas. E eu entendo que é somente quando estivermos próximos de completar um catálogo, que contenha um número suficiente de fatos semelhantes que nos levem a um conhecimento preciso sobre a maneira peculiar de agir dessa substância, ou desse estado modificado da matéria; quando atingirmos esse ponto, imagino que a descoberta será uma descoberta mecânica, e não química.

Acho que o primeiro a tentar foi Lord Verulam, seguido pelo Sr. Boyle, que muito dissertou sobre o calor. Em suas palestras sobre química, o Dr. Boerhave se aprofundou no assunto, e melhorou [as teorias] dos dois primeiros.

...

A única conclusão enunciada por ele [Lord Verulam] é muito geral: [ele afirma] que calor é movimento.

Essa conclusão é baseada em considerações sobre diversas situações nas quais o calor é produzido, ou surge, nos corpos; situações tais como a percussão do ferro, o atrito entre corpos sólidos, o choque entre pedra e aço.

O primeiro exemplo corresponde à prática de alguns ferreiros, na hora de acender o fogo; utilizam uma haste de ferro doce, de um centímetro de espessura, ou menos, que apoiam por uma ponta no cadinho, e golpeiam forte com um martelo, virando rapidamente de um lado para o outro. A haste fica quente e vermelha e pode ser utilizada para acender lascas de madeira ou qualquer outro material altamente combustível.

É comum o calor produzido por grande atrito entre corpos sólidos em partes de máquinas pesadas, quando não há o cuidado de diminuir o atrito o máximo possível por meio de substâncias lubrificantes, como no caso de eixos muito pesados, ou sob carga muito pesada. Há relatos de incêndios em florestas iniciados pelo atrito entre galhos de árvores em dias de tempestade. Em diferentes partes do mundo, os selvagens recorrem ao atrito entre pedaços de madeira para acender o fogo. ...

O terceiro exemplo, do choque entre aço e pedra, é universalmente conhecido.

Em todos esses exemplos, o calor é produzido, ou aparece subitamente, em corpos que não o receberam da forma usual de transferência [de calor] de outros corpos, e a única causa de sua produção é uma força mecânica ou um impulso, ou a violência mecânica.

Foi natural para Lord Verulam chegar a essa conclusão: talvez o único efeito da ação de uma força mecânica ou de um impulso sobre um corpo seja o de produzir algum tipo de movimento nesse corpo. Esse eminente filósofo tem um grande número de seguidores, com relação a esse tema.

Entretanto, sua opinião foi adotada com duas modificações diferentes.

A maioria dos filósofos ingleses imaginou que esse movimento estava nas pequenas partículas dos corpos aquecidos, que constituísse um rápido tremor, ou vibração, dessas partículas entre si. ... Reconheço que não consigo formar um conceito sobre tremor interno, de que explicaria os fenômenos mais simples do calor, ou os fenômenos que indicam a presença de calor num corpo. Penso que Lord Verulam e seus seguidores se contentam com a leve semelhança entre os efeitos mais simples do calor e as consequências legítimas de movimentos em tremor. Vejo também casos em que é possível produzir calor intenso, como na percussão, mas em outra situação semelhante tenho certeza de que o tremor interno é incomparavelmente menor. As marteladas que podem tornar muito quente um pedaço de ferro doce não produzem calor nenhum, se percutidas sobre um pedaço de aço muito elástico.

Mas um grande número de filósofos franceses e alemães, além do Dr. Boerhave, supõem que o movimento que constitui o calor não é um tremor, ou vibração das partículas do corpo quente, mas sim de partículas de uma matéria sutil, altamente elástica, fluida e penetrante, contida nos poros dos corpos quentes, ou interposta entre suas partículas: uma matéria que imaginam difundida em todo o universo, preenchendo facilmente os corpos mais densos; uma matéria que quando modificada de diferentes maneiras produz a luz e os fenômenos da eletricidade, segundo a hipótese de alguns.

Nenhuma dessas hipóteses foi examinada cuidadosamente por seus autores, ou aplicada para explicar os diversos fatos e fenômenos relacionados com o calor. Portanto, eles não nos ofereceram uma *teoria* verdadeira ou uma *explicação* da natureza da luz.

Uma tentativa mais engenhosa foi feita, recentemente, pelo Dr. Cleghorn, em sua dissertação inaugural.... Ele supõe que o calor depende da abundância da matéria elástica fluida e sutil que outros filósofos imaginaram estar presente em todo o universo e que seria a causa do calor. Mas esses outros filósofos supunham, ou assumiam, que a propriedade de grande elasticidade, ou de forte repulência entre suas partículas, pertencia apenas a essa matéria sutil; já o Dr. Cleghorn supunha que ela possuía uma outra propriedade, qual seja a forte atração por partículas de outros tipos de matéria na natureza, que, por sua vez, se atraem com maior ou menor intensidade entre si. Ele supõe que os tipos mais comuns de matéria são constituídos de partículas que se atraem, ou de partículas que se atraem fortemente entre si, e pela matéria do calor; ao passo que a matéria elástica e sutil do calor é auto-repelente, sendo que suas partículas sentem forte repulsão entre si, ao mesmo tempo que são atraídas por outros tipos de matéria, com diferentes intensidades.

Essa opinião, ou suposição, pode ser aplicada para explicar muitos dos fatos impressionantes relacionados com o calor; e está de acordo com os experimentos do Dr. Franklin e do Dr. Thomson que mencionamos antes. Pois em situações em que há muito pouco da matéria comum, como no vácuo de uma bomba de ar, esperamos encontrar a matéria do calor extremamente rarefeita, como resultado de sua elasticidade e forte auto-repulsão, que, nesse caso, não é contrabalançada pela atração da matéria comum.

Assim, um corpo frio colocado no vácuo recebe calor, ou a matéria do calor, mais lentamente, em comparação com a situação em que é colocado em contato com matéria comum em estado denso, pois esta atrai a matéria do calor e condensa uma quantidade bem maior no mesmo espaço. Da mesma maneira, um corpo quente colocado no vácuo retém seu calor por mais tempo do que nas circunstâncias normais, devido à carência de matéria comum em contato [com o corpo quente]. Se houvesse matéria comum, o calor seria puxado [do corpo quente] muito mais rapidamente do que na situação em que não há nenhuma outra matéria além da matéria do calor.

Essa ideia da natureza do calor é a que eu vejo como a mais provável das que conheço; o dr Higgins fez uma tentativa engenhosa de emprega-la em seu livro sobre ácidos vegetais e outros assuntos. É, no entanto, uma suposição. Não posso, no presente momento, levar vocês a um entendimento da aplicação dessa teoria, ou a forma como se desenvolveu; a maioria de vocês não foi ainda apresentada aos efeitos do calor, e a diferentes fenômenos que essa teoria pretende explicar, nem com as descobertas que precederam essa teoria e que levaram a ela.

Nossa primeira preocupação deve ser, portanto, *o estudo dos fatos* que pertencem ao nosso tema, e nos deter sobre a forma pela qual o calor penetra diversos corpos, ou como se transmite de um corpo a outro, ao lado [do estudo] das consequências de sua penetração, ou seja, dos efeitos que produz nos corpos.

Se consideradas com atenção, essas especificidades nos levarão a um conhecimento e a informações mais adequadas sobre o tema... que, mais uma vez, vão permitir que você examine e compreenda as tentativas que tem sido feitas para explicar [o calor], que farão com que você seja capaz de julgá-las.

Quando nos atentamos aos efeitos produzidos nos corpos pelo calor a eles transmitidos, vemos que são diferentes em diferentes tipos de matéria. Mas há alguns efeitos que são produzidos em todos [os tipos de matéria], ou numa grande variedade de corpos, e de forma parecida ou com diferenças quase imperceptíveis, de forma que a semelhança de sua ação [do calor] é evidente. Isso é verdade particularmente em relação aos tipos mais simples de matéria, tais como água, sais, pedras, ar, e muitos outros. Os efeitos semelhantes que o calor produz sobre corpos de tipo mais simples podem ser considerados efeitos gerais do calor; podem portanto ser vistos de forma diferentes dos efeitos que ele [calor] produz apenas sobre certos corpos específicos.

Os efeitos *gerais* do calor são: EXPANSÃO, FLUIDEZ, VAPOR, IGNIÇÃO, ou INCANDESCÊNCIA e INFLAMAÇÃO OU COMBUSTÃO.