

Estrutura causal da descoberta do calor radiante

Oswaldo Pessoa Jr. *

1 A DESCOBERTA DO CALOR RADIANTE POR WILLIAM HERSCHEL

Em maio de 1799, o astrônomo hanoveriano-inglês William Herschel preparava-se para observar o trânsito de Mercúrio pelo Sol, e para tanto começou a investigar como adaptar, para seu telescópio refletor de 7 pés de comprimento, a prática de utilizar vidros coloridos para atenuar a luz solar. Desde os estudos de Marsilio Ladrioni (1776), Alexis-Marie de Rochon (1776) e Jean Senebier (1782), sabia-se que quando se pintava o bulbo de um termômetro com tintas de diferentes cores, diferentes temperaturas eram medidas sob a luz solar. Esse efeito térmico das cores foi também observado por Herschel, que notou que um par de filtros vermelhos atenuava bem a imagem solar mas não impedia uma irritação no olho causada pela “sensação de calor”. Já um filtro verde conseguia bloquear bem melhor a sensação de calor (Herschel, 1800a, pp. 273-83). Concluiu assim, em sua primeira comunicação sobre o assunto à *Royal Society*, em março de 1800, que “os raios prismáticos podem ter o poder de aquecer os corpos com distribuição muito desigual entre si” (*ibid.*, p. 257).

Montou então um experimento (Fig. 1) para investigar como as diferentes cores do espectro da luz solar, obtidos por refração em um prisma de vidro “flint” (resultante da adição de óxido de chumbo), aquecem um termômetro de mercúrio com bulbo escurecido. Observou, para sua surpresa, que o termômetro aquecia mesmo quando colocado para além da última faixa visível do vermelho. Concluiu que haveria um “calor radiante” (*radiant heat*) distinto da luz visível, que obedeceria às leis da refração, e cujo máximo na radiação solar se encontraria talvez na região escura para além da luz vermelha. “Neste caso, o calor radiante consistirá pelo menos em parte, senão principalmente, se me for permitido a expressão, de luz invisível; ou seja, de raios vindos do sol que têm um momento tal que os faz inadequados para a visão” (Herschel, 1800a, p. 273). Constatou a presença de tais “raios caloríficos” (*calorific rays*), distintos dos “raios coloríficos”, também em ferro aquecido até se tornar vermelho.

A partir do final do séc. XIX, tal radiação passou a receber o nome de “infravermelho”. Tal conceito é distinto do de “radiação térmica”, que designa qualquer radiação eletromagnética emitida por um corpo aquecido. Devemos notar também que a absorção de qualquer tipo de radiação eletromagnética (luz visível, infravermelho, ultravioleta, raio X, microonda, ondas de rádio, etc.) gera aquecimento, o que contribuiu para a dificuldade de se estabelecer a natureza do calor radiante.

Em um segundo trabalho, lido em abril, Herschel apresentou resultados de experimentos mais detalhados, com o equipamento da Fig. 1, e formulou a questão de se o calor radiante seria essencialmente distinto da luz visível. “Como resposta eu sugeriria que não nos é permitido, pelas regras do filosofar, admitir duas causas diferentes para explicar certos efeitos, se se puder dar conta deles com apenas uma” (Herschel, 1800b, p. 292). Lançou desta maneira a hipótese de que o calor radiante é de mesma natureza que a luz visível, só que menos “refrangível” (ou seja, o ângulo de desvio por refração, ao entrar em um prisma, é menor). Interpretou esta diferença como sendo devida ao maior momento (quantidade de movimento) das partículas associadas ao calor radiante.

* Departamento de Filosofia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo. Av. Prof. Luciano Gualberto, 315, 05508-900, São Paulo, SP, Brasil. E-mail: opessoa@usp.br

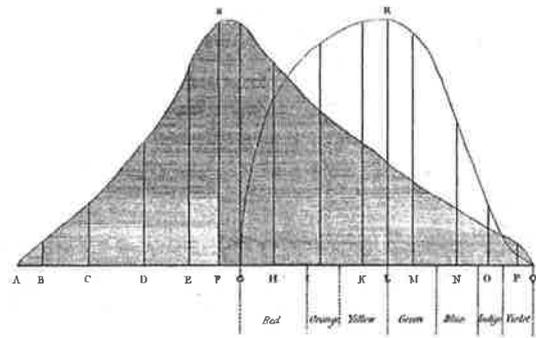
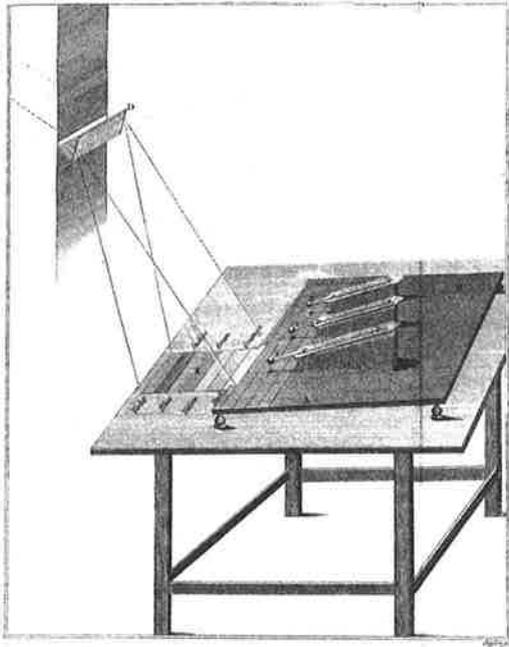


Figura 1. Experimento de decomposição da radiação solar por um prisma, e detecção de efeito térmico para além da faixa visível da luz vermelha (Herschel, 1800b, Gravura XI, p. 292).

Figura 2. Espectro de intensidade do calor radiante (sombreado) e da luz visível (sem preenchimento) (Herschel, 1800d, Gravura XX, p. 538).

No mesmo ano, concluiu mais dois trabalhos. Em abril, apresentou investigações sobre as propriedades de reflexão e refração do calor radiante de diferentes origens. O genebrino Marc-Auguste Pictet, entre outros, já tinha estudado o “calor obscuro” proveniente de fontes terrestres, como um forno (Chang & Leonelli, p. 482), e Herschel argumentou que este calor radiante e o proveniente do Sol eram de mesma natureza. No início do artigo, tomou o cuidado de distinguir o calor, que concebia como “vibrações” nas partes do corpo, do calor radiante, que seria melhor chamado de “raios que ocasionam calor”. Salientou também que sua concepção sobre os “raios caloríficos” era consistente com a teoria da luz como “vibrações de um éter elástico” (Herschel, 1800c, pp. 293-294).

Em seu quarto artigo, apresentado em novembro, realizou estudos de transmissão do calor radiante através de diferentes telas transparentes, além de um experimento em que concluiu que o foco do calor radiante que passa através de uma lente convexa é mais distante do que o foco da luz visível. Nos experimentos de transmissão, encontrou evidências de que as duas formas de radiação têm “diferenças substanciais” (Herschel, 1800d, pp. 437-41), levando-o a revisar sua concepção inicial de que ambas seriam de mesma natureza (e que difeririam apenas em sua refrangibilidade). Alguns materiais transmitem bem o calor radiante mas bloqueiam a luz visível, como uma placa de ferro, ao passo que outros materiais, como um vidro azul-esbranquiçado, transmitem melhor a luz visível (ver Chang & Leonelli, pp. 478-82). Essa diferença de comportamento é também manifesta nas curvas espectrais de intensidade para a radiação visível e a térmica (Fig. 2), que apresentam uma região de sobreposição central. Isso indicaria que a diferença entre essas formas de radiação não se limita à refrangibilidade.

2 DEBATE SOBRE A EXISTÊNCIA DO CALOR RADIANTE

A recepção do trabalho de Herschel foi boa, e estimulou o silesiano Johann Ritter em 1801 a descobrir “raios escuros” no outro lado do espectro, para além do violeta (hoje chamado “ultravioleta”). Ele não conseguiu detectar o efeito com termômetros, mas observou o escurecimento de sais de cloreto de prata. Este mesmo efeito foi descoberto independentemente por William Wollaston em 1802, que conjecturou se tratar de um terceiro tipo de radiação (além da luz e do calor radiante), que chamou “raios actínicos”.

Diversos cientistas buscaram reproduzir os experimentos de Herschel, e muitos questionaram os resultados e as interpretações do descobridor de Urano. Podemos dividir seus experimentos com a radiação calorífica em quatro grupos: (i) experimentos com prisma (Fig. 1); (ii) experimentos com espelhos; (iii) experimentos com lentes; (iv) experimentos de transmissão. Enfocaremos o primeiro grupo de experimentos, e faremos um resumo do debate a respeito da realidade dos invisíveis raios caloríficos.

O experimento com prisma foi repetido inicialmente pelo escocês John Leslie, em 1801, que não detectou a radiação invisível para além do vermelho. Concluiu assim que as observações de Herschel eram imprecisas, e que o aquecimento dos termômetros seria causado por luz refletida de outros objetos, por convecção de ar quente após longas exposições, ou pela dificuldade de definir os limites do espectro (Cornell, 1938, pp. 126-128).

Instaurada a dúvida, Thomas Young instruiu Henry Englefield a repetir o experimento em 1802, e este obteve resultados positivos, em acordo com Herschel. A discussão arrefeceu por alguns anos, até ressurgir na Alemanha, em 1807, com a repetição dos experimentos por E.F. Wünsch, da pequena universidade em Frankfurt an der Oder. Realizou experimentos detalhados envolvendo diferentes tipos de prismas, e concluiu que o calor radiante não existiria. Observou uma peculiar luz branca, nas duas extremidades do espectro, gerada a partir de prismas sólidos, que não teria sido levada em conta por Herschel e Englefield; estes também não teriam escurecido adequadamente o laboratório. Ritter, porém, interpretou os resultados de Wünsch como sendo consistentes com a existência de calor radiante invisível. Concomitantemente (1806-8), o estoniano Thomas Seebeck realizou experimentos sobre o assunto, só publicados em 1820, concordando inteiramente com Herschel e mostrando que o material do prisma afetava o máximo do calor radiante, o que explicaria porque Leslie e Wünsch não observaram a radiação invisível (Cornell, 1938, pp. 128-130, 134-136).

Na França, em 1813, o químico Jacques Bérard repetiu os experimentos, introduzindo um heliostato, aparelho que permite obter um feixe de luz solar com direção constante (apesar do movimento de rotação da Terra). Confirmou a maior parte dos resultados de Herschel, discordando apenas da posição do máximo do calor radiante, que estaria na faixa do visível (no vermelho extremo) e não na região invisível (como indicado na Fig. 2). Observou também a peculiar luz apontada por Wünsch. Em Genebra, em 1814, o inglês Humphry Davy confirmou o resultado de Herschel, inclusive a posição do máximo de calor radiante. Confirmações posteriores foram anunciadas por Reinhard Ruhland (1817) e Baden Powell (1823) (Cornell, 1938, pp. 132-136).

3 DEBATE SOBRE A NATUREZA DO CALOR RADIANTE

À medida que a existência do calor radiante foi sendo aceito pela comunidade científica, intensificou-se o debate a respeito de sua natureza. As duas hipóteses concorrentes foram lançadas pelo próprio Herschel, conforme já vimos.

O que Chang & Leonelli (2005, pp. 481, 484) chamam de “hipótese da unidade luz-calor” ou “teoria unificada da radiação” é a tese de que a radiação calorífica tem a mesma natureza que a luz, diferindo somente quanto a sua maior refrangibilidade, que Herschel (1800b) interpretou como um maior momento das partículas associadas (com a teoria quântica, dir-se-ia que o momento e a energia dos fótons associados ao calor radiante são *menores* do que os associados à luz visível). Thomas Young, ao articular em 1802 a sua concepção de que a luz visível é uma ondulação no éter, aceitou a hipótese inicial de Herschel, considerando ser “altamente provável que a luz difere do calor apenas na frequência de suas ondulações ou vibrações” (Cornell, 1938, p. 127).

A visão contrária, de que a luz e o calor radiante não têm conexão direta (Herschel, 1800d), é o que Chang & Leonelli (2005, pp. 482-483) chamam de “hipótese da separação entre luz e calor” ou “teoria pluralista da radiação”. Para alguns, a descoberta de Herschel era indício de que o calórico, o hipotético fluido do calor, poderia ser isolado.

Em 1813, na França, Claude Berthollet, o Conde Chaptal & Jean-Baptiste Biot discutiram essas duas hipóteses no contexto das três radiações conhecidas: calorífica, visível e actínica. Ou estes são conjuntos completamente separados de raios provindos do Sol, produzindo calor, luz e ação química, ou estes efeitos são produzidos por um único conjunto de raios refrangíveis. Por questão de simplicidade, preferiram a segunda hipótese. Davy, em 1914, também preferiu esta concepção de unidade da natureza dos três tipos de radiação (Cornell, 1938, pp. 133-134).

Uma nova era de investigação surgiu a partir de 1831, quando Leopoldo Nobili & Macedonio Melloni desenvolveram um sensível detector de radiação denominado “termopilha”. O aparelho se baseava no efeito termo-elétrico, descoberto por Seebeck em 1821, que corresponde à corrente elétrica que surge quando duas tiras de diferentes metais são soldados em uma de suas pontas, e as outras pontas são colocadas a temperaturas diferentes. Nobili & Melloni amplificaram este efeito dispondo 38 pares de antimônio e bismuto soldados em série, sendo que a face voltada para a radiação era escurecida com fuligem. Um galvanômetro astático media a corrente da termopilha, e o resultado se mostrava mais sensível para a detecção de calor radiante do que o melhor termômetro de bulbo enegrecido.

Melloni confirmou em 1831 que o calor radiante sofre reflexão, refração e polarização, e dividiu o espectro invisível em seis faixas ou “cores”. Confirmou a observação de Seebeck de que um prisma com água leva a um pico de calor radiante na luz amarela, com forte absorção no vermelho e infravermelho. Como a luz visível não sofre tal absorção na água, Melloni concordou com a posição final de Herschel de que a luz e o calor radiante são o resultado de dois agentes distintos (Cornell, 1938, pp. 402-403). Várias outras diferenças seriam apontadas por Melloni em 1833 (ver Chang & Leonelli, p. 487).

Estudando a passagem do calor radiante de diferentes “cores” através de diferentes materiais, Melloni definiu a “diatermância” de cada material como o perfil de “cores” por ele absorvido. Descobriu em 1833 que o material que menos absorvia, e que portanto era o mais transparente às diferentes faixas de calor radiante, era o sal-gema. O uso de prismas de sal-gema resolveu a confusão instaurada anteriormente por se usarem diferentes materiais nos prismas.

Em 1832, André-Marie Ampère retomou a antiga tese de Young, de que a luz visível e o calor radiante seriam ambos ondas transversais no éter, com a luz visível tendo uma frequência mais alta, o que a permitiria penetrar o humor dos olhos. Melloni atacou esta retomada da teoria unificada da radiação, mas finalmente viria a aderir a ela em 1842. Outro importante pesquisador da área de radiação, o inglês John William Draper, trabalhando nos Estados Unidos, focou suas pesquisas na radiação química (ultravioleta), e começou a ter dúvidas sobre a teoria pluralista da radiação em 1847, apesar de ainda defendê-la em 1872. Chang & Leonelli (2005) discutem em detalhe os argumentos usados neste debate entre as duas teorias da radiação. A partir da observação precisa da interferência de raios caloríficos, por Fizeau & Foucault em 1847, a maior parte da comunidade dos físicos aderiu à teoria unificada da radiação, mas o mesmo não aconteceu entre químicos e fotógrafos.

4 A FORÇA CAUSAL DE UM AVANÇO

O que nos propomos a fazer agora é analisar o presente episódio utilizando a abordagem dos “modelos causais em história da ciência”. Tal abordagem parte da identificação dos “avanços” ou “contribuições” feitos por cientistas de um certo campo, e tais avanços incluem ideias, explicações, leis, formulações de problemas, experimentos, instrumentos, dados, etc.

O surgimento de cada avanço é visto como tendo sido “influenciado causalmente” por um conjunto de avanços anteriores. Por exemplo, a descoberta do fenômeno do calor radiante (entendido como um fato observado, independente da sua explicação teórica) ocorreu a partir do estudo dos efeitos térmicos das cores. Este último, então, pode ser considerado uma “causa” da descoberta do calor radiante, no sentido expresso pela chamada definição contrafactual de causalidade: sem a pesquisa com os efeitos térmicos das cores, a descoberta dos raios caloríficos não teria ocorrido. No entanto, é preciso levar em

conta que a descoberta do calor radiante poderia ter ocorrido por um caminho diferente (envolvendo outro fator causal). Além disso, a presença ou não de um fator causal deve ser vista como afetando a *probabilidade* de que algum cientista vá chegar a um avanço específico dentro de um certo intervalo de tempo (Pessoa, 2006).

Este último comentário exprime a “força causal” possuída por um avanço em determinada época e circunstância. A força causal é uma medida do grau de aceitação de um avanço, e esse grau varia com o tempo, à medida que os cientistas discutem os méritos da contribuição. Se o avanço for uma ideia, então essa discussão pode consistir de um debate a respeito de seu grau de confirmação, que afeta o grau de aceitação da ideia. Se o avanço for um novo instrumento, diferentes cientistas irão investigar sua performance, o que afeta por sua vez a confiança que se tem nos dados mensurados. Se o avanço for uma formulação de problema, então a sua força causal reflete quantos cientistas estão preocupados com o problema.

A força causal de um avanço é definida então como a potencialidade de que ele possa influenciar o surgimento de outros avanços, ou de que ele possa afetar a força causal de outros avanços (mediados, é claro, pelos cérebros e mãos de cientistas, e por suas interações sociais e institucionais) (Pessoa, 2010).

Um avanço teórico pode começar como uma simples consideração de uma ideia, depois se transformar em uma proposta de hipótese, depois ser defendido de maneira explícita, depois considerado plausível e adquirir boa evidência a seu favor, depois ter forte confirmação, e finalmente adquirir larga aceitação. Temos aqui diferentes “graus de aceitação” de uma mesma hipótese, e sua força causal aumenta com seu grau de aceitação.

Considerações análogas podem ser feitas para avanços experimentais, como um instrumento. Um instrumento pode ser baseado em algum princípio novo, e de início sua performance pode ser ruim, mas sua resolução (ou outra medida da qualidade dos dados) pode melhorar, levando a um uso mais disseminado do instrumento. A noção de força causal, a capacidade de um avanço de gerar um novo avanço, também se aplica aqui.

5 A FORÇA CAUSAL DO AVANÇO “CALOR RADIANTE”

Para ilustrar as idéias precedentes, podemos considerar o avanço “Calor radiante”, ou melhor, “Há calor radiante”. Na classificação dos tipos de avanços sugerida em Pessoa (2000, p. 200), trata-se de um “fato proposto”. Um fato proposto, entendido como um avanço, é uma unidade de conhecimento, distinta do “fato” em si, que designa uma classe de eventos do mundo real. Pode-se afirmar que a existência do “fato” (a existência da radiação infravermelha) é uma das causas do aparecimento do “fato proposto” (a concepção de que existe um calor radiante, distinto da luz visível).

O fato proposto do calor radiante foi formulado inicialmente por Herschel, a partir de seus estudos sobre os efeitos térmicos das cores. No contexto para esta descoberta, o avanço que teve um papel causal determinante foi a observação do aquecimento dos termômetros colocados fora do espectro visível, no experimento do prisma. Um fato proposto também pode surgir a partir de considerações teóricas, como uma previsão. Assim, a distinção entre um fato observado e um fato inferido refere-se apenas à causa principal para o surgimento do avanço, e não ao tipo do avanço (mesmo que fatos observados exerçam mais força causal do que um fato inferido ainda não observado).

É interessante acompanhar como a força causal do avanço “Calor radiante” variou com o tempo (Fig. 3). Para estimar a medida da força causal dessa ideia, fazemos uma avaliação subjetiva da aceitação média do avanço por parte da comunidade científica interessada no assunto.

Ao ser proposta por Herschel, um cientista bastante influente, podemos atribuir ao avanço uma força causal em torno de 0,3, numa escala entre 0 e 1. Logo em seguida, com a publicação do segundo artigo, que incluiu uma versão mais detalhada do experimento com prisma, essa medida teria se elevado para 0,5. No entanto, a repetição do experimento por Leslie, em 1801, com seu resultado negativo, levantou dúvidas sobre a existência do fenômeno, o que podemos exprimir por uma diminuição da

força causal para 0,4 (apesar de a instauração de uma pequena controvérsia causar um maior interesse na investigação do fenômeno discutido). A opinião de Young e o resultado favorável de Englefield (1802) teriam elevado a força causal para 0,6, e a investigação de Bérard (1813) para 0,7, culminando com a confirmação mais precisa feita por Melloni em 1831, que podemos associar a uma força causal de 0,9.

A medida numérica para a força causal é apenas uma estimativa grosseira, mas ela é útil na representação computacional para exprimir a importância de um avanço em um dado momento. No futuro, seria interessante estudar como se poderia estimar a força causal de maneira mais precisa, a partir de dados históricos e cienciométricos.

6 REPRESENTAÇÃO CAUSAL DO EXPERIMENTO COM PRISMA

Uma vez que um fato é observado ou previsto, o próximo passo geralmente é a realização de experimentos para confirmar sua existência e explorar suas propriedades. No caso do calor radiante, conforme mencionado na seção 2, foram realizados quatro grupos de experimentos, dentre os quais nos concentraremos nos experimentos com prisma.

Podemos tomar os “Experimentos de calor radiante com prisma” como sendo um avanço único, ou uma série de avanços distintos. A escolha vai depender da *escala* na qual o episódio histórico é causalmente examinado¹. Para nossos propósitos aqui, consideraremos que um único avanço experimental é repetido, com variações, por diferentes cientistas. Herschel (1800) foi o primeiro a realizá-lo, e o conjunto de avanços que contribuíram causalmente para sua realização bem sucedida incluiu a tese da existência do calor radiante, e os avanços experimentais da fenda longa, prisma de vidro flint, termômetro de mercúrio com bulbo enegrecido e a lente óptica. Pode-se atribuir uma força causal para este avanço de 0,5. Leslie repetiu o experimento com um detector mais sensível, seu termômetro diferencial de ar, além de ter sido obviamente influenciado pela versão de Herschel, mas a força causal de seu resultado parece ter sido um pouco inferior: digamos 0,4. A partir daí, a série de repetições feitas por Englefield, Wünsch, Bérard, Davy, Ruhland, Seebeck, Powell e Melloni basearam-se nas versões anteriores e introduziram novos equipamentos experimentais, elevando o patamar da força causal do avanço experimental para algo em torno de 0,9.

Naturalmente, o aumento da força causal do avanço “Calor radiante” foi gerado pelas sucessivas realizações do avanço “Experimentos de calor radiante com prisma”, conforme indicado pelas setas entre estes avanços na Fig. 3. O primeiro avanço, de que há calor radiante, levou automaticamente à pergunta a respeito de sua natureza, avanço este que podemos chamar “Problema da natureza do calor radiante”, que também se originou com Herschel. Conforme vimos na seção 3, este problema teórico gerou duas respostas principais, a de que “Calor radiante é luz invisível” (teoria unificada da radiação) e a de que “Calor radiante é diferente da luz” (teoria pluralista), ambos os avanços podendo ser classificados como “explicação de natureza”. Na Fig. 3 resumem-se as forças causais destes dois avanços rivais, salientando a conversão de Herschel (1800d) para a teoria pluralista, a gradual aceitação da teoria unificada a partir de 1813, a conclusão de Melloni (1931) a favor da teoria pluralista e depois a favor da teoria unificada (1842), que se tornou dominante a partir de 1847. O diagrama desses “programas de pesquisa rivais” lembra a abordagem de Imre Lakatos.

¹ Podemos mencionar cinco escalas de estudo na ciência da ciência: [5] Teses globais sobre a instituição científica, envolvendo centenas de anos, todo o mundo, todos os campos científicos. [4] Visões gerais sobre mudança em um campo científico (à la Kuhn, Lakatos, Laudan), geralmente envolvendo décadas de anos e todo o mundo. [3] Foco em um estudo de caso histórico, como as idéias de Darwin ou a ciência na Escócia, etc., envolvendo meses ou anos, e algumas poucas instituições (esta é a abordagem adotada no presente artigo). [2] Foco nos processos adotados pelo cientista na realização de uma descoberta; este é a escala dos estudos etnometodológicos, envolvendo horas: “Faraday fez isso, depois aquilo, etc.”. [1] Microcognição: detalhes cognitivos na mente do cientista, envolvendo segundos; estudos nesta escala são ainda incipientes.

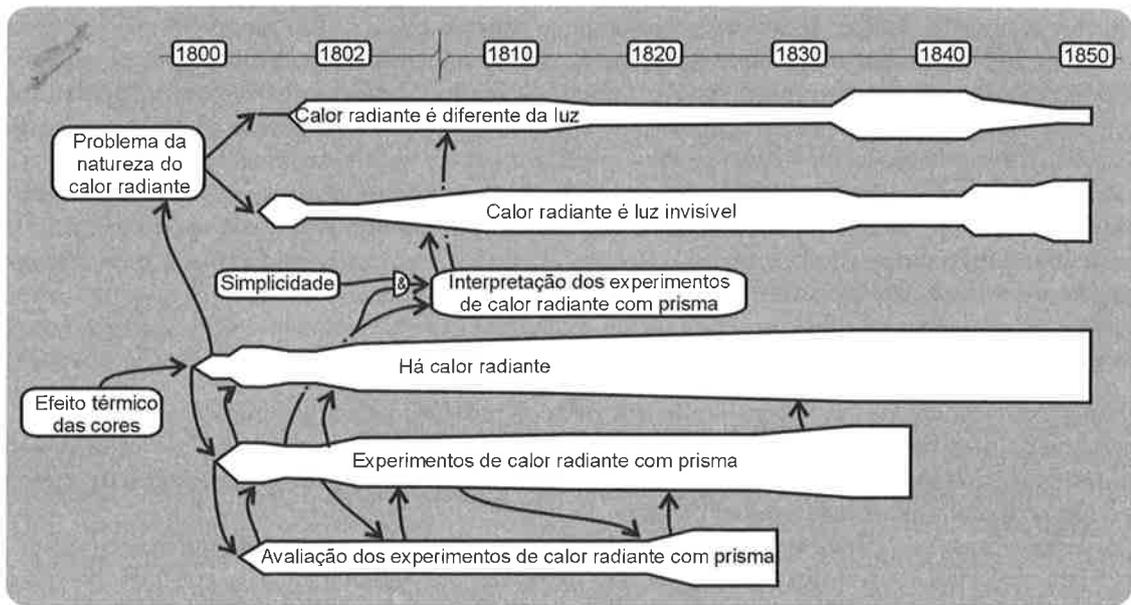


Figura 3. Mapa causal envolvendo avanços relacionados com os experimentos de calor radiante com prisma. Nos avanços representados com blocos mais compridos, a espessura do bloco denota a força causal estimada para o avanço, com o passar do tempo.

O avanço “Experimentos de calor radiante com prisma” teve sua força causal modulada por diferentes avaliações feitas a respeito da correção da montagem dos experimentos, como as avaliações realizadas por Leslie (1801) e Wünsch (1807) contra Herschel, por Davy (1814) contra Bérard (1813), e Seebeck (1820) contra Leslie, entre outros. Tal avanço, “*Avaliação dos experimentos de calor radiante com prisma*”, que pode ser classificado como uma crítica experimental, é também representada na Fig. 3.

Diferente dessa avaliação da correção do experimento é a “*Interpretação dos experimentos de calor radiante com prisma*”, que consiste em tirar conclusões teóricas a respeito dos resultados experimentais obtidos, ou em comparar os dados com as previsões da teoria (unificada ou pluralista). Ritter (1808) interpretou os dados de Wünsch como dando suporte à teoria unificada, e Bethollet, Chaptal & Biot (1813) fizeram uma interpretação dos experimentos até então à luz das duas teorias rivais, favorecendo a teoria unificada, por ser mais simples. Notamos neste último caso, assim como na interpretação inicial de Herschel, o uso do avanço “simplicidade”, de tipo metodológico.

7 CONCLUSÕES

Neste artigo, exploramos a descoberta experimental do calor radiante, salientando os avanços envolvidos e como eles se ligaram causalmente. Atenção foi dada à força causal de cada avanço, que varia com o passar do tempo. No estudo de caso apresentado, um fato proposto surgiu inesperadamente a partir de certos experimentos. Pela parte teórica, imediatamente se colocou a questão sobre qual é a natureza do fato, e diferentes explicações foram desenvolvidas, afetadas pela interpretação dos experimentos. Os experimentos começaram a ser realizados logo que o novo fato foi descoberto, e inicialmente surgiram resultados diversos, dependendo do cientista envolvido. A avaliação da qualidade destes experimentos foi parte importante da discussão.

A estrutura da descoberta do calor radiante parece capturar uma estrutura comum a descobertas empíricas. A comparação com descobertas de outros fatos poderá esclarecer em que medida a estrutura causal apresentada é geral.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CHANG, Hasok; LEONELLI, Sabina. Infrared metaphysics: the elusive ontology of radiation. Parts 1 and 2. *Studies in the History and Philosophy of Science* **36**: 477-508, 686-705, 2005.
- CORNELL, E.S. The radiant heat spectrum from Herschel to Melloni. I. II. *Annals of Science* **3**: 119-137, 402-416, 1938.
- HERSCHEL, William. Investigation of the powers of the prismatic colours to heat and illuminate objects. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* **90**: 255-283, 1800 (a).
- . Experiments on the refrangibility of the invisible rays of the sun. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* **90**: 284-292, 1800 (b).
- . Experiments on the solar, and on the terrestrial rays that occasion heat. Part I. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* **90**: 293-326, 1800 (c).
- . Experiments on the solar, and on the terrestrial rays that occasion heat. Part II. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* **90**: 437-538, 1800 (d).
- PESSOA JR., Osvaldo. Histórias contrafactuais: o surgimento da física quântica. *Estudos Avançados* **14** (39): 175-204, 2000.
- . Computation of probabilities in causal models of history of science. *Principia* **10**: 109-124, 2006.
- . The causal strength of scientific advances, in: VIDEIRA, Antonio Augusto Passos & KRAUSE, Décio (orgs.). *Brazilian studies in the history and philosophy of science* (Boston Studies in the Philosophy of Science). Boston: Springer, 2010 (no prelo).

Filosofia e História da Ciência no Cone Sul

Seleção de Trabalhos do 6º Encontro



Editores:

Roberto de Andrade Martins, Lucía Lewowicz,
Juliana Mesquita Hidalgo Ferreira, Cibelle Celestino
Silva, Lilian Al-Chueyr Pereira Martins