

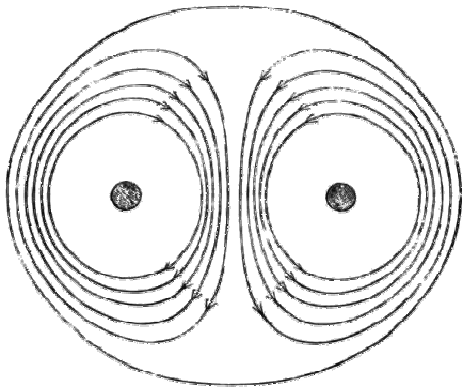


Fig. 1. Átomo de vórtice, de dinâmica semelhante a um anel de fumaça, segundo William Thomson (1867).

Escolas preocupadas com o atomismo no séc. XIX

Stephen Brush (1935-)

Tradução de trechos da seção 1 do artigo BRUSH, S.G. (1968), "Mach and atomism", *Synthese* 18, 192-215. Republicado na seção 8.1 do livro de BRUSH (1976), *The kind of motion we call heat*, vol. 1, North-Holland, Amsterdam, pp. 277-82. Não há figuras no original.

Tradução para o português feita por Osvaldo Pessoa Jr., para o curso de Filosofia e História da Ciência Moderna (FLF0449), 1º semestre de 2012.

Farei um resumo das várias teorias e escolas do final do século XIX que estavam preocupadas com o atomismo, de uma maneira ou outra, traçando apenas aquelas distinções que parecem necessárias para entender onde Mach se colocava.

(1) O *Modelo do Átomo Atmosférico* do final do séc. XVIII e início do séc. XIX. Conforme o modelo era usualmente descrito, haveria dois tipos de átomos: átomos materiais e átomos etéreos [relativos ao éter luminífero]. Átomos materiais se atraem mutuamente, com uma força atrativa que é o inverso do quadrado da distância, pelo menos a grandes distâncias; átomos etéreos repelem-se mutuamente, e átomos materiais atraem átomos etéreos. Este modelo tem óbvias semelhanças como a teoria ordinária das cargas elétricas positivas e negativas, e de fato ambas as teorias se desenvolveram juntas no séc. XVIII, a partir de uma origem comum na teoria newtoniana da pressão dos gases. [Em 1836, uma versão da teoria apresentada por Ottaviano Mossotti teve bastante influência.] Cada átomo material é portanto cercado por uma atmosfera de átomos etéreos. Outras atmosferas, compostas de calórico [o hipotético fluido do calor], por exemplo, podem ser adicionadas. O modelo fornece a base para explicar propriedades elétricas, magnéticas, térmicas, mecânicas, e gravitacionais, ao postular fluidos imponderáveis compostos de partículas. Este modelo, com diversas modificações, pode ser encontrado na maioria dos livros didáticos publicados entre 1780 e 1860; de particular interesse para nós é o livro *Rudimentos da física* (1844), de Andreas von Ettingshausen, um dos professores de Mach em Viena.

(2) *Dinamismo*, a crença de que a base última das propriedades da matéria encontra-se em forças atuando através do espaço. Ruđer Bošković (1763) havia mostrado como cada átomo poderia ser reduzido a um centro pontual de força [Fig. 2], e Immanuel Kant advogara [nos *Fundamentos metafísicos da ciência natural*, 1786] pela construção de um sistema de física baseado em forças atrativas e repulsivas. Essa sugestão de Kant foi encampada pela escola alemã da *Naturphilosophie* [romântica], e de acordo com alguns historiadores da ciência, exerceu considerável influência no desenvolvimento do eletromagnetismo (Ørsted e Faraday) e na descoberta da lei de conservação de energia [1ª Lei da Termodinâmica]. No séc. XIX, o Dinamismo se dividiu em duas teorias distintas, que são as seguintes.

(2a) O *Dinamismo Físico* tornou-se uma parte respeitável da física, como uma versão alternativa ao atomismo. Veio a ser normalmente tratada como uma hipótese sujeita à modificação em face de descobertas experimentais, e usada por cientistas como Hamilton, Helmholtz, Maxwell, Lorde Kelvin (W. Thomson), van der Waals e Sutherland. Maxwell e Kelvin salientaram a natureza artificial da suposição de que átomos exercem forças mútuas proporcionais a alguma potência inversa de sua

(2b) O *Dinamismo Filosófico*, na forma não-matemática utilizada pela *Naturphilosophie*, desembocou no anti-atomismo ao aceitar o seguinte juízo: se todas as propriedades da matéria dependem apenas das forças exercidas entre átomos, então os próprios átomos são supérfluos. Este ponto de vista foi defendido por Immanuel Hermann von Fichte (filho do filósofo mais bem conhecido, Johann Gottlieb Fichte), que atacou o atomismo – tanto o Modelo do Átomo Atmosférico quanto o Dinamismo Físico – em uma série de artigos publicados a partir de 1854. Gustav Fechner (que logo se tornaria o fundador da psicofísica) defendeu o atomismo, apesar de a maioria dos físicos não prestar atenção a Fichte. As opiniões de ambos os lados do debate Fichte-Fechner já estavam se tornando obsoletas, e Ernst Mach foi um dos poucos cientistas ativos que tiveram qualquer interesse pela controvérsia.

A diagram of a rectangular vessel containing a fluid. A weight labeled *P* is suspended from the top center of the vessel. The fluid is represented by a dense collection of small circles. The vessel's top edge is labeled *A* on the left and *B* on the right. The bottom edge is labeled *C* on the left and *D* on the right. The fluid surface is indicated by a horizontal line with points *E* on the left and *F* on the right. A vertical line on the right side of the fluid is labeled *n* at the bottom. A vertical line on the left side of the fluid is labeled *e* at the bottom. A vertical line on the right side of the fluid is labeled *m* at the bottom.

Teoria Cinética foi seu sucesso em explicar e prever propriedades de transporte, como a viscosidade e a difusão; sua fraqueza foi o fracasso em dar conta dos calores específicos de gases poliatômicos. Apesar de a Teoria Cinética estar baseada diretamente em uma hipótese atômica, ela não dependia diretamente de uma teoria atômica detalhada, como o Modelo do Átomo Atmosférico ou o Dinamismo Físico. Pelo contrário, não era preciso muito mais informação sobre os átomos do que seus tamanhos, mas a teoria acabou fortalecendo em muito a crença na realidade dos átomos, ao fornecer as primeiras estimativas confiáveis das dimensões atômicas [Josef Loschmidt, 1865].

(4) A *Teoria Atômica Química*, baseada no novo impulso dado por Stanislaw Cannizzaro à teoria de Dalton, em 1860. Esta teoria estava preocupada principalmente com a constituição atômica das moléculas, a interpretação das reações químicas, e a determinação dos pesos atômicos relativos. As conclusões da Teoria Atômica Química, ao contrário das da Teoria Cinética, eram independentes dos tamanhos e pesos absolutos dos átomos, e portanto os anti-atomistas [Wald, 1897; Ostwald, 1904] tentaram reformular essas conclusões em termos de pesos de combinação relativos, sem referência a átomos.

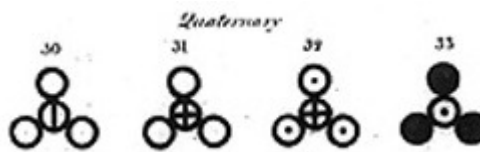


Fig. 4. Proposta de Dalton (1808) para moléculas de quatro átomos: (30) ácido oxinítrico NO_3 ; (31) ácido sulfúrico SO_3 ; (32) hidrogênio sulfuretado H_3S ; (33) álcool HC_3 .

(5) O *Atomismo Físico*, chão comum de todos os cientistas que acreditavam na realidade dos átomos, e/ou em sua utilidade na construção de teorias científicas. O Atomismo Físico não era mais um teoria única e coerente após 1850, já que diferentes modelos tinham que ser usados para explicar diferentes propriedades da matéria. Apesar de o Atomismo Físico ser, por esta razão, muito vulnerável à crítica, esses teóricos não recuaram para a fenomenologia, mas continuaram explorando, sem sucesso, todos os possíveis modelos atômicos consistentes com a física clássica, e foram em larga medida responsáveis pela queda da física clássica. Ao dizer isso, estou transferindo o ônus da prova daqueles que queriam “aplicar aos átomos os conceitos mecânicos que foram derivados de experimentos em corpos macroscópicos” (a visão de Mach, conforme expressa anteriormente por Rosenfeld) para aqueles que queriam negar que o domínio do invisível pudesse ser interpretado com o auxílio das mesmas leis que se aplicam ao domínio do visível. Em outras palavras, consideramos a frequentemente ridicularizada preocupação da física do século XIX com modelos mecânicos como uma tentativa perfeitamente razoável de levar uma técnica bem sucedida às suas últimas consequências.

(6) A tradição da *Termodinâmica Pura*, não contaminada pelo atomismo. Muitos cientistas consideraram que valeria a pena preservar a termodinâmica como um conjunto de leis baseadas diretamente em experimentos, cuja validade não dependeria na aceitação de qualquer teoria sobre a estrutura interna da matéria. Note que esses cientistas – Clausius, Kelvin, Rankine, Gibbs e Max Born – não eram anti-atomistas. Todos eles contribuíram para a teoria atômica em outras publicações.

(7) Tentativas para encontrar *Analogias Mecânicas da Termodinâmica* (princípio de Hamilton, princípio de mínima ação, etc.). Apenas alguns poucos físicos – Clausius, Szily, Boltzmann e Helmholtz – fizeram algum trabalho sério nesta linha, mas o assunto despertou interesse suficiente para que a Associação Britânica [de Ciência] solicitasse um relatório especial sobre ele.

(8) Tentativas de estabelecer uma *Interpretação Estatística da 2ª Lei da Termodinâmica*. Maxwell, que ridicularizou as tentativas alemãs de encontrar analogias mecânicas para a 2ª Lei [do aumento de entropia], defendia que a 2ª Lei tem natureza essencialmente estatística, e propôs o seu célebre “demônio de Maxwell” para ilustrar essa tese. Boltzmann colocou a interpretação estatística em uma base mais quantitativa com seu teorema-H, e o assunto foi depois bastante discutido por Kelvin, Tait, Jeans, e Paul e Tatiana Ehrenfest. Gibbs (1902) e Tolman (1938) salientaram a visão de que o aspecto estatístico da irreversibilidade (movimentos ordenados tornando-se desordenados) deriva mais das limitações da observação humana de fenômenos do que da natureza dos próprios fenômenos. Deve-se notar que apesar de tais interpretações estatísticas serem apresentadas juntamente com a Teoria Cinética dos Gases, elas não

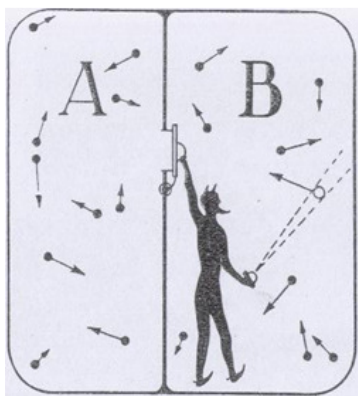


Fig. 5. Ilustração do demônio de Maxwell, ser fictício que controlaria uma portinha separando duas câmaras com gás, inicialmente à mesma temperatura. Quando ele vê, no lado B, moléculas mais velozes rumando em direção à portinha, ele a abre e fecha (sem dissipar energia). Após várias repetições, o gás do lado A se tornaria mais quente. Isso mostraria, segundo Maxwell, que a 2ª lei da termodinâmica tem natureza apenas estatística (podendo ser violada em casos particulares).

são uma consequência lógica de tal teoria; ou seja, pode-se aceitar os resultados da Teoria Cinética sem se comprometer com uma explicação fundamental da irreversibilidade. Os paradoxos da reversibilidade e da recorrência, popularizados pelos Ehrenfests, foram usados pelos anti-atomistas para atacar não somente a interpretação estatística da 2ª Lei, mas também a teoria cinética e o atomismo físico em geral. O atomismo era acusado de ser deficiente, porque um sistema de átomos regidos pela mecânica newtoniana não poderia exibir o comportamento irreversível, que é um fato da experiência.

(9) A *Energética*, uma generalização da termodinâmica que afirmava ter fornecido uma descrição fenomenológica unificada de todos os fenômenos físicos. Os proponentes da energética – Ostwald, Duhem, Helm, entre outros – eram anti-atomistas ativos. O nome “energética” veio de um trabalho anterior de Rankine, que de fato não pertence a esta escola, mas sim à Termodinâmica Pura e ao Atomismo Físico. É importante observar a distinção entre a Termodinâmica Pura – que defende sua própria validade apenas dentro de uma região limitada e está mais preocupada em axiomatizar resultados já conhecidos, admitindo que o atomismo é útil para encontrar novos resultados – e a Energética, que se considera a única teoria científica legítima e auto-suficiente.

(10) O *Empiriocriticismo*, uma visão crítica em relação a todas as hipóteses científicas que não sejam induzidas diretamente de experimentos. O termo estava originalmente associado ao trabalho de Avenarius, mas desde a publicação do livro de Lenin (*Materialismo e empiriocriticismo*, 1909), ele tem sido aplicado a Mach, Stallo, Pearson e outros que defendem semelhantes concepções. O Empiriocriticismo se coloca acima de todas as teorias (1)-(9), estando mais preocupado com o método do que com o conteúdo da ciência. A crítica detalhada da Teoria Cinética e do Atomismo Físico feita por Stallo (1882) era, presumidamente, consoante com a visão dos outros membros do grupo; Mach, em particular, elogiava o livro de Stallo, e dedicou a segunda edição do seu próprio tratado do calor a Stallo.

Vejamos agora como Mach traçou seu caminho neste labirinto de posições, começando com a primeira e terminando na última, sem nunca ter aceito completamente qualquer uma das intermediárias.