

SOBRE A MECÂNICA ESTATÍSTICA

(Extrato da palestra do professor LUDWIG BOLTZMANN no Congresso de St. Louis em 1904.¹)

A pergunta se a matéria é constituída por átomos ou se é contínua reduz-se à seguinte: quem representa mais precisamente as propriedades observáveis da matéria – as propriedades que pressupõem um número extraordinariamente grande e finito de partículas ou o limite das propriedades em um crescimento contínuo do número de partículas? Seguramente, a antiga questão filosófica não foi respondida. Mas, pelo menos, estamos curados da ansiedade de querer resolvê-la por meio de um caminho desprovido de sentido e inútil. O processo mental, segundo o qual devemos começar examinando primeiramente as propriedades de um agregado finito, devendo, posteriormente, aumentar enormemente o número de elementos do agregado, é o mesmo em ambos os casos; ele não é outra coisa senão a expressão reduzida, por meio de signos algébricos, do mesmo processo mental, como frequentemente acontece quando as equações diferenciais constituem o próprio ponto de partida de uma teoria físico-matemática.

Os elementos do agregado que escolhemos como imagens dos corpos materiais não podem, de qualquer forma, ser por nós concebidos como sendo sempre absolutamente imóveis, pois senão não haveria nenhum movimento. Também não poderiam estar em repouso relativo a um mesmo corpo, porque, em tal situação, nós não poderíamos fornecer nenhum cálculo dos fluidos. Ainda não foi feita nenhuma tentativa de submetê-los a outras leis senão às leis gerais da Mecânica. Dessa forma, e para explicar a natureza, nós queremos escolher o agregado de um enorme número de proto-indivíduos, os quais são pequeníssimos e encontram-se em contínuo movimento, além de estarem sujeitos às leis da Mecânica. Contra esta concepção levantou-se uma objeção que podemos tomar como o ponto de partida das considerações que devem constituir o objetivo final dessa conferência. As equações fundamentais da Mecânica não mudam em nada a sua forma quando o sinal da grandeza tempo é simplesmente invertido. Assim, todos os processos puramente mecânicos podem desenrolar-se tanto em um sentido como em outro, isto é, caso o tempo cresça ou diminua. No entanto, nós reparamos que, na vida diária, o futuro e o passado não se correspondem tão completamente como as direções direita e esquerda, mas, ao contrário, ambos são claramente distintos um do outro.

Isso torna-se mais preciso no Segundo Princípio da Teoria Mecânica do Calor. Este afirma que, caso um determinado sistema de corpos seja abandonado a si mesmo, não sendo influenciado por outros corpos, sempre será possível indicar o sentido em que ocorre uma mudança de estado. É sempre possível indicar uma certa função de estado da totalidade dos corpos, a *entropia*, a qual é estabelecida de tal modo que só pode acontecer qualquer mudança de estado caso ocorra um aumento dessa função; esta só pode crescer por meio de [um respectivo] crescimento do tempo. Essa lei só é obtida por intermédio da abstração, como um princípio galileano, pois é impossível separar estritamente um sistema de corpos da influência de todos os outros. Mas, como essa lei, quando combinada com as leis restantes, até agora sempre forneceu resultados corretos, também a tomamos como correta, da mesma forma que no princípio galileano.

¹ L. Boltzmann, *Escritos Populares*, Ed. Unisinos (2004).

Decorre desse princípio que qualquer sistema isolado de corpos deve se dirigir a um certo estado final, no qual a entropia é um máximo. Espanta a descoberta de que a consequência resultante desse princípio seria que a totalidade do Universo deveria precipitar-se para um estado final, onde todos os acontecimentos seriam extintos. No entanto, essa consequência é evidente caso se considere que o Universo como finito e sujeito ao Segundo Princípio. Considere-se o Universo como infinito; então tornam a aparecer as [já] discutidas dificuldades mentais, quando se representou o infinito como não sendo um mero limite.

Uma vez que, nas próprias equações diferenciais da Mecânica, não existe nada de análogo ao Segundo Princípio, este só pode então ser aceito por meio de suposições acerca das condições iniciais. Para que possamos encontrar as condições iniciais apropriadas para esse caso, nós temos que pensar que devemos pressupor, tendo em vista a explicação dos corpos aparentemente contínuos, que é necessário que existam, para cada espécie de átomo ou, mais abrangentemente, para os indivíduos mecânicos, inúmeras outras que se encontram nas mais diferentes posições iniciais. Para que seja possível tratar matematicamente essa suposição, criou-se uma ciência que não possui a tarefa de descobrir os movimentos de um único sistema mecânico, mas, sim, de descobrir as características de um complexo de inúmeros sistemas mecânicos que partem das mais variadas condições iniciais. O mérito de ter convertido essa ciência em um sistema, exposto em um importante livro, e de lhe ter dado o seu nome característico pertence a um dos maiores sábios americanos, talvez o maior naquilo que se refere ao pensamento abstrato e à investigação teórica pura: JOSIAH WILLARD GIBBS, professor do Yale College recentemente falecido. Ele chamou essa ciência de *Mecânica Estatística*.

Essa ciência, desconsiderando as complicações matemáticas, também não está livre de dificuldades relativas aos fundamentos, já que ela está baseada no cálculo de probabilidades. Este é tão exato quanto qualquer outro ramo da Matemática, desde que se estabeleça logo o conceito de equiprobabilidade. Todavia, este último, enquanto conceito fundamental, não pode ser deduzido de um outro, devendo ser considerado como dado. Acontece aqui o mesmo que nas fórmulas do Método dos Mínimos Quadrados, os quais são unicamente obtidos, sem objeção alguma, sob certas suposições acerca da equiprobabilidade dos erros elementares. Dessas dificuldades relativas aos princípios esclarece-se que mesmo o mais simples resultado da Mecânica Estatística, a demonstração da lei maxwelliana de velocidade das moléculas de um gás, ainda é controvertido.

Os teoremas da Mecânica são consequências rigorosas das suposições feitas e permanecerão sempre válidos, assim como todos os teoremas matemáticos bem fundamentados. A sua aplicação sobre o evento natural é o protótipo de uma hipótese física. Partindo gradualmente das suposições fundamentais mais simples sobre as probabilidades iguais, encontramos, então, para os comportamento dos agregados de muitos indivíduos, leis completamente análogas àquelas apontadas pela experiência para o comportamento do mundo material. O movimento visível de translação ou de rotação deve ser sempre converter-se em movimento invisível das menores partículas, transformando-se em movimento térmico, como Helmholtz afirmou caracteristicamente: movimentos ordenados transformam-se progressivamente em desordenados. A mistura das diferentes substâncias, como das diferentes temperaturas, dos

lugares com mais ou menos movimentos moleculares agitados, deve sempre chegar a ser uniforme. Que essa mistura não foi completa desde o início e que o Universo partiu de um estado inicial altamente improvável pode ser contabilizado como participando das hipóteses fundamentais de toda a teoria, podendo-se afirmar que a razão para isso é tão pouco conhecida como a razão [explicativa] para o mundo ser como ele é e não de outra forma. Pode-se, contudo, adotar um outro ponto de vista. Estamos muito misturados, grandes diferenças de temperatura não são, segundo a teoria, completamente impossíveis, mas apenas extremamente improváveis em um grau altamente incompreensível. Se imaginarmos o Universo como apenas suficientemente grande, então, segundo as leis do cálculo de probabilidades, surgirão aqui e ali regiões com as dimensões do céu das estrelas fixas com uma distribuição de estados altamente improváveis. Tanto na sua formação como na sua dissolução, o curso do tempo será unidirecional. A teoria aqui desenvolvida ultrapassa ousadamente o objetivo, mas ela possui precisamente a propriedade que toda e qualquer teoria deve ter na medida em que ela nos esclarece o fator da experiência de uma maneira completamente nova, estimulando outras reflexões e investigações. Contrariamente ao Primeiro Princípio [da Termodinâmica], o Segundo Princípio apenas aparece como um teorema de probabilidade, tal como Gibbs já havia estabelecido nos anos de 1870.