

Acerca da origem microscópica dos fenômenos macroscópicos*

(On the microscopic origin of macroscopic phenomena)

Joel L. Lebowitz

Center for Mathematical Sciences Research, Rutgers University, Piscataway, NJ, USA

Neste trabalho discuto sucintamente alguns aspectos da mecânica estatística sob o ponto de vista de um cientista ativo nesta área.

Palavras-chave: mecânica estatística, transições de fase, irreversibilidade.

In this article I briefly discuss some aspects of statistical mechanics from the point of view of a scientist working in this field.

Keywords: statistical mechanics, phase transitions, irreversibility.

1. Introdução

A Ciência é a empreitada humana pela busca da compreensão da natureza do mundo no qual nascemos. Esta busca é impelida pela necessidade prática e pela curiosidade inata que, independentemente de suas origens evolucionárias ou sua utilidade, se estendem para muito além do utilitarismo. Até mesmo crianças pequenas experimentam esta compulsão primária de explorar e examinar. Se preservada até a vida adulta, ela dá origem a todo tipo de criatividade, incluindo aquela das ciências teóricas e experimentais.

Eu faço parte da comunidade de físicos teóricos. Meu interesse maior é o de tentar entender como a dinâmica dos constituintes microscópicos da matéria, como átomos e moléculas, determinam as propriedades de objetos macroscópicos que podemos ver e tocar, como um copo de água ou um pedaço de metal, que são formados por um grande número de átomos. Este é o campo de atuação da mecânica estatística que nos proporciona um arcabouço matemático para descrever como estruturas ou comportamentos organizados em um nível superior surgem a partir da interação aleatória e não coordenada de grande número de entidades em um nível inferior. Por sorte, um entendimento de uma série de aspectos do comportamento de sistemas macroscópicos – com por exemplo o congelamento da água ou sua ebulição – pode ser obtido a partir de modelos simplificados da estrutura e da interação dos átomos. Podemos frequentemente partir da descrição de Feynman para os átomos como sendo “particulazinhas que se movem para cá e para lá num movimento perpétuo,

atraindo-se quando pouco distantes, mas repelindo-se quando espremidas umas contra as outras” (é simplesmente fantástico o quanto esta simples imagem nos fornece previsões que não são apenas qualitativamente corretas mas também extremamente precisas em muitos casos, uma vez que a estrutura de átomos reais é governada pelas regras da mecânica quântica, que são muito mais complicadas que esta simples e deveras tosca imagem clássica de Feynman).

A mecânica estatística explica como os fenômenos macroscópicos se originam a partir do comportamento cooperativo destas “particulazinhas”. Alguns fenômenos nada mais são que a ação combinada de muitos indivíduos, por exemplo a pressão de um gás, que nada mais é que o efeito do bombardeio contínuo das muitas moléculas gasosas contra as paredes do recipiente que as contém. Porém há outros fenômenos que são exemplos de comportamentos emergentes, não possuindo um análogo direto nas propriedades ou dinâmica de átomos individuais. Alguns exemplos importantes e particularmente fascinantes destes fenômenos emergentes são (1) a aproximação irreversível ao equilíbrio e (2) transições de fase no equilíbrio. Se elas não nos fossem tão familiares, seriam sem dúvida motivo de grande espanto. Compreendê-las e analisá-las do ponto de vista macroscópico formam a espinha dorsal de meu próprio trabalho enquanto pesquisador. Permitam-me aqui discutí-las brevemente.

O problema da irreversibilidade pode ser assim colocado: a maioria dos processos que observamos na natureza ao nosso redor são *unidirecionais* ou *assimétricos* no tempo. Eles apresentam uma *flecha do tempo*: le-

*Tradução e notas de Sílvio R. Dahmen, Instituto de Física da UFRGS. E-mail: silvio.dahmen@ufrgs.br

gumes cozidos não podem ser descozidos, um ovo quebrado não pode ser juntado novamente. Este fato tão corriqueiro do nosso cotidiano é contudo particularmente difícil de ser explicado em termos das leis fundamentais da física. As leis de Newton, a mecânica quântica, o eletromagnetismo, a teoria da gravitação de Einstein não fazem qualquer distinção entre passado e futuro. Elas são *simétricas no tempo* e totalmente reversíveis. São apenas as leis secundárias, *i.e.* aquelas que descrevem o comportamento de objetos macroscópicos compostos de um grande número de átomos que carregam explicitamente uma assimetria temporal.

O exemplo maior é a segunda lei da termodinâmica que afirma que um sistema macroscópico isolado evolui unidirecionalmente no tempo em direção ao equilíbrio – um estado caracterizado pela maximização de uma grandeza chamada *entropia* (a entropia de um sistema macroscópico é uma medida do número de estados microscópicos no qual o sistema pode se encontrar para um dado valor de energia ou temperatura – ela pode assim ser também interpretada como uma medida da desordem, desde que esta seja apropriadamente definida). A razão pela qual e o modo como este tipo de comportamento macroscópico temporalmente assimétrico surge a partir de uma dinâmica microscópica completamente reversível é bem compreendido em princípio: ele é fruto do Universo ter se originado e um estado de entropia muito baixa. Os problemas atuais dizem respeito a deduções e soluções de equações que descrevem estes fenômenos qualitativamente.

O segundo exemplo de fenômeno emergente, muito investigado em mecânica estatística, concerne às tran-

sições de fase em sistemas no equilíbrio, tais como o congelamento ou a ebulição da água. Nestas situações ocorrem mudanças dramáticas na estrutura e comportamento de sistemas macroscópicos devido a pequenas mudanças de temperatura ou pressão sem que estas sejam acompanhadas por mudanças na estrutura individual dos átomos ou moléculas que os formam. Por exemplo, enquanto o volume ocupado por um quilograma de água à pressão atmosférica muda muito pouco quando a temperatura é aumentada entre 5 °C e 95 °C, seu aumento é enorme quando a temperatura passa de 99,9999 °C para 100,0001 °C. Coisas ainda mais dramáticas ocorrem na temperatura de solidificação em torno de 0 °C, quando essencialmente surgem mudanças “infinitas” em algumas propriedades como a fluidez. Para mais informações e detalhes a este respeito por favor consultem os itens 370, 383 e 434 da lista de publicações em minha página <http://www.math.rutgers.edu/~lebowitz>.

Por favor consultem também a página de direitos humanos no meu sítio pessoal. Acredito que cientistas têm grandes responsabilidades nesta área. A perspectiva científica torna completamente irrelevante quaisquer diferenças entre pessoas baseadas em nacionalidade, raça, crença religiosa ou sexo, ao mesmo tempo que torna especial e significativo aquilo que nós seres humanos temos em comum, tal como o potencial para compreender os muitos aspectos de nosso Universo. O panorama científico¹ deveria portanto fazer com que os cientistas trabalhassem com afinco por um mundo sustentável e mais justo.

¹No original *outlook* [N. do T.].