

O debate entre as interpretações reducionista e emergentista da física

Fábio Garcia Gatti*; Osvaldo Pessoa Jr.**

1 INTRODUÇÃO

Neste artigo buscamos esclarecer aspectos do debate entre o reducionismo e o emergentismo nas ciências físicas. A conclusão obtida é que não há um vencedor claro no debate, pois cada qual adota uma postura filosófica diferente. O emergentismo se encaixa bem com uma postura pragmática, ao passo que o reducionismo é uma tese realista.

O ponto de partida de nosso estudo é um relato da controvérsia que se instaurou na física na década de 1980, envolvendo Steven Weinberg e Philip Anderson, entre outros. Apresentamos então a concepção da “emergência” na física da matéria condensada, e resumimos a análise do filósofo Kim a respeito dos tipos de emergência. Aprofundamos então algumas questões da física da matéria condensada, como a renormalização e as classes de universalidade. Argumentamos que a abordagem emergentista é mais simples, ao tratar a quebra espontânea de simetria como um evento essencialmente probabilista. No entanto, isso não refuta a visão de mundo reducionista, cuja explicação realista precisa levar em conta detalhes microscópicos inacessíveis à observação.

2 A DIMENSÃO POLÍTICA DO DEBATE

A tentativa de explicar o mundo visível a partir de entidades microscópicas sempre esteve presente na ciência, e tal projeto reducionista se intensificou com a descoberta de novas partículas elementares, a partir da década de 1930. Após a Segunda Guerra Mundial, aceleradores de partículas cada vez maiores passaram a ser construídos, exigindo somas cada vez mais vultuosas de dinheiro, consequentemente atraindo muitos jovens para a física nuclear e de altas energias.

No entanto, outra grande área da física expandia-se paralelamente à física nuclear após a Segunda Guerra: a física da matéria condensada. Esta área estava mais próxima de aplicações tecnológicas, como a pesquisa em dispositivos semicondutores, essencial para a microeletrônica, e assim sofisticadas teorias foram desenvolvidas para descrever seus fenômenos macroscópicos. Salientando sua autonomia em relação às outras áreas da física, esta vertente argumentava que a explicação dos processos ocorridos em seu campo não poderia ser reduzida à física de partículas elementares. Afinal, alguns fenômenos “emergentes”, que ali aparecem, fugiriam ao escopo do projeto reducionista almejado pela física de partículas (Schweber, 1993, p. 34).

* Instituto de Ensino Superior de Bauru, Brasil. E-mail: fggatti@hotmail.com

** Depto. de Filosofia, FFLCH, Universidade de São Paulo (USP), Brasil. E-mail: opessoa@usp.br

Em meados dos anos 1980, no governo Reagan, o congresso dos EUA decidiu investir 4,4 bilhões de dólares na construção de um imenso acelerador de partículas, o *Superconducting Super Collider* (Super Colisor Supercondutor). A construção iniciou em 1991, e após o investimento de US\$ 2 bilhões, o custo total projetado passou para US\$ 12 bilhões. Em 1993, vários grupos passaram a argumentar que os custos eram muito elevados e que as verbas estavam sendo mal administradas, o que levou a intensos debates no Congresso, resultando no cancelamento do projeto.

A comunidade dos físicos se dividiu em lados opostos nesta discussão. Por um lado, físicos de partículas como Steven Weinberg, Prêmio Nobel de 1979, apoiavam o projeto, salientando a importância da pesquisa em física de partículas, que forneceria o arcabouço teórico geral para se entender todos os fenômenos da ciência. Publicou em 1992 o livro *Sonhos de uma teoria final*, hasteando a bandeira de uma concepção reducionista da física, argumentando que a física de partículas seria “mais fundamental” (Weinberg, 1996).

Do outro lado, físicos que trabalhavam com a matéria condensada, como Philip Anderson, Prêmio Nobel de 1977, puseram em cheque a viabilidade do projeto reducionista. Segundo ele, a ênfase da física da matéria condensada está em descrever e explicar propriedades “emergentes”, com conceitos e leis próprias de escalas mais macroscópicas. A tentativa de reduzir essa teoria a conceitos e leis da física de partículas seria um projeto inviável, por motivos práticos e teóricos. Esta concepção emergentista difundiu-se bastante entre os físicos, tendo como influência também as teses do químico Ilya Prigogine (ver Zylbersztajn, 2003).

Em 1993, Weinberg e Anderson foram convidados a darem seus pareceres em sessão do Congresso e, enquanto Weinberg apoiou entusiasticamente o projeto do Super Colisor, Anderson e seu colega, James Krumhansl, argumentaram que o dinheiro poderia ser melhor investido se distribuído entre muitos projetos menores. Anderson negou que a física de partículas fosse “mais fundamental”, articulando sua concepção emergentista da física (Weinberg, 2001, p. 12).

Vemos assim como o embate conceitual gerou discussões que passaram do âmbito acadêmico para o político.

3 REDUÇÃO A UMA FÍSICA MAIS FUNDAMENTAL

O debate a respeito do reducionismo ocorreu de maneira marcante no final do século XIX. Naquela época, físicos como Clausius, Maxwell e Boltzmann propuseram que todas as leis e propriedades termodinâmicas macroscópicas de um gás poderiam ser explicadas por meio de uma redução às leis e propriedades das moléculas componentes. O debate se tornou agudo com relação à possibilidade de se reduzir a 2ª Lei da Termodinâmica, envolvendo o conceito macroscópico de “entropia”, por meio de uma mecânica estatística. Boltzmann propôs duas abordagens, uma baseada no chamado teorema-H que, diante das críticas, teve de revisar, e outra baseada em uma concepção probabilista de entropia. A confirmação experimental da existência dos átomos, em 1906, foi um sucesso para a abordagem reducionista, mas até os dias de hoje a questão da redução da 2ª Lei da Termodinâmica é controvertida (ver, por exemplo, Sklar, 1993).

Na visão reducionista de Weinberg, áreas mais macroscópicas como a química se reduzem a teorias microscópicas como a física quântica, já que os princípios que regem as reações químicas envolvem elétrons e núcleos atômicos, que são descritos adequadamente pela física quântica. Isso foi expresso na bem conhecida e infame citação feita pelo físico Paul Dirac (1929): “As leis físicas subjacentes necessárias para a teoria matemática de uma grande parte da física e de toda a química estão, portanto, conhecidas

completamente, e a dificuldade é apenas que a aplicação exata dessas leis levam a equações complicadas demais para serem solúveis”.

O cosmólogo inglês Stephen Hawking argumentou recentemente em favor do reducionismo, defendendo uma dependência dos processos macroscópicos a detalhes do mundo microscópico: “Por exemplo, se a carga elétrica do elétron tivesse sido apenas ligeiramente diferente, teria estragado o equilíbrio da força eletromagnética e gravitacional nas estrelas, e elas teriam sido incapazes de queimar o hidrogênio e o hélio, ou então não teriam explodido” (Hawking, Mlodinow, 2005, p. 131).

Weinberg aceita que haja fenômenos emergentes na química e na física da matéria condensada, mas “as regras que eles obedecem não são verdades independentes, mas seguem de princípios científicos em um nível mais profundo” (Weinberg, 2001, p. 115). Essa concepção de emergência pode ser chamada de “fraca”, e é distinta da concepção de Anderson e de outros emergentistas. Refinando sua concepção anterior, Weinberg (2001, p. 111-112) defende uma redução a princípios (*grand reductionism*), deixando de lado uma redução a entidades (*petty reductionism*), que não é tão rigorosa no contexto da teoria quântica de campos.

4 EMERGÊNCIA DE PROPRIEDADES NA FÍSICA

Em 1972, Anderson publicou um artigo seminal intitulado “Mais é diferente” (*more is different*), em que salientou que “a habilidade para reduzir tudo a leis fundamentais simples não implica a habilidade de partir dessas leis e reconstruir o universo” (Anderson, 1972, p. 393). Defendeu (p. 396) que ocorre uma “hierarquização” dos níveis de escala do mundo físico, e as leis e propriedades de cada hierarquia são efetivamente autônomas em relação às escalas mais baixas.

A partir de então, os físicos da matéria condensada refinaram e radicalizaram o discurso emergentista. Anderson ainda admitia que, em algum sentido, a física de escalas superiores se reduz ontologicamente à física de escalas mais fundamentais. Assim, abriu seu artigo escrevendo que “a hipótese reducionista” é aceita pela maioria dos cientistas, ou seja, “supõe-se que o funcionamento das nossas mentes e corpos, e de toda a matéria animada e inanimada da qual temos algum conhecimento detalhado, é controlado pelo mesmo conjunto de leis fundamentais” (Anderson, 1972, p. 393).

O fisicismo (ou materialismo) de Anderson pode assim ser classificado como um reducionismo ontológico (ou “ôntico”), porém, em um domínio epistemológico ou metodológico ele é claramente um emergentista, negando o que chamou de “construtivismo”.

Será que o comportamento coletivo de muitos átomos, por exemplo, em uma molécula de sacarose, pode ser derivado das propriedades individuais dos átomos de carbono, oxigênio e hidrogênio? Sua resposta é não: essa tentativa de construção fracassa por causa da ocorrência de “quebras espontâneas de simetria”, que faz com que a molécula se oriente de maneira dextrógira ou levógira (ou seja, como a mão direita ou como a mão esquerda) sem que se possa prever qual orientação será escolhida pela natureza. Ou seja, na tentativa de construir o complexo a partir do simples, surgem novas *propriedades emergentes*.

Há diversas simetrias na natureza, e muitas podem se quebrar espontaneamente. Uma simetria como a de carga, que transforma uma partícula em antipartícula, pode estar associada a uma emergência que teria ocorrido logo após o *big bang*. Uma simetria com a reversão temporal talvez nunca seja quebrada. Mas a simetria de paridade, aplicada à molécula de sacarose, pode ser quebrada espontaneamente, mesmo que moléculas menores, como a de amônia, mantenham a simetria, em um estado de sobreposição quântica (Anderson, 1972, p. 394).

Essa discussão envolve a passagem do microscópico para o macroscópico, ou seja, uma passagem entre *escalas*. É interessante lembrar que uma das primeiras discussões referentes a como as propriedades

“escalam”, ou seja, como as propriedades se transformam ao passar de um nível ou escala para outro, foi feita por Galileu, em seu *Discurso sobre duas novas ciências* [1638]. Neste trabalho Galileu (1985, p. 105) argumentou que, caso um cavalo pudesse ser transformado em um tamanho maior, seus ossos não teriam condições de sustentar seu próprio peso, a não ser que a resistência dos ossos também aumentasse. De fato, se o tamanho do cavalo aumentasse 2x, a área transversal de um osso aumentaria 4x, e seu volume 8x, e isso impossibilitaria tal espécie de se sustentar. Quando semelhante aumento ocorre na natureza, o aumento das partes não é proporcional, como Galileu exemplificou na Figura 1.

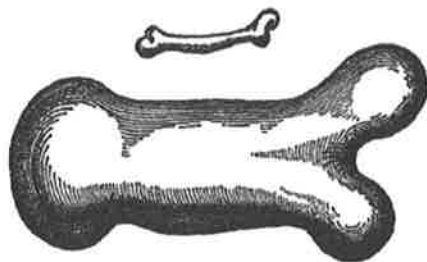


Figura 1 Desenho apresentado por Galileu (1985, p. 105) para ilustrar que se um osso fosse simplesmente aumentado três vezes, ele se tornaria mais frágil, sendo preciso que ele ficasse proporcionalmente mais grosso para exercer as mesmas funções que o osso menor.

Considerações análogas foram feitas por Feynman (1967), ao analisar o que aconteceria se um dispositivo experimental macroscópico fosse reduzido para a escala nanométrica. Neste caso, um novo efeito aparece, que Galileu não poderia antever, que é o surgimento de propriedades quânticas abaixo da escala nanométrica. O nível quântico talvez envolva maior ruptura nas simetrias entre as diferentes escalas, correspondendo à emergência de uma série de novas propriedades e leis, que chamamos de “física clássica”.

5 O CONCEITO DE EMERGÊNCIA NA FILOSOFIA

Para o filósofo norte-americano de ascendência coreana Jaegwon Kim (1999, p. 20-23), a noção de emergência envolveria cinco doutrinas principais:

1) *Emergência de entidades complexas de nível superior*: Sistemas mais complexos emergiriam da junção de entidades de nível inferior, em novas configurações estruturais.

2) *Emergência de propriedades de nível superior*: Todas as propriedades de um entidade de nível superior surgiriam (ou “superviriam”) das propriedades e relações que caracterizam suas partes constituintes. Algumas dessas propriedades seriam “emergentes”, outras apenas “resultantes”.

3) *Propriedades imprevisíveis da emergência*: As propriedades emergentes não seriam previsíveis a partir das informações dos nível basal, mesmo que essa informação seja exaustiva. Por contraste, propriedades resultantes seriam previsíveis a partir da informação de nível inferior.

4) *Irreduzibilidade explicativa das propriedades emergentes*: As propriedades emergentes não poderiam ser explicadas nem reduzidas em termos das condições basais, ao contrário das propriedades resultantes.

5) *A eficácia causal da emergência*: Propriedades emergentes teriam poderes causais próprios, que seriam irreduzíveis às propriedades causais dos constituintes basais. Tal eficácia incluiria a controvertida proposta de “causação descendente”, quando propriedades de nível superior causariam efeitos em nível inferior, sem que isso pudesse ser reduzido a um processo causal no nível inferior.

A tese (1) é compartilhada por visões reducionistas, e a tese (2) também pode ser incorporada, com uma noção de “emergência fraca”. Essas teses seriam aceitas por um reducionista como Weinberg. As teses (3), (4) e (5) distinguem diferentes visões emergentistas da reducionista. Um físico de matéria condensada como Anderson aceitaria também as teses (3) e (4), mas talvez não a (5).

Argumentaremos, na última seção, que a abordagem emergentista, nas ciências físicas, está geralmente associada a uma atitude pragmática. Já a abordagem filosófica apresentada por Kim não coloca o pragmatismo da descrição como um valor cognitivo em sua análise de emergência. Assim, é compreensível que, para ele, na física, não haja emergência no sentido forte do termo: a única situação que ele vislumbra, em que uma abordagem reducionista poderia fracassar e uma emergentista ter sucesso (satisfazendo os cinco itens por ele arrolados), seria com relação ao problema mente-cérebro (Kim, 1999, p. 18).

Notamos, na definição do filósofo, que o sentido em que uma propriedade emergente não poderia ser deduzida a partir do nível inferior é um sentido absoluto: mesmo um “demônio escalar” (Pessoa, 2012) que conhecesse todas as propriedades do nível inferior e todas as leis de escala, não seria capaz de prever o valor de uma propriedade verdadeiramente “emergente”. Esta atitude é diferente daquela do físico, que é mais pragmático e ambíguo, e geralmente não distingue entre ser “humanamente” possível e ser “em princípio” possível.

A defesa do emergentismo na física envolve questões políticas, relacionadas à alocação de verbas e prestígio a áreas distintas, e é um exemplo de como as interpretações das teorias científicas são influenciadas pela cultura e ideologia. A força dos argumentos dados por físicos favoráveis ao emergentismo pressupõe um pragmatismo, e é certo que uma teoria “efetiva”, que ignora detalhes microscópicos, é muito mais útil para se fazerem previsões e gerar produtos tecnológicos, como ressaltaremos na última seção.

6 EMERGÊNCIA E RENORMALIZAÇÃO

Schweber (1993, p. 38) chama atenção ao papel desempenhado pela teoria da supercondutividade nessa nova maneira emergentista de ver a natureza física, em que se estabelecem *hierarquias* de níveis estáveis e quase autônomos. A teoria de supercondutividade de Bardeen, Cooper e Schrieffer (1957), mostrou que a mecânica quântica não se limita a escalas nanométricas, mas, ao mesmo tempo, indicou que sua extensão para o domínio macroscópico, como no caso da supercondutividade, não pode ser feito *ab initio*, a partir da descrição quântica exata dos elétrons e cristais envolvidos, pois envolve aproximações que constituem uma teoria “efetiva”. Não é coincidência que dois grandes teóricos da supercondutividade, Anderson e Anthony Leggett, tenham escrito contra o reducionismo epistemológico.

Leggett (1992) argumenta que mesmo uma lei simples como a lei de Ohm, usada para descrever circuitos elétricos, não pode ser rigorosamente derivada de leis microscópicas. As derivações que encontramos nos livros envolvem aproximações e suposições auxiliares, que só podem ser introduzidas porque se sabe de antemão qual é a forma da lei de Ohm que se quer derivar. Um argumento semelhante é apresentado por Laughlin e Pines (2000), para quem os esquemas para realizar cálculos aproximados não são deduções de primeiros princípios, mas requerem dados experimentais e detalhes locais. Robert Laughlin é ganhador do Prêmio Nobel de 1998, e defende a concepção emergentista em seu livro *A Different Universe* (2005).

Vários campos têm contribuído para a concepção emergentista da física, e para a noção de estratificação da realidade em níveis quase autônomos. A área do caos determinista deixou claro a importância da *não linearidade* das leis da física, que leva a uma imprevisibilidade que é resultado da extrema sensibilidade que a evolução do sistema tem em relação às suas condições iniciais.

Outro desenvolvimento importante para a concepção emergentista ocorreu no final dos anos 1960. Técnicas de “renormalização”, desenvolvidas nas teorias de campos quânticos relativísticos, foram usadas com extremo sucesso na área de fenômenos críticos da física da matéria condensada, especialmente por Kenneth Wilson (1974), que ganhou o Prêmio Nobel de Física de 1982. Seu método da teoria de grupo de renormalização (ver Pfeuty, Toulouse, 1977) mostrava que o comportamento de sistemas perto de pontos críticos não depende dos detalhes microscópicos envolvidos, mas segue classes de universalidade que independem das interações que ocorrem em níveis de escala inferiores. A Figura 2 representa o ponto crítico em que as densidades da fase gasosa e da fase líquida se igualam. O problema é derivar a equação matemática que descreve de maneira exata a diferença entre as densidades, à medida que a temperatura se aproxima do ponto crítico.

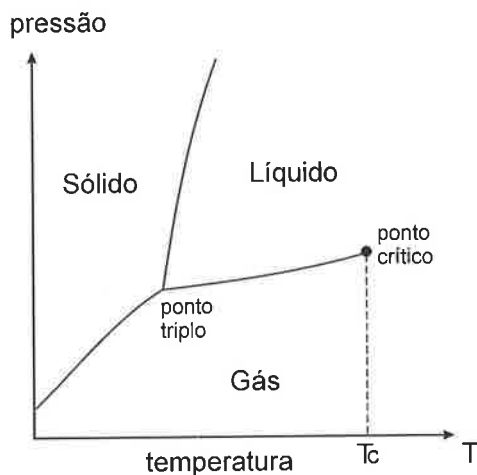


Figura 2 Diagrama de fase, mostrando os valores de pressão e temperatura que tornam uma substância sólida, líquida ou gasosa. No ponto crítico, não há mais distinção entre gás e líquido.

Abaixo da temperatura crítica, em um recipiente fechado, as fases líquida e gasosa se encontram separadas. Ao se aproximar da temperatura crítica T_c , a diferença $\Psi = \rho_{\text{liq}} - \rho_{\text{gás}}$ entre as densidades das duas fases tende a zero, e o sistema atinge uma fase única. Neste caso, a temperatura T é o parâmetro de controle, e Ψ o parâmetro de ordem. A característica *universal* do fenômeno se manifesta na expressão matemática de Ψ , que é dada por $\Psi = t^\beta$, onde $t = (T - T_c)/T_c$ e $\beta = 0,33$. Este comportamento é exatamente igual ao de outros sistemas, como os que apresentam uma transição das propriedades ferromagnéticas para paramagnéticas. É nesse sentido que este comportamento é universal, e independe das propriedades microscópicas dos constituintes.

O caminho tradicional para explicar este fenômeno, antes do trabalho de Wilson, era escrever um hamiltoniano que contivesse as interações das moléculas presentes nos fluidos próximo ao ponto crítico. O problema é que perto deste ponto as interações entre os constituintes mudam acentuadamente, havendo interações em todas as escalas de interação, resultando na divergência da expressão matemática. Neste panorama, o grupo de renormalização fornece uma saída, transformando o hamiltoniano inicial, que possui coordenada de posição real, em outro que continua a descrever o sistema original, mas num espaço abstrato e com um número menor de correlações no interior do chamado “comprimento de correlação”. Tais transformações em série levam a um tratamento muito mais fácil do sistema, e o conduzem a uma trajetória próxima a um ponto fixo neste espaço. Este tipo de análise (Pfeuty, Toulouse, 1977) só é possível porque,

nesta transformação, nenhuma característica de comprimento de escala é associada ao sistema. Segundo Batterman (2002, p. 41), “De fato, a transformação do grupo de renormalização elimina graus de liberdade (detalhes microscópicos) que não são essenciais ou relevantes para caracterizar o comportamento do sistema na criticalidade”.

7 CONCEPÇÕES EMERGENTISTA E REDUCIONISTA EM UM EXEMPLO SIMPLES

A existência de classes de universalidade na área de fenômenos críticos fornece um forte argumento a favor do emergentismo. Este tema é explorado pelo filósofo da ciência Robert Batterman, no livro *The devil in the details*. O exemplo inicial que ele fornece é bastante simples e ilustrativo do debate entre reducionistas e emergentistas. Considere uma barra metálica em forma de paralelepípedo com os três lados de tamanho diferente. A Figura 3 mostra esta barra em pé, virada com o lado mais fino para nós. Se uma carga for adicionada ao topo da barra, exercendo uma força vertical e apontada para baixo, e sua intensidade for lentamente aumentando, de início a barra permanece imóvel, mas, a partir de certo valor crítico da carga, a barra irá “flambar”, ou seja, irá se dobrar, ou para a esquerda ou para a direita.

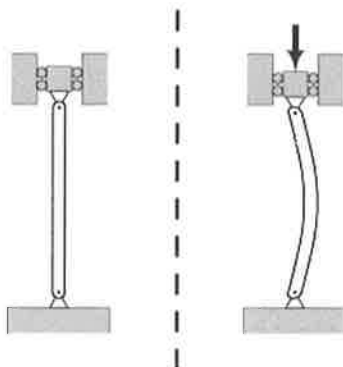


Figura 3 Flambagem de uma barra metálica: o aumento constante da carga chega a um ponto crítico em que a barra se dobra, ou para a esquerda ou para a direita (figura de domínio público obtido da Wikipédia).

A questão é explicar para qual lado se dará a flambagem. Os métodos assintóticos da teoria dos fenômenos críticos irão ignorar os detalhes microscópicos do sistema e simplesmente estipular qual é o ponto crítico, e qual é a probabilidade de o sistema seguir diferentes caminhos possíveis. Esta é a abordagem emergentista, e a flambagem para cada sentido (esquerda ou direita) pode ser considerada uma propriedade emergente. Este fenômeno determina uma classe de universalidade, que é a ampla classe de sistemas que tem comportamento semelhante, independente da constituição material das barras.

A explicação reducionista apresenta outro relato para esta situação. Ela precisa levar em conta as posições de todos os átomos da barra metálica, todas as imperfeições microscópicas da barra, e também as posições e velocidades de todas as moléculas do gás que circunda a barra. Se a barra for perfeitamente simétrica, podemos talvez identificar qual foi a molécula individual de oxigênio que forneceu, num determinado instante, o impulso que foi determinante para o início da flambagem. Esta seria então a análise mecânico-causal feito pela abordagem reducionista (Batterman, 2002, p. 10).

Batterman (2002, p. 11) argumenta que a explicação emergentista é superior, por ser mais econômica, desprezando detalhes inacessíveis para nós, e por fornecer uma explicação de porque outras barras se comportam de maneira semelhante.

O reducionista concede que sua explicação é mais complicada, mas discorda que a abordagem mecânico-causal não possa explicar a existência da classe de universalidade. Para o reducionista, o que as diferentes barras têm em comum (para fazerem parte da mesma classe de universalidade) é sua estrutura microscópica global, ou seja, sua organização, o que envolve o arranjo dos átomos e os campos (campos de força, interações) gerados por cada um dos átomos. No caso das transições de fase, o que coloca um gás e um ferromagneto na mesma classe é a estrutura geral das interações entre suas partes microscópicas.

Se aceitarmos esta análise, vemos que a grande vantagem da abordagem emergentista é ser *pragmática*: ela ignora o que é irrelevante e inobservável (os detalhes microscópicos, que se tornam especialmente irrelevantes nos pontos críticos), e descreve um fenômeno imprevisível a partir de uma teoria indeterminista.

O relato reducionista não é refutado por esses exemplos, mas se torna claro que a explicação envolvida não pode ser verificada. Sua utilidade na ciência não está em ser usada para descrever fenômenos críticos macroscópicos, mas em entender os fundamentos microscópicos que unificam esta teoria a todos os outros fenômenos físicos conhecidos. Trata-se de uma interpretação *realista*, que pode ser concatenada em uma versão consistente com a mecânica clássica, ou em uma versão consistente com uma versão realista da mecânica quântica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDERSON, Philip W. More is different. *Science* **177**: 393-96, 1972.
- BATTERMAN, Robert W. *The devil in details*. Oxford: Oxford University Press, 2002.
- DIRAC, Paul A.M. Quantum mechanics of many-electron systems. *Proceedings of the Royal Society of London* **A123**: 714-33, 1929.
- FEYNMAN, Richard P. *The character of physical law*. Cambridge: MIT Press, 1967.
- GALILEI, Galileo [1638]. *Dois novas ciências [Discorsi]*. Trad. L. Mariconda & P. Mariconda. São Paulo: Ched Editorial / Nova Stella / Istituto Italiano di Cultura.
- HAWKING, Stephen; MLODINOW, Leonard. *Uma nova história do tempo*. Trad. V.P. Assis. Rio de Janeiro: Ediouro, 2005.
- KIM, Jaegwon. Making sense of emergence. *Philosophical Studies* **95**: 3-36, 1999.
- LAUGHLIN, Robert B. *A different universe: reinventing physics from the bottom down*. New York: Basic Books, 2005.
- LAUGHLIN, Robert B.; PINES, David. The theory of everything. *Proceedings of the National Academy of Science* **97**: 28-31, 2000.
- LEGGETT, Anthony J. On the nature of research in condensed-state physics. *Foundations of Physics* **22** (2): 23-45, 1992.
- PESSOA JR., Osvaldo. Definição de propriedades “super-empíricas” como relações entre fatias do universo. Neste volume, 2012.
- PFEUTY, Pierre; TOULOUSE, Gérard. *Introduction to renormalization group and critical phenomena*. Londres: John Wiley, 1977.
- SCHWEBER, Silvan S. Physics, community and the crisis in physical theory. *Physics Today* **46** (11): 34-40, nov. 1993.
- SKLAR, Larry. *Physics and chance: philosophical issues in the foundations of statistical mechanics*, Cambridge: Cambridge University Press, 1993.
- WEINBERG, Steven [1992]. *Sonhos de uma teoria final*. Trad. C.I. Costa. São Paulo: Rocco, 1996.

———. *Facing up*. Cambridge: Harvard University Press, 2001.

WILSON, Kenneth. The renormalization group and critical phenomena. *Reviews of Modern Physics* **47**: 583-600, 1975.

ZYLBERSZTAJN, Arden. Teoria final, unificação e reducionismo: opiniões da comunidade brasileira de física. *Revista Brasileira de Ensino de Física* **25**: 1-17, 2003.

Filosofia e História da Ciência no Cone Sul

Seleção de Trabalhos do 7º Encontro da AFHIC
Selección de Trabajos del 7º Encuentro de AFHIC



Editores:

Cibelle Celestino Silva e Luis Salvatico