



Depois do *annus mirabilis* de Einstein: matéria e universo

Edelcio GONÇALVES DE SOUZA

Einstein e o futuro

Scientific American Brasil, ano 3, n. 29

Edição especial. Centenário dos artigos que revolucionaram a física

São Paulo, out. 2004, 114 págs.

Entre 1665 e 1666, Isaac Newton criou as bases do cálculo diferencial, formulou as leis da mecânica em sua teoria da gravitação e, além disso, apresentou a teoria das cores. Foi o primeiro *annus mirabilis* da física. Em 1905, um funcionário de escritório de patentes na Suíça publica cinco artigos em um periódico científico alemão, os *Annalen der Physik*, que vieram revolucionar praticamente tudo o que se pensava acerca das principais categorias conceituais que são úteis para a descrição do universo físico que nos cerca. A partir desses trabalhos, os conceitos de espaço, tempo, causalidade, interação, medida etc. tiveram todos que ser revistos e readaptados para darem conta das novas teorias físicas emergentes.

Os cinco artigos que Einstein publica em 1905 versavam sobre temas diversos e cada um deles já teria sido suficiente para imprimir seu nome na história da física. Os primeiros trabalhos, “Sobre uma nova determinação das dimensões moleculares” e “Sobre o movimento de partículas suspensas em fluídos em repouso conforme postulado pela teoria cinética do calor”, colocam em evidência a hipótese atômica explicando o movimento de partículas com base em interações de moléculas. “Sobre um ponto de vista heurístico relativo à geração e a transformação da luz” apresenta uma explicação do efeito fotoelétrico supondo-se que as trocas de energia entre matéria e luz se fazem de maneira quantizada, da mesma forma que Max Planck havia sugerido para a explicação da radiação do corpo negro; nasce assim o conceito de *quanta* de luz. “Sobre a eletrodinâmica dos corpos em movimento” constitui a primeira apresentação da teoria da relatividade especial que, a partir de uma análise genial do conceito de simultaneidade, sugere que as categorias de espaço e de tempo não podem ser pensadas separadamente. Por fim, “A inércia de um corpo depende de seu conteúdo de energia?” mostra que massa e energia são, em algum sentido, intercambiáveis e a relação entre as mesmas é dada pela famosa fórmula $E = mc^2$.

Em virtude da comemoração do centenário da publicação desses artigos, 2005 foi eleito o Ano Mundial da Física (ver <www.wyp2005.org>) e a revista *Scientific American Brasil* publica uma série de trabalhos destinados à exposição e à reavaliação das teorias que foram produzidas por Einstein ao longo de sua vida. São treze artigos que cobrem todas as áreas em que Einstein deu contribuições fundamentais.

Em sua matéria, Gary Stix faz uma análise detida dos artigos de 1905 e, a seguir, passa a avaliar os trabalhos subseqüentes: a relatividade geral, as contribuições à teoria quântica e a busca por uma teoria que unificasse a gravitação com o eletromagnetismo. Essa busca por uma teoria unificada talvez seja um dos principais legados que Einstein deixou para as novas gerações de físicos que trabalham incessantemente na procura de um modelo que unifique a força gravitacional, a eletromagnética e as forças nucleares fraca e forte, que são as únicas interações conhecidas. “Essa busca ainda é o principal objetivo de uma parte importante da comunidade dos físicos teóricos” (p. 29). Um interessante contraponto é feito a partir da observação de que um dos caminhos para o entendimento da relação entre a gravidade e a mecânica quântica está justamente na busca por possíveis violações da teoria da relatividade. O texto ainda contém uma elucidativa cronologia da vida de Einstein.

Em 1925, Einstein esteve em nosso país, por um breve período de tempo, a convite da comunidade judaica brasileira. Falou para um público reservado sobre a relatividade geral e apresentou uma comunicação na Academia Brasileira de Ciências sobre o conceito de fóton. Esse é o tema do texto escrito por Salvador Nogueira, em estilo jornalístico apresentando fatos pitorescos sobre a estada de Einstein no Brasil. Não se conhece muitas referências sobre as impressões de Einstein acerca da viagem. Porém, é digno de nota que, em sua volta para a Europa, “escreveu uma carta ao comitê do Prêmio Nobel para indicar o marechal Cândido Rondon, por seu trabalho de pacificação com os indígenas brasileiros” (p. 36).

Einstein não tinha preocupações apenas de natureza teórica (como poderiam indicar os seus grandes feitos). Em determinados momentos de sua vida, dedicou-se a problemas puramente experimentais. Quando concluía o trabalho sobre a generalização da teoria da relatividade especial, Einstein interessou-se por problemas sobre a natureza do magnetismo. Esse é o tema de Peter Galison, para quem Einstein projetou experiências envolvendo a pulsação de correntes elétricas em eletroímãs.

Uma corrente elétrica que se desloca dentro de uma espiral produz um campo magnético. Einstein sugeriu que talvez o ferro devesse sua capacidade de magnetização a um fenômeno similar, como André Marie Ampère e seus discípulos tinham suposto durante muito tempo. Einstein se perguntava se, no nível atômico, não haveria muitas correntes elétricas descrevendo espirais,

todas orientadas na mesma direção. Nesse caso, poderia haver apenas um tipo de magnetismo (p. 39).

O texto faz uma descrição das atividades experimentais de Einstein com bússolas e giroscópios, lembrando o tempo em que trabalhou no escritório de patentes fazendo relatórios sobre máquinas diversas.

Em seu artigo, Lawrence M. Krauss e Michael S. Turner tratam especificamente da relatividade geral e da sua relação com a mecânica quântica. Quando Einstein publica o trabalho sobre a relatividade geral, essa teoria passa a incorporar naturalmente uma teoria da gravitação. O princípio de relatividade (em sentido restrito) afirma que:

se K' é um sistema de coordenadas que efetua um movimento uniforme e sem rotação em relação a K , os fenômenos da natureza que se desenrolam em relação a K' obedecem exatamente as mesmas leis que em relação a K . (Einstein, *A teoria da relatividade especial e geral*).¹

Estendendo, grosso modo, esse princípio a todos os sistemas de coordenadas, obtemos um princípio geral de invariância. Ocorre que, segundo Einstein, um referencial acelerado é equivalente a um campo gravitacional. Assim, a teoria geral da relatividade passa a conter uma teoria da gravitação.

Do ponto de vista cosmológico, Einstein acreditava em um universo estático. Acontece que as primeiras soluções das equações da relatividade geral indicavam um universo que deveria se contrair. Para contrabalançar a força gravitacional, Einstein introduziu em suas equações um termo que possibilitava obter soluções estáticas. O próprio Einstein costumava dizer que a introdução dessa constante teria sido o maior erro de sua vida. “Nos últimos seis anos, no entanto, o termo cosmológico – chamado agora de constante cosmológica – reapareceu. Mas a motivação para essa ressurreição é muito diferente da idéia original de Einstein; a nova versão do termo surge de observações recentes de um Universo em movimento e, ironicamente, dos princípios da mecânica quântica” (p. 43). Os autores passam a apresentar como a reintrodução da constante cosmológica pode esclarecer as relações entre relatividade geral e mecânica quântica.

Jorge Castiñeiras, Luís C. B. Crispino e George E. A. Matsas tratam do fascinante tema dos buracos negros, objetos que já haviam sido conjecturados por Pierre Laplace ao considerar estrelas suficientemente densas, cuja velocidade de escape fosse maior que a da luz. Buracos negros são soluções das equações da relatividade geral que cons-

¹ *A teoria da relatividade especial e geral*, Rio de Janeiro, Contraponto, 1999.

tituem singularidades no espaço-tempo. Eles poderiam ser formados, por exemplo, a partir de colapsos de estrelas ou, ainda, terem surgido no instante de criação do universo (buracos negros primordiais). O ponto alto do texto é o problema da perda de informação (ou o paradoxo da informação) no interior dos buracos negros. Esse é um tema bastante controverso que já havia sido discutido por S. Hawking que parece indicar que “a gravitação introduz um novo nível de imprevisibilidade na física para além da incerteza usualmente associada à teoria quântica” (Hawking & Penrose, *A natureza do espaço e do tempo*, p. 76).²

Voltando ao tema da unificação, Raphael Bousso e Joseph Polchinski apresentam o estado da arte das teorias da grande unificação. Aqui parece que as idéias de Kaluza e Klein, que por um certo período Einstein chegou a considerar, são reintroduzidas na medida em que as teorias das cordas sugerem um aumento significativo no número de dimensões do espaço-tempo.

A possibilidade de dimensões adicionais também assumiu um papel crucial na unificação da relatividade geral e da mecânica quântica. Na teoria das cordas, em uma das abordagens que lideram a busca por essa unificação, as partículas são, na verdade, padrões de vibração de pequenos objetos unidimensionais – minúsculos laços ou fios (p. 60).

Embora vários progressos tenham sido feitos, os autores reconhecem que ainda não se tem uma formulação precisa dessa teoria. “As equações da teoria das cordas ainda não são claras e importantes conceitos físicos provavelmente ainda terão que ser descobertos” (p. 67).

Einstein nunca ficou satisfeito com a mecânica quântica. Ficaram famosas as suas discussões com Bohr acerca dos fundamentos dessa teoria. Em um artigo em colaboração com Rosen e Podolski, eles concluem que a mecânica quântica é uma teoria incompleta no sentido em que não fornece valores para todos os elementos de realidade que a teoria prevê. Aqui, Einstein toca em questões de natureza puramente ontológica:

se formos capazes, sem perturbar de nenhum modo o sistema, de prever com certeza (isto é, com probabilidade igual à unidade) o valor de uma quantidade física, então existirá um elemento de realidade correspondente a essa quantidade física” (*Physical Review*, 47, 1935, p. 777).

² S. Hawking & R. Penrose, *A natureza do espaço e do tempo*, Campinas: Papyrus, 1997.

A conclusão do argumento EPR evidencia de modo bastante enfático o descontentamento de Einstein com a mecânica quântica:

Esta [previsibilidade simultânea] faz com que a realidade de p_2 e q_2 dependa do processo de medida efetuado sobre o primeiro sistema, que de modo algum perturba o segundo sistema. Não se pode esperar que qualquer definição razoável de realidade permita isso (*Physical Review*, 47, 1935, p. 777).

Em seu artigo, George Musser relata que recentemente uma certa quantidade de físicos volta a considerar os pontos de vista de Einstein revivendo, por exemplo, certas teorias de variáveis ocultas. O texto tem um marcado estilo jornalístico e seu autor não parece ser um especialista em física.

As possíveis violações da teoria da relatividade já mencionadas são o assunto de Alan Kosteleký. Como sugerido acima, teorias que procuram unificar a mecânica quântica com a gravidade podem apresentar pequenas violações da teoria da relatividade restrita. O texto trata de assuntos complexos como, por exemplo, a quebra espontânea de simetria de Lorentz e sua relação com a simetria CPT (carga, paridade e tempo), dificuldades técnicas em testes de violação da relatividade restrita, entre outros. No entanto, “numerosos experimentos estão sendo feitos para descobrir tais paradoxos, mas até agora nenhum deles alcançou precisão suficiente para chegar a resultados concretos” (p. 73).

As conseqüências tecnológicas das teorias de Einstein e as aplicações de suas idéias no dia-a-dia são exploradas nos artigos de W. Wayt Gibbs e de Philip Yam. Os autores apresentam inúmeras aplicações como, por exemplo, os microchips, que são capazes de manipular o spin dos elétrons, catracas brownianas que fazem triagem de DNA, detectores gravitacionais super-sensíveis, condensados de Bose-Einstein, aparelho de GPS etc.

A edição comemorativa da *Scientific American Brasil* apresenta também uma amostra de matérias que foram publicadas naquela época na revista, discutindo a aceitação das teorias da relatividade especial e geral. Temos também um retrato de Einstein, feito por Ben Shahn, que acompanhou o artigo que o físico escreveu para a edição americana de abril de 1950, sobre sua teoria do campo unificado. Alguns trechos desse artigo são referidos na matéria de George Musser. O volume se completa com o ensaio de Alan Lightman com uma comparação de diversos aspectos entre dois gigantes da física, Einstein e Newton.

Embora a qualidade dos artigos que compõem o volume seja inegável, salta aos olhos a inexistência de um ensaio que possa fazer uma avaliação das contribuições de Einstein para a filosofia e, em particular, para a epistemologia. Kant, ao escrever a

Crítica da razão pura, tinha como modelo de ciência a mecânica de Newton. Hoje, parece que os filósofos não conseguem produzir uma epistemologia capaz de dar conta, por exemplo, das conseqüências das teorias da relatividade e, muito menos, da mecânica quântica. ☞

Edelcio GONÇALVES DE SOUZA

Professor Associado do Departamento de Filosofia e do
Programa de Estudos Pós-Graduados em Filosofia da
Pontifícia Universidade Católica de São Paulo.

edelcio@pucsp.br

